



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

YEAR: 2021

VOLUME: 5

NUMBER: 2



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Owner / Sahibi

Prof. Dr. Mete Gündoğan, Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit University, Turkey

metegundogan@ybu.edu.tr

General Publication Management / Genel Yayın Yönetimi

Prof. Dr. Ergün Eraslan, Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit University, Turkey

eraslan@ybu.edu.tr

Editor-in-Chief / Editör

Assoc. Prof. Dr. Babek Erdebilli (B.D. Rouyendegh), Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit University, Ankara, Turkey

babek.erdebilli2015@gmail.com or berdebilli@ybu.edu.tr

Associate Editors / Yardımcı Editörler

Asst. Prof. Dr. Abdullah Yıldızbaşı Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit University, Ankara, Turkey ayildizbasi@ybu.edu.tr

Asst. Prof. Dr. İbrahim Yılmaz Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit University, Ankara, Turkey iyilmaz@ybu.edu.tr

Editorial Board / Editör Kurulu

Prof. Dr. Gerhard-Wilhelm Weber Chair of Marketing and Economic Engineering, Poznan University of Technology, Poland gerhard.weber@put.poznan.pl

Prof. Dr. Vikas Kumar Operations and Supply Chain Management, University of the West of England, UK Vikas.Kumar@uwe.ac.uk

Prof. Dr. Ali Allahverdi Department of Industrial and Systems Management, Kuwait University, Kuwait ali.allahverdi@ku.edu.kw

Prof. Dr. Yusuf Tansel İç Department of Industrial Engineering, Baskent University, Turkey yustanic@baskent.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Gülin Feryal Can Department of Industrial Engineering, Baskent University, Turkey gfcan@baskent.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Hamid Reza Navidi Department of Applied Mathematics, Shahed University, Iran navidi@shahed.ac.ir

Assoc. Prof. Dr. Fatih Emre Boran Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey emreboran@gazi.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Sena Emre Daş Department of Industrial Engineering, Kırıkkale University, Turkey senadas@kku.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Atour Taghipour Department of International Management, Normandy University, France atour.tahipour@univ-lehavre.fr

Assoc. Prof. Dr. Elif Kılıç Delice Department of Industrial Engineering, Atatürk University, Turkey elif.kdelice@atauni.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Yucel Yılmaz Ozturkoglu Department of Logistics Management, Yasar University, Turkey yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Dilek Yılmaz Department of Industrial Engineering, Istanbul University, Turkey dborekci@istanbul.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. İbrahim Department of Industrial Engineering, Balıkesir ikucukkoc@balikesir.edu.tr



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Küçükkoç Assoc. Prof. Dr. Nasr Hamood Mohamed Al- Hinai	University, Turkey Department of Mechanical and Industrial Engineering, College of Engineering Sultan Qaboos University, Oman	nhinai@squ.edu.om
Assoc. Prof. Dr. Burcu Özcan	Department of Industrial Engineering, Kocaeli University, Turkey	burcu.ozcan@kocaeli.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Mahdi Fathi	Department of Information Technology and Decision Sciences, University of North Texas, USA	mahdi.fathi@unt.edu
Asst. Prof. Dr. Borzou Rostami	Lazaridis School of Business and Economics at Wilfrid Laurier University, Canada	brostami@wlu.ca
Asst. Prof. Dr. Mojtaba Ghiyasi	Faculty of Industrial and Management, Shahrood University, Iran	mog@shahroodut.ac.ir
Asst. Prof. Dr. Mohsen Afsharian	Institute of Management Control and Business Accounting, Technische Universität Braunschweig, Germany	m.afsharian@tu-braunschweig.de
Asst. Prof. Dr. Hamidreza Ahady Dolatsara	School of Management, Clark University, USA	hahadydolatsara@clarku.edu
Asst. Prof. Dr. Farzad Sattari Ardebili	Department of Management, Azad Ardebil University, Iran	farzadsattary@yahoo.com
Asst. Prof. Dr. Zahra Sedighi Maman	Decision Sciences and Marketing, Adelphi University, USA	zmaman@adelphi.edu
Asst. Prof. Dr. Nasrin Mohabbati	Department of Information and Decision Sciences, California State University, USA	nasrin.mohabbati@csusb.edu
Asst. Prof. Dr. Reza Kiani Mavi	School of Business and Law, Edith Cowan University, Australia	r.kianimavi@ecu.edu.au
Asst. Prof. Dr. Beata Mrugalska	Faculty of Engineering Management, Poznan University of Technology, Poland	beata.mrugalska@put.poznan.pl
Asst. Prof. Dr. Erdal Aydemir	Department of Industrial Engineering, Suleyman Demirel University, Turkey	erdalaydemir@sdu.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Zeynep Ertem	Marshall School of Business, University of Southern California, USA	zeynepertem@gmail.com
Asst. Prof. Dr. Yavuz Selim Özdemir	Department of Industrial Engineering, Ankara Bilim University, Turkey	yavuz.selim.ozdemir@ankarabilim.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Nuzhat Sadriwala	Department of Accounting, Manikyalal Verma Shramjeevi College, India	sadriwalanuzhat@gmail.com
Asst. Prof. Dr. Ahmet Çalık	Institute of Graduate Education, KTO Karatay University, Turkey	ahmet.calik@karatay.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Abdullah Yıldızbaşı	Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey	ayildizbasi@ybu.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Sercan Demir	Department of Industrial Engineering, Harran University, Turkey	sercandemir@harran.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Gerçek Budak	Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey	gbudak@ybu.edu.tr
Asst. Prof. Dr. İbrahim Yılmaz	Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey	iyilmaz@ybu.edu.tr
Dr. Amir Mohammad Fathollahi-Fard	École de Technologie Supérieure, University of Québec, Canada	amir-mohammad.fathollahi-fard.1@ens.etsmtl.ca
Dr. Fateme Marandi	Department of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Iran	fatem.marandi@aut.ac.ir
Dr. Rameshwar Dubey	Liverpool Business School, Liverpool John Moore's University, UK	r.dubey@ljmu.ac.uk
Dr. Saeedeh Parsaeefard	Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Canada	saeidah.fard@utoronto.ca
Dr. Menekşe Salar Barım	Research Industrial Engineer, National Institute	mzs0053@auburn.edu



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Dr. Adem Pınar,	for Occupational Safety and Health, USA Logistics and Strategic Planner, Turkish Armed Forces, Turkey	adempinar@yahoo.com
Inst. Nihan Çağlayan	Department of Management and Organization, Ahi Evran University, Turkey	nihancaglayan@ahievran.edu.tr
Res. Asst. Selin Çabuk	Department of Industrial Engineering, Cukurova University, Turkey	selincabuk@cu.edu.tr

Advisory Board / Danışma Kurulu

Prof. Dr. Mete Gündoğan	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	metegundogan@ybu.edu.tr
Prof. Dr. Ergün Eraslan	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	eraslan@ybu.edu.tr
Prof. Dr. Emel Kızılkaya Aydoğan	Department of Industrial Engineering, Erciyes University, Turkey	ekaydogan@erciyes.edu.tr
Prof. Dr. Tahir Hanalioglu	Department of Industrial Engineering, TOBB ETU University, Turkey	tahirkhaniyev@etu.edu.tr
Prof. Dr. Mehmet Kabak	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey	mkabak@gazi.edu.tr
Prof. Dr. Serpil Erol	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey	serpiler@gazi.edu.tr
Prof. Dr. Orhan Torkul	Department of Industrial Engineering, Sakarya University, Turkey	torkul@sakarya.edu.tr
Prof. Dr. Turan Paksoy	Department of Aviation Management, Selçuk University, Turkey	dr.tpaksoy@gmail.com
Prof. Dr. Hadi Gökçen	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey	hgokcen@gazi.edu.tr



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Journal of Turkish Operations Management (JTOM) issued by Ankara Yıldırım Beyazıt University (AYBU) is an international peer-reviewed online academic journal published in English, Turkish, Farsi and Arabic in all fields of industrial engineering for any query. JTOM addresses the theoretical framework, models, computational studies, and conceptual development of operations research together with current developments and practices. This journal combines the high standards of a traditional academic approach with the practical value of applications. Hence, JTOM aims to create an academical platform for the exchange of ideas and the presentation of new achievement in theory and application, wherever engineering and science meet the administrative and economic environment by applying operational research, and constructive suggestions on optimizing the current resources.

Current Publication Schedule

The journal published two times per year (June-December). The journal covers theoretical and some applied aspects of science and technology and informs the reader of new trends in basic science and technology. JTOM accepts submissions in the form of research articles, review articles, and short notes.

Manuscript Evaluation Process

The journal uses an online submission system through DergiPark®. The manuscript, along with all the files, is uploaded to DergiPark® online submission system which is available at the link <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom>

Open Access Policy

The Journal is an open access journal which means that all content is freely available without charge to the user or his/her institution. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles in this journal without asking prior permission from the publisher or the author All articles published are available on the journal web page <https://aybu.edu.tr/jtom/> and also DergiPark® system <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom>

Publication Fees

There is no submission, evaluation or publication fee for this journal. All accepted articles are freely available online upon publication.



INDEXING DATABASES

Tr Dizin	EBSCO	WCOSJ
Root Indexing	Index of Copernicus	InfoBase Index
ASOS	Academic Journal Index	ResearchBib
Google Scholar	SOBIAD	ROAD
MIAR	ESJI	ERIHPLUS
DergiPark	Scholar Article Journal Index	DRJI



CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Research Articles / Araştırma Makaleleri

- Evde sağlık hizmetlerinin planlanması: araç rotalama ve ekip çizelgeleme 703-720
Kevser Yurdakul, Hacı Mehmet Alakaş, Tamer Eren
- Sosyal medya reklam platformu seçimi: çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bir uygulama 721-738
Berk Can Saçan, Tamer Eren
- Gerçek zamanlı iki serbestlik dereceli eksiksiz döner ters sarkaç sisteminin kutup atama ile kontrolü 739-749
Servet Soygüder, Mustafa Özler
- İşsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine etkisinde işletme ve endüstri mühendisliği eğitiminin rolü 750-764
Erdinc Koc, Beste Desticioğlu, Hatice Çalıpnar, Bahar Özyörük
- Güvenilirlik ve kullanılabilirliğe dayalı sürdürülebilir sistem tasarımı: yeni bir yaklaşım 765-780
Merve Uzuner Şahin, Orhan Dengiz, Berna Dengiz
- A course timetabling formulation under circumstances of online education 781-791
Ahmet Bahadır Şimşek
- Bir kamu kurumundaki çalışanların ofis ortamındaki koşullarının ergonomi riskleri yönünden incelenmesi 792-805
Eda Ekin, Müge Uğur Özçelik, Nermin Avşar Özcan
- Yeşil araç rotalama problemi araştırması: geçmiş ve gelecekteki eğilimler 806-821
Esra Yaşar Boz, Furkan Aras
- Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile yeşil tedarik zincirindeki risklerin karşılaştırılması 822-838
Ahmet Çalık
- Türkiye’de yürütülen Endüstri 4.0 araştırmaları 839-861
Saliha Karadayı Usta
- Tıbbi Atık Toplama Araçlarının Rotalaması İçin Matematiksel Model Önerisi: Samsun İlinde Bir Uygulama 862-871
Ahad Furugi
- Sağlık çalışanlarında nozokomiyal ve laboratuvar kaynaklı hastalık maruziyeti ve proaktif yaklaşımla biyolojik risk analizi uygulaması 872-896
Nuray Alpoğlu Akbulut, Ergün Eraslan



Journal of Turkish Operations Management

Evde sağlık hizmetlerinin planlanması: Araç rotalama ve ekip çizelgeleme

Kevser Yurdakul¹, Hacı Mehmet Alakaş², Tamer Eren^{3*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: yurdakulkevser@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8942-7187>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: hmalagas@kku.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9874-7588>

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: teren@kku.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

*Sorumlu yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 14.03.2021
Revize: 30.04.2021
Kabul: 02.05.2021

Anahtar Kelimeler:

Evde Sağlık Hizmetleri,
Ekip Çizelgeleme,
Rotalama,
Tam Sayılı Doğrusal Programlama

Özet

Değişen ve gelişen dünyada, artan nüfus ve ortalama yaşam süresinin uzaması sebebiyle nüfus yaşlanmaktadır. Yaşlanan nüfus da hastalığı, bakım ihtiyacını beraberinde getirmekte ve sağlık sistemi üzerindeki yükü artırmaktadır. Bu nedenle yaşlı/hasta, bakıma muhtaç bireyler için Evde Sağlık Hizmetleri (ESH) sunulmaktadır. ESH, sağlık personellerinin hastaları evlerinde ziyaret ederek sundukları çeşitli sağlık hizmetlerini kapsamaktadır. Bu hizmetler, hasta taleplerinin artması ve kaynakların sınırlı olmasından dolayı etkin ve verimli bir şekilde planlanmalıdır. Bu bağlamda iki temel problem ile karşılaşılmaktadır: Atama ve rotalama. Yapılan çalışmada Ankara Eğitim Araştırma Hastanesi ESH Birimi'nden alınan gerçek verilerle 11 personel ve farklı konumlarda bulunan, 138 hastanın ziyaret planı oluşturulmuştur. İlk olarak Model-1'de iş yükünün minimize edilmesi amacıyla, farklı niteliklere sahip personelden ekipler oluşturulmuştur. Daha sonra Model-2'de, oluşturulan her ekibin toplam kat ettiği mesafenin minimize etmesi amacıyla, rotalar belirlenmiştir. Oluşturulan bu tam sayılı doğrusal modeller, IBM Ilog Cplex Optimization Studio programı ile çözülmüştür. Sonuç olarak, elde edilen uygun çözüm ile mevcut durum karşılaştırıldığında ekstra personel sağlanmadan rotalarda %18 iyileştirme sağlanmıştır.

Planning home health care services: Vehicle routing and crew scheduling

Article Info

Article History:

Received: 14.03.2021
Revised: 30.04.2021
Accepted: 02.05.2021

Keywords:

Home Health Care,
Crew Scheduling,
Routing,
Integer Linear Programming

Abstract

In the changing and developing world, the population is aging due to increasing population and prolonging average life expectancy. The ageing population also brings disease, the need for care and increases the burden on the health system. For this reason, Home Health Care (HHC) are offered for elderly/sick, needy of care individuals. HHC cover a variety of healthcare services offered by healthcare professionals by visiting patients at their homes. These services should be planned effectively and efficiently due to the increase patient demand and limited resources. In this context, two main problems are encountered: Assignment and routing. In the study, a visit plan for 11 personnel and 138 patients from different locations was created with the real data obtained from Ankara Eğitim Araştırma Hospital HHC Unit. First, teams were created from personnel with different qualifications in order to minimize the workload in Model-1. Later, in the Model-2, routes were determined in order to minimize the total distance traveled by each created team. These integer linear models created were solved with IBM Ilog Cplex Optimization Studio program. As a result, when comparing the current situation with the appropriate solution obtained, 18% improvement was achieved in the routes without providing extra personnel.

1. Giriş

Evde Sağlık Hizmetleri (ESH) yaşlı, bakıma muhtaç hastalara rahat, güvenilir ve konforlu bir şekilde, ev ortamlarında verilen sağlık hizmetlerinin tümüdür. Hastalara evlerinde verilen bu hizmetler, hastane doluluk oranlarının ve hastanede yatış sürelerinin azalmasına katkı sağlaması nedeniyle avantajlıdır.

Dünyada artan yaşlı nüfusu nedeniyle sağlık hizmetlerine olan talep artmakta ve sağlık sistemi üzerinde oluşan yükte buna bağlı olarak artmaktadır. Oluşan bu yük ile hastaneler hizmetlerinde yetersiz kalmakta ve birçok sorun ile karşı karşıya kalmaktadır. Karşılaşılan bu sorunlar ile mücadelede, karar verici konumunda olan yöneticiler için en önemli nokta, bütçe ve insan kaynağının etkin bir şekilde kullanılmasıdır. Bu noktada sağlık sistemlerinde ortaya çıkan karar problemleri için optimizasyona dayanan birçok çözüm yöntemi içeren, yöneylem araştırması uygun bir yaklaşımdır (Batur ve Erol, 2018).

ESH'nin planlama sürecinin uzunluğu ve etkisi ile ilişkili olarak çeşitli karar seviyelerinde (stratejik, taktiksel, operasyonel) problemler ortaya çıkmaktadır. Operasyonel düzeyde sıkça ilgilendirilen problemler, personel, hasta ataması ve araç rotalama problemleridir. Birden fazla paydaşı bulunan bu problemler, her bir paydaşa özel kısıtlamaları nedeniyle çeşitlenmekte ve karmaşık hale gelebilmektedir (Cissé ve diğ., 2017). Bu operasyonel karar problemlerinin çözümünde yöneylem araştırması teknikleri, mevcut durumda kullanılan manuel planlama yöntemlerine kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmektedir (Grieco ve diğ., 2021; Yurdakul ve diğ., 2020; Taş ve diğ., 2019).

Bu çalışmada, atama ve rotalama problemlerinin çözümünde daha az dikkate alınan ekip büyüklüğü ve niteliği konusu dikkate alınarak insan kaynağının etkin kullanımına dikkat çekilmiştir. Ayrıca güçlü yerel çözümler üretebilmek için iki farklı tamsayı model oluşturulmuştur. İlk modelde farklı niteliklere sahip olan personeller ekipler içerisine dengeli dağıtılarak en iyi şekilde taleplerin karşılanması sağlanmıştır ve ikinci model ile oluşturulan ekiplerin ziyaret edeceği hasta kümesi için minimum mesafe kat eden rotalar oluşturulmuştur. Bu sayede en uygun ziyaret planı oluşturulmuş ve sonuçla mevcut durum ile mukayese edilerek elde edilen sonucun uygunluğu vurgulanmıştır.

Çalışma bu bölümün ardından şu şekilde ilerlemiştir. İkinci bölümde evde sağlık hizmetleri süreci anlatılmıştır. Üçüncü bölümde optimal çözüm yöntemlerinden tam sayılı doğrusal yöntemi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ESH'nde atama ve rotalama problemleri ile ilgili yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenmiştir. Beşinci bölümde yapılan uygulama ve elde edilen çözümler anlatılmıştır. Altıncı bölüm olan son bölümde ise sonuçlar değerlendirilmiş ve ileride yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

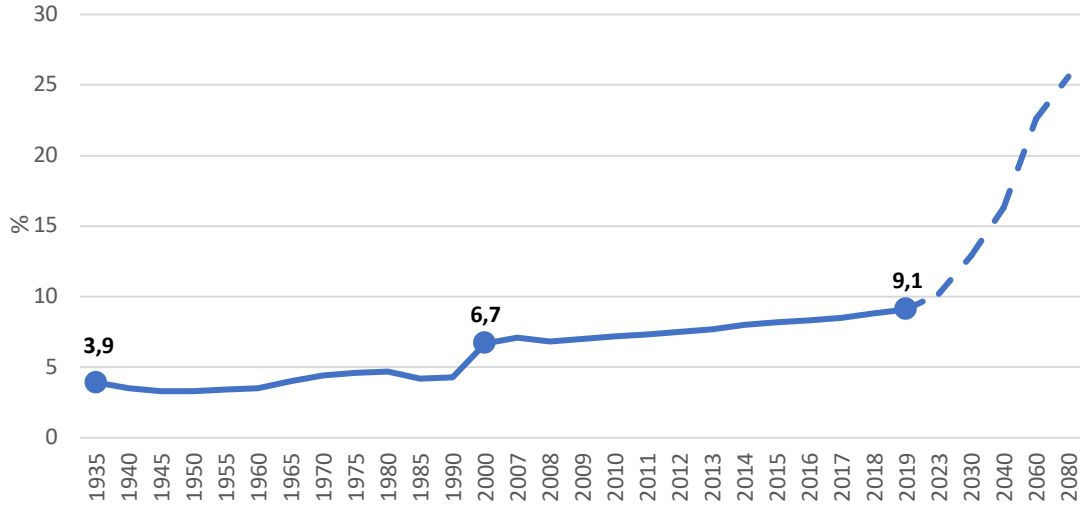
2. Evde sağlık hizmetleri

ESH engelli, süregelen bir rahatsızlığı olan, yaşam aktivitelerinde tam veya kısmi olarak bağımlı olan, hastalık sonrası iyileşme sürecinde olan yani belirli öncelikli gruplara dahil olan bireylerin sağlığını korumak, geliştirmek ve yaşam kalitesini artırabilmek için ev ortamlarında sunulan sağlık hizmetleridir (Emiliano ve diğ., 2017). Bu hizmetler için uluslararası anlaşılmış bir liste bulunmamasına karşın her ülke kendi sosyoekonomik ve kültürel yapısına göre belirli hizmetler sunmaktadır (Yılmaz ve diğ., 2010; Cayir, 2020). Ülkemizde ise ESH sosyal ve psikolojik danışmanlık hizmetlerini de kapsayacak şekilde verilen muayene, tetkik, tahlil, tedavi, tıbbi bakım, takip ve rehabilitasyon hizmetleridir (Sağlık Bakanlığı Ve Bağlı Kuruluşları Tarafından Evde Sağlık Hizmetlerinin Sunulmasına Dair Yönetmelik, 2015).

Farklı kavramlar ile tanımlanan ve tarihi dünyada 1800'lü yıllara kadar dayanan ESH, yoksul toplumlar, hastanelerin kapasite yetersizliği ve bulaşıcı hastalıkların azaltılması amacıyla farklı evrelerden geçmiştir (Yılmaz ve diğ., 2010; Türk Tabipler Birliği, 2015). Ülkemizde ilk kez çocukların gelişimi ve dispansere bağlı çocuklarının takibinin evde yapılması amacıyla "ev ziyareti" kavramı kullanılmıştır. (Umumi Hıfzıssıhha Kanununun Tatbikatına Dair Tamim, 1931). Daha sonra bulaşıcı hastalıklar nedeniyle kadınlar ve çocuklar ev ziyareti ve evde muayene kapsamında ziyaret edilmiştir (Çoban ve diğ., 2014). Ülkemizde bu ziyaretler 1930'larda başlamasına rağmen profesyonel anlamda ilk kez 2005 yılında yayınlanan "Evde Bakım Hizmetleri Sunumu Hakkında Yönetmelik" ile uygulamaya girmiş ve zaman içerisinde bu hizmetleri sunmada görevli birimler ve hizmetlerin kapsamı değişmiştir (Evde Bakım Hizmetleri Sunumu Hakkında Yönetmelik, 2005; Doğusan, 2019). Nihayetinde 2017 ve sonrası için yönetmeliğe oturtulmasa bile, muayene, tetkik, tahlil, tedavi, tıbbi bakım, takip ve rehabilitasyon hizmetlerinin sunumu hastaneler bünyesinde bulunan ESH birimlerine devredilmiştir (Doğusan, 2019).

2019 yılına bakıldığında dünya nüfusunun yaklaşık %10'unu 65 yaş ve üzeri bireyler oluşturmaktadır (Population Reference Bureau, 2019; United Nations, 2019). Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar daha da artacağı göz önüne alındığında, bu oranın %20'yi bulması öngörülmektedir (United Nations, 2019). Türkiye'de de bu durumun çok

farklı olmadığı Şekil 1’de görülmektedir. Bu grafikte gösterilen artış ile birlikte ESH’ne olan talebin artacağı ve bu hizmetlerin önem kazanacağını söylemek mümkündür.



Şekil 1. Türkiye’de yaşlı nüfusun toplam nüfus içindeki oranının yıllara göre değişimi (T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, 2020a; T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, 2020b)

ESH dünyada yeni ve gelişmekte olan bir süreç olması nedeniyle hastane yönetimi, hasta ve personel açısından birçok avantajının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Bu noktada ilk karşılaşılan sorunlar hedef kitlenin (gerçekten bu hizmete ihtiyaç duyan grup) çok iyi bir şekilde belirlenememesi, sınırlı kaynak olması sebebiyle profesyonel ekip oluşturulamaması, hasta açısından özel yaşamın gizliliğinin zedelenmesi ve personel güvenliğinin zedelenmesidir. Bu sorunların aksine konforlu ve güvenli, sosyal izolasyonu kaldırması, ekonomikliği, enfeksiyon riskinin azalması, hastane kapasitesinin korunması, birebir iletişim imkanı gibi birçok avantajı olması nedeniyle ESH tercih edilen hizmetlerdir.

ESH daha önce de belirtildiği gibi yaşlı nüfusunun artması, aile yapısında demografik faktörlerin değişimi gibi nedenlerle oldukça popüler ve talep edilen bir hizmet haline gelmiştir. Taleplerin artması, ESH sunucuları tarafından hizmet kalitesinin sürdürülmesini ve artırılmasını zor bir problem haline getirmiştir. Bu bağlamda ESH’nde tüm paydaşları içinde bulunduran, planlama sürecinin en iyi şekilde yapılması gerekmektedir. ESH’nde planlama sürecinin daha iyi yapılabilmesi için, bu çalışmada hizmeti dağıtan araçların rotalanması ve ekiplerin çizelgelenmesi problemleri ele alınmıştır ve bu araçların toplam katettiği mesafenin minimize edilmesi ve ekiplerin dengeli ve adaletli bir şekilde oluşturulması amaçlanmıştır.

3. Tam sayılı doğrusal programlama

Karar verme süreci hayatımızda hemen her alanda karşı karşıya kaldığımız bir süreçtir. Bu süreçte karar verici/vericiler, amaçları doğrultusunda, birçok alternatif arasından, belirli kısıtlar dahilinde karar problemlerine çözüm aramaktadır. Bu noktada karar vericiler problemlerine özgü birçok bilimsel yöntem ile problemlerine çözüm arayabilmektedir. Matematiksel modelleme de bu yöntemlerden birisidir. Doğrusal programlama matematiksel modellemede sıkça kullanılan yöntemlerdendir. Birçok karmaşık endüstriyel problem için geliştirilen doğrusal programlama modeli, amaç fonksiyonunun doğrusal ve kısıtların doğrusal eşitlik ve eşitsizliklerden oluştuğu bir optimizasyon yöntemidir (Luenberger ve Ye, 2016). Doğrusal programlama askeri problemlerden, endüstri, tarım, ekonomi, sağlık ve hatta davranış bilimleri alanlarında geniş bir yelpazede uygulanmaktadır (Taha, 2000). Bu yöntemin birçok alanda ve birçok problemde kullanılmasının yanı sıra rotalama ve çizelgeleme problemlerinde de sıkça tercih edildiği görülmüştür (Alakaş ve diğ., 2018; Güvez ve diğ., 2012; Uzumer ve Eren, 2012).

Doğrusal programlama modellerinde bölünebilirlik varsayımından dolayı karar değişkenleri optimum çözümde reel sayılar kümesinden herhangi bir değer alabilmektedir. Fakat gerçek hayat problemleri insan, araç, makine vb. bölünemeyen unsurları içerdiği için değişkenler tam sayılı değerlere ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda geliştirilen tam sayılı doğrusal programlama modelleri, değişkenlerinin bazıları ya da tümünün tam sayılı (kesikli) değerler aldığı modellerdir (Taha, 2000). Yöntemin genel formülasyonu eşitlik 1-5’de gösterilmektedir (Taha, 2014).

$$\max (\min) Z = g_0(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$\text{subject to} \quad (2)$$

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} b_i; i \in M \equiv \{1, 2, \dots, m\} \quad (3)$$

$$x_j \geq 0; j \in N \equiv \{1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

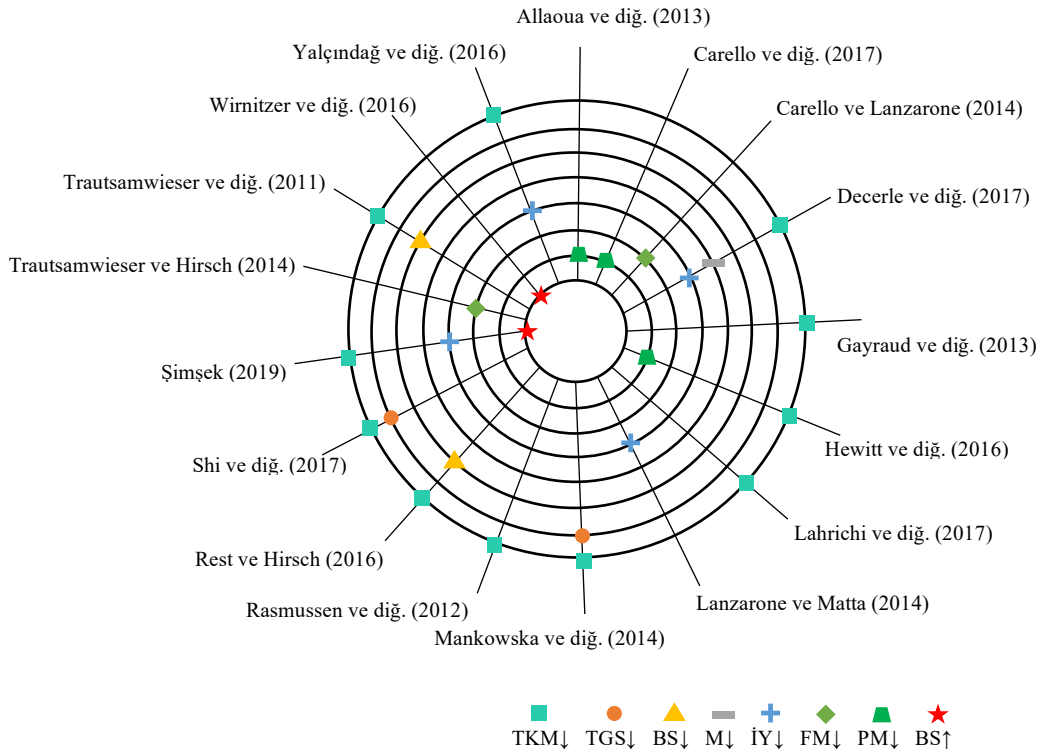
$$x_j = \text{tamsayı}; j \in I \subseteq N \quad (5)$$

4. Literatür taraması

Türkiye’de nispeten yeni olmakla birlikte dünyada ESH’nde atama ve rotalama problemlerine yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Son on yılda giderek artan ESH literatürüne bakıldığında ulusal ve uluslararası alanda araştırmacılar, klasik atama ve rotalama ile ESH’nin özel kısıtlamalarını birleştirerek yeni çalışmalar ortaya koymakta ve bu alana olan ilgiyi artırmaktadır.

Holm ve Angelsen (2014) yaptıkları çalışmada ESH’nde çalışanların çalışma sürelerinin %18 ila %26’nını seyahat süreleri oluşturduğunu vurgulamıştır. Dolayısıyla çalışmaların birçoğunda seyahat konusu ana odak noktası olmuş ve toplam kat edilen mesafenin/sürenin minimize edilmesi (TKM↓) hedeflenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda personeller ile ilgili olarak, aynı pozisyonda çalışan personeller arasında iş yükünün minimize edilmesi (İY↓) ve dengelenmesi, personellerin çalışma/fazla mesai sürelerinin minimize edilmesi (FM↓) ve personel sayısının/maliyetinin minimize edilmesi (PM↓) dikkate alınmıştır. Hastalar ile ilgili olarak, toplam gecikme süresinin minimize edilmesi (TGS↓), bekleme sürelerinin minimize edilmesi (BS↓), memnuniyetsizliklerin ve bunlardan dolayı oluşan cezaların minimize edilmesi (M↓) dikkate alınan hedefler arasındadır. Dahası iyi bir hizmet kalitesi için, hastaya planlama periyodu boyunca minimum farklı personel atanması, bir başka deyişle bakım sürekliliğinin maksimize edilmesi (BS↑) ise ilgilenilen diğer amaçlar arasındadır. Bu amaçlar ile ilgili yapılan çalışmalar ilişkin bilgiler Şekil 2’de verilmiştir.

Çok sayıda ve çeşitli çalışmalar bulunmasından dolayı literatürde ESH üzerine literatür incelemeleri bulunmaktadır. Fikar ve Hirsch (2017) ESH’nde rotalama ve çizelgeleme çalışmalarını kullandıkları yöntem, amaçlar ve kısıtlar bakımından incelemişlerdir ve ilerde hizmetlere olan talebin artmasıyla maliyetleri düşürmenin ve hizmet kalitesinin artırılmasının gelecekteki çalışmalar için önemi vurgulamışlardır. Grieco ve diğ. (2021) ESH’nde yönelem araştırması çalışmalarına ilişkin çalışmaları incelemişlerdir. Çalışma sonucunda takım büyüklüğü ve niteliğiyle ilgili taktiksel seviyedeki karar süreçlerine ilişkin çalışmaların az olduğunu vurgulamışlardır.



Şekil 2. ESH rotalama ve çizelgeleme problemlerinde amaç fonksiyonları

Eveborn ve diğ. (2006) bazı kısıtlamalar ve yumuşak hedefler içeren ve İsviçre'de kullanılan LAPS CARE karar destek sistemlerinde bakım sağlayıcıları için ziyaret programları geliştirmişlerdir. Bu sayede günlük planlamayı bir çizelge olarak oluşturulmuştur. Emiliano ve diğ. (2017) ESH'nin planlanmasına yönelik kümeleme, rotalama ve envanter yönetimi problemlerinde entegre yaklaşımların belirlenmesi için bir inceleme sunmaktadır. Çalışmada Portokuzi ve Brezilya'daki ESH incelenerek entegre yaklaşımlarla ilişkili bazı zorlukların üstesinden gelmek için optimizasyon modellerine ve simülasyon yaklaşımlarına dayanan bir karar destek sisteminin kullanılmasını önerilmektedir. Shi ve diğ. (2017) çalışmada stokastik seyahat ve hizmet süresi ile ESH rotalama sorununu ele almaktadırlar. Stokastik programlama modeli önerilmiş ve önerilen modeli çözmek için hibrit genetik algoritma ve stokastik simülasyon yöntemi entegre edilmiştir. Sonuç olarak stokastik model çok pahalı bulunmasına karşın etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Verjan ve diğ. (2018) ESH ağının tasarımı ve yönetimi için kapsamlı iki matematiksel model önermişlerdir. İlk optimizasyon modeliyle, bir bölge genelinde ev sağlığı merkezleri, talep ataması ve kaynak boyutlandırması için stratejik bir konum planı sağlanmaktadır ve evde sağlık merkezleri konumunu belirlenmektedir. İkinci olarak hasta bakımı için kritik süreçlerin dış kaynak kullanımına karar vererek ESH merkezlerinin faaliyetlerini en uygun şekilde yönetmeyi amaçlamaktadır.

ESH atama ve rotalama problemlerinde kararların planlama dönemleri uzadıkça veri yoğunluğu artar dolayısıyla problem karmaşık hale geldiği için, bazı çalışmalarda aylık (Hewitt ve diğ., 2016; Wimitzer ve diğ., 2016), bazılarında haftalık (Lahrichi, 2017) ve birçoğunda günlük (Eveborn vd, 2006; Mankowska ve diğ., 2014; Rest ve Hirsch, 2016) olarak dikkate alınmaktadır.

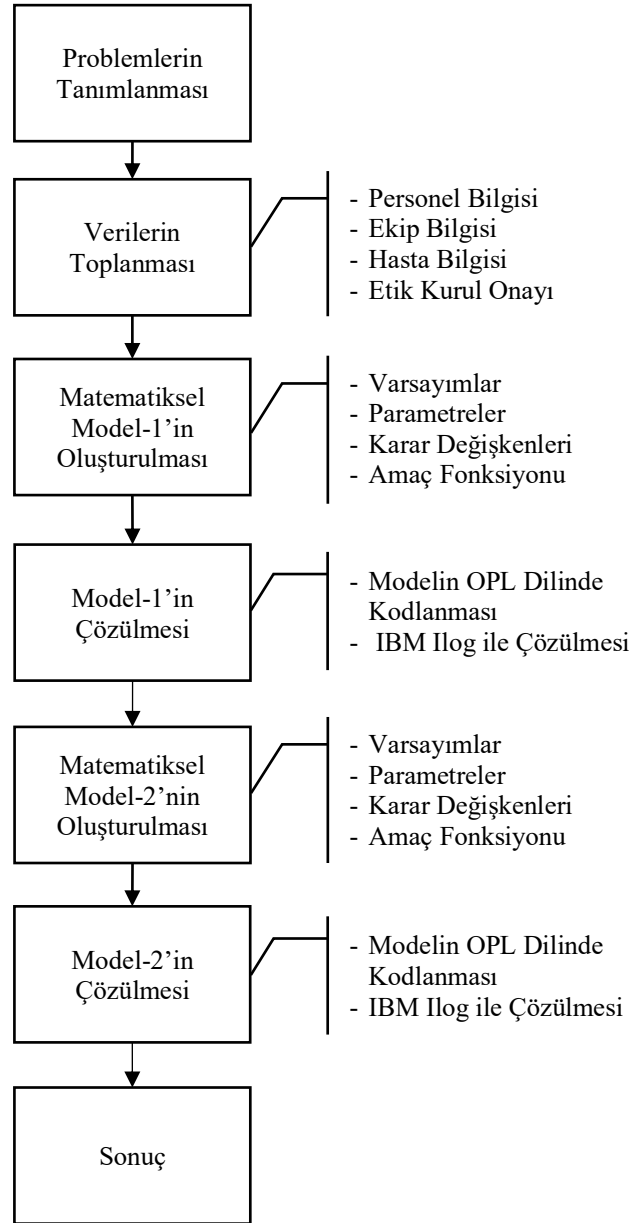
Allaoua ve diğ. (2013) her personel tipinin sayısını minimize etmeye çalışarak, küçük boyutlu problemler için tam sayılı bir model, büyük boyutlu problemler için ise matheuristik bir yaklaşım kullanmışlardır. Carello ve diğ. (2017) literatürde ilk kez, bakım sürekliliği ve belirsiz talepler altında, hemşireyi hastaya atama problemi, zamana bağlı talepler göz önünde bulundurularak Implementor-Adversarial yaklaşımı ile modellenmiştir. Carello ve Lanzarone (2014) bakım sürekliliği altında atama problemini ele almışlardır. Bakım sürekliliği kısıtının hizmetlerin esnekliği kısıtladığı ancak hasta memnuniyetini sağlayarak hizmet kalitesini artırdığı düşünülmektedir. Bu bağlamda hastalar sınıflandırılarak özellikle kritik hastalıklar için bakım sürekliliğinin sağlanması tartışılmaktadır. Decerle ve diğ. (2017) çalışmalarında araçlar arasında rota dengeleme konusunu ele almışlardır. Ayrıca önerilen modelde memnuniyetsizliklerden dolayı oluşan ceza maliyetlerinin minimize edilmesi ve rotalar arası maksimum mesafenin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Gayraud ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada hizmet süresini, personel ve hastaya bağlı olarak hesaplayarak ve personel yetkinlikleri ve hastanın bağımlılık düzeyini dikkate alarak rota planı oluşturmuşlardır. Hewitt ve diğ. (2016) ESH atama ve rotalama problemlerinde planlama

dönemi uzunlukları karşılaştırmışlar ve sonuç olarak uzun planlama periyodunun ulaşım maliyetleri ve personel seviyesinde tasarruf potansiyeli olduğunu düşünmüşlerdir. Lahrichi ve diğ. (2017) çalışmalarında literatürde sıklıkla önce atama sonra rotalamanın aksine önce rotalama daha sonra atama problemini ele almışlardır. Sonuçlarda ise ilerde büyük veriler ile çalışılmasının avantajlı olacağı vurgulanmıştır. Lanzarone ve Matta (2014) çalışmalarında stokastik hasta gelişleri ve bakım sürekliliğini dikkate alarak atama problemine çözüm getirmişlerdir. Mankowska ve diğ. (2014) hastaların gereksinimleri, personellerin nitelikleri ve hizmetler arasındaki bağımlılığı dikkate almaktadırlar. Rasmussen ve diğ. (2012) zaman pencereci araç rotalama probleminde tercihler ve ziyaretlerin kümelenmesini dikkate almışlardır. Problemin çözümü gerçek veri setleri kullanılarak branch and price algoritması önerilmiştir. Rest ve Hirsch (2016) ESH'nin bir günlük planlaması için personellerin zaman bağlı seyahat süreleriyle toplu taşımayı (otobüs, tren vb.) kullandığı bir model sunmuşlardır. Makul sürede sonuç alınamaması nedeniyle sezgisel bir yöntemle başvurmuşlardır. Trautsamwieser ve Hirsch (2014) günlük molalar, çalışma süresi ve haftalık dinlenme sürelerini planlamaya dahil ederek çizelgeleri oluşturmuşlardır. Trautsamwieser vd (2011) sel felaketi durumunda hizmetlerin sunumunda oluşan gecikmeleri ve hasta ile personel memnuniyetsizliklerini minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Wurnitzer ve diğ. (2016) bakım sürekliliğini dikkate alarak her hastaya atanan farklı hemşire sayısını en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Yalçındağ ve diğ. (2016) hemşire atama problemlerinde iş yükü dengesinin sağlanması amacıyla geçmiş verilere dayanan Kernel regresyon analizi yöntemini kullanmışlardır. Marcon ve diğ. (2016) yöneylem araştırması ve multi-agent sistemlerin ESH'ndeki yerlerini incelemişler ve bu yöntemlerin avantajlı yönlerinin birleştirilerek kullanılmasını vurgulamışlardır. Ayrıca çalışmada rotalama ve atama problemlerinin ayrı ayrı çözülmesinin güçlü sonuçlar elde edilmesinde başarılı olduğu söylenmiştir.

Bu çalışmada ise bir haftalık (beş gün) planlama döneminde personellerin iş yükü dengelenmesi ve araçların toplam kat ettiği mesafenin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda ilk olarak personel sayısı ve niteliği kısıtları dikkate alınarak ekip çizelgesi oluşturulmuş ardından ise ziyaret sıklığı, talep edilen hizmet tipi ve öğle arası molası kısıtları dikkate alınarak rotalar oluşturulmuştur. Ele alınan amaçlar ve kısıtlar bağlamında bu çalışma gerçek veriler kullanılması, literatürde daha az dikkate alınan ekip büyüklüğü ve niteliği konusunun ele alınması ve hem araç rotalama hem de ekip çizelgeleme problemlerinin bir arada modellenmesi ile literatüre katkı sağlanmıştır.

5. Uygulama

Yapılan çalışmada ele alınan problemin modellenmesi ve çözümüne ilişkin takip edilen adımlar Şekil 3'de verilen akış şemasında belirtilmiştir.



Şekil 3. Uygulama akış şeması

5.1. Problemlerin tanımlanması

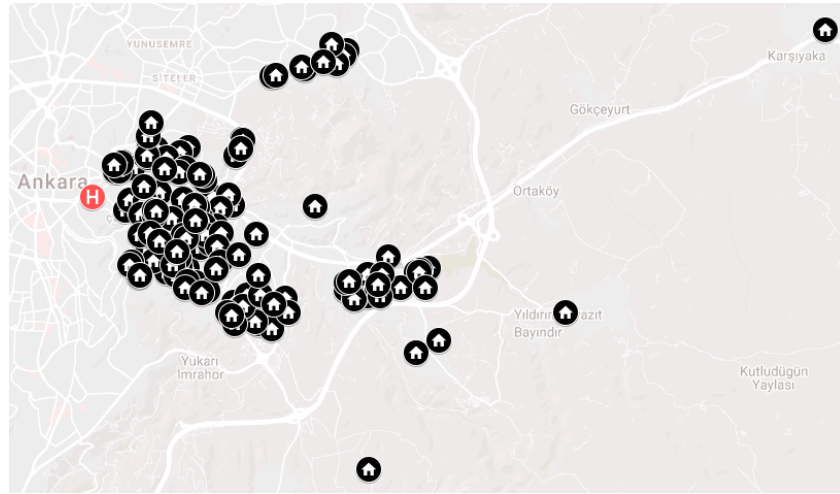
Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ankara'nın Altındağ ilçesinde bulunan bir eğitim araştırma hastanesidir ve 2010 yılından bu yana Evde Sağlık Hizmetleri Birimi bünyesinde, Mamak bölgesinde ikamet eden hastalara ESH'ni sunmaktadır. Çalışmada bu birimde bulunan 9 sağlık personeli ve 2 şoför ile bir hafta boyunca farklı konumlarda bulunan ve farklı talepleri olan 138 hastanın planlanması yapılmıştır.

Başlangıç olarak Model 1'de personellerin nitelikleri ve verebileceği hizmetler dikkate alınarak iş yükü dengesi sağlanması amacıyla ekiplerin oluşturulması problemi ele alınmıştır. Daha sonra Model 2'de belirlenen bu ekiplerin, minimum mesafeyi kat etmesi amaçlanarak hangi hastayı, hangi sıra ile ziyaret edeceği problemi ele alınmıştır.

5.2. Verilerin toplanması

Çalışmada modelin çözümü için 3 Şubat 2020 ile 7 Şubat 2020 tarihleri arasında ziyaret edilen hastalara, hizmeti veren ekiplere ve personellere ait bilgiler toplanmıştır. Bu toplanan bilgiler aşağıda listelenmiştir.

- Hasta ve hastanenin (rota başlangıç noktası) konum bilgileri (Şekil 4)
- Hastane ile hasta adreslerinin birbiri arasındaki mesafelerin km matrisi
- Hastanın talep ettiği hizmet türü, hizmet süresi, hizmetin tanımı ve doktor ihtiyacı (Tablo 1)
- Hastanın ziyaret edilmesi gereken gün/günler (Ek-1)
- Personel niteliğine göre personel sayısı (Tablo 2)



Şekil 4. Hastane ve hastaların harita görünümü

Tablo 1. Hastaların talep ettiği hizmetlere ilişkin bilgiler

Hasta No	Talep	Hizmet Süresi (dk)	Açıklama	Doktora ihtiyaç var mı?
2-24	Rutin Kan Alımı	10	Genel sağlık durumunun gözden geçirilmesi ve hastalığın seyrini incelemek amacıyla yapılan kan testidir.	✓
25-33	Enjeksiyon	5	Vücutta damar, kanal gibi boşluklardan enjektör yardımı ile gerekli sıvı veya ilacın verilmesi işlemidir.	✓
34-59	Muayene	10	Hasta bir kişinin sağlık yönünden incelenmesi işlemidir.	✓
60-139	Inr	5	Kandaki pıhtılaşma süresini ölçen bir testtir.	✗

Tablo 2. Personel niteliğine göre personel sayısı ve kodu

Personel Niteliği	Hemşire			Doktor				Sağlık Memuru		Şoför	
Personel Sayısı	3			4				2		2	
Personel Kodu	H1	H2	H3	D1	D2	D3	D4	SM1	SM2	Ş1	Ş2

5.3. Matematiksel model-1'in oluşturulması

Bu bölümde bir hafta boyunca farklı niteliklere sahip 11 personelin günlere ve ekiplere atanması için kurulan matematiksel modele yer verilmiştir ve "Hangi personel hangi gün hangi ekipte yer alacaktır?" sorusuna yanıt aranmaktadır.

5.3.1. Varsayımlar

1. Ek personel ya da ek araç olmaksızın her gün sadece 2 ekip oluşturulabileceği varsayılmıştır.
2. Her hasta tek hizmet talep etmektedir.
3. Her hastanın talep ettiği hizmet gerçekleşmiştir yani hastanın evde olmadığı ya da hastaneye kaldırıldığı gibi durumlar dikkate alınmamıştır.
4. Rutin kan alımı, enjeksiyon, muayene hizmetlerini 1. ekibin, inr hizmetini ise 2. ekibin verdiği varsayılmıştır.

5.3.2. Parametreler

i: personel indeksi	i=1,2,...,11
j: ekip indeksi	j=1,2
d: gün indeksi	d=1,2,...,5

5.3.3. Karar değişkenleri

$X_{ija} = \begin{cases} 1; & i \text{ personeli } j. \text{ ekibe } d. \text{ günde atanırsa} \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$	i=1,2,...,11 j=1,2 d=1,2,...,5
---	--------------------------------------

$WL_1 = \text{hemşireler için iş yükünün üst sınır değeri (gün)}$

$WL_2 = \text{doktorlar için iş yükünün üst sınır değeri (gün)}$

$WL_3 = \text{sağlık memuru için iş yükünün üst sınır değeri (gün)}$

$WL_4 = \text{şöforler için iş yükünün üst sınır değeri (gün)}$

5.3.4. Model-1'in amaç fonksiyonu ve kısıtları

Modelde her personel tipinin kendi içerisinde dengeli olarak günlere ve ekiplere atanması amaçlanmaktadır. Her gün 2 ekip oluşturulması varsayımı altında, oluşturulacak 1. Ekip doktor gerektiren hizmetlere, 2. Ekip ise doktor gerektirmeyen hemşire ya da sağlık memuru ile verilebilen hizmetlere göre oluşturulmaktadır. Bu sayede Model-2'de de hastaların talep ettiği hizmetlere göre ekipler ziyaret edecektir.

Amaç Fonksiyonu: Her personel tipinin (doktor, hemşire, sağlık memuru, şoför) iş yükünün 10, 11, 12, 13 kısıtları ile birlikte minimize edilmesi amaçlanmıştır.

$$\min Z = WL_1 + WL_2 + WL_3 + WL_4 \quad (6)$$

Kısıt 1: Her gün her ekibe mutlaka bir şoför atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=10}^{11} X_{ija} = 1; \forall j, d \quad (7)$$

Kısıt 2: Her gün her personelin en fazla bir ekibe atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{j=1}^2 X_{ija} \leq 1; \forall i, d \quad (8)$$

Kısıt 3-4: Her gün sadece birinci ekipte bir doktor bulunmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=4}^7 X_{i1d} = 1; \forall d \quad (9)$$

$$\sum_{i=4}^7 X_{i2d} = 0; \forall d \quad (10)$$

Kısıt 5-6: Her gün her ekipte en az bir en fazla iki hemşire bulunmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=1}^3 X_{ijd} \leq 2; \forall d, j \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^3 X_{ijd} \geq 1; \forall d, j \quad (12)$$

Kısıt 7: Her gün her ekipte en fazla bir sağlık memuru bulunmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=8}^9 X_{ijd} \leq 1; \forall d, j \quad (13)$$

Kısıt 8-9: Birinci ekibi 4 personel, ikinci ekibi 3 personel ile sınırlandırmaktadır.

$$\sum_{i=1}^{11} X_{i1d} = 4; \forall d \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{11} X_{i2d} = 3; \forall d \quad (15)$$

Kısıt 10-11-12-13: Her personel tipinin (hemşire, doktor, sağlık memuru ve şoför) iş yükünün üst sınırını belirlemektedir.

$$\sum_{d=1}^5 \sum_{j=1}^2 X_{ijd} \leq WL_1; \forall i = 1, 2, 3 \quad (16)$$

$$\sum_{d=1}^5 \sum_{j=1}^2 X_{ijd} \leq WL_2; \forall i = 4, 5, 6, 7 \quad (17)$$

$$\sum_{d=1}^5 \sum_{j=1}^2 X_{ijd} \leq WL_3; \forall i = 8, 9 \quad (18)$$

$$\sum_{d=1}^5 \sum_{j=1}^2 X_{ijd} \leq WL_4; \forall i = 10, 11 \quad (19)$$

Kısıt 14-15: İşaret kısıtlarıdır.

$$X_{ijd} \text{ 0 veya } 1; \forall i, j, d \quad (20)$$

$$WL_1, WL_2, WL_3, WL_4, \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (21)$$

5.4. Matematiksel model-1'in çözümü

Model-1 IBM Ilog Cplex Optimization Studio programı ile çözülmüştür. Modelde 114 karar değişkeni ve 15 kısıt kullanılmıştır. Yapılan çözüm sonucunda her bir personel tipinin iş yükünü minimize etme amacıyla üst sınırlar hesaplanmış Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 4'de ise hafta boyunca personellerin çalışacağı ekipler verilmiştir.

Tablo 3. Her personel tipinin iş yükü üst sınırı

	Hemşire	Doktor	Sağlık Memuru	Şoför
İş Yüğü Üst Sınırı	5(gün)	2(gün)	3(gün)	5(gün)

Tablo 4. Günlere göre oluşturulan ekip listesi

	3.Şub	4.Şub	5.Şub	6.Şub	7.Şub
Ekip 1	H3	H2	H2	H1	H3
	D4	H3	H3	H2	D1
	SM1	D3	D2	D2	SM2
	Ş2	Ş2	Ş2	Ş1	Ş2
Ekip 2	H1	H1	H1	H3	H1
	H2	SM2	SM1	SM2	H2
	Ş1	Ş1	Ş1	Ş2	Ş1

5.5. Matematiksel model-2'nin oluşturulması

Bu bölümde belirlenmiş ekiplere hastaları atayarak, ekiplerin günlük rotalarının oluşturulması ve planlamanın yapılması için kurulan matematiksel modele yer verilmiştir ve "Ekipler hangi hastaları hangi sıra ile ziyaret edecektir?" sorusuna yanıt aranmaktadır.

5.5.1. Varsayımlar

1. Hastane ile hasta adreslerinin birbiri arasındaki mesafeler bilinmekte ve gidiş-dönüş mesafeleri eşittir.
2. Her hasta hafta boyunca birden fazla kez ziyaret edilebilmektedir.
3. Aynı evde yaşayan hastalar (karı-koca) tek bir düğüm olarak kabul edilmiş ve o düğümdeki hizmet süresi iki hastaya göre belirlenmiştir.
4. Günlük mesai saati 360 dakikadır.
5. Araçlar saatte 60 km hızla hareket etmektedir.

5.5.2. Parametreler

i: terkedilen hasta indeksi i=1,2,...,139

j: ulaşılan hasta indeksi j=1,2,...,139

p: adres indeksi p=1,2,...,139

k: ekip indeksi k=1,2

d: gün indeksi d=1,2,...,5

$D_{ij} = t.$ hasta ile $j.$ hasta arasındaki uzaklık (km) i=,1,2,...,139

$T_i = i.$ hastanın hizmet süresi (dk) j=,1,2,...,139

$V_{jd} = \begin{cases} 1; j. hasta d. günde ziyaret edilmiş ise \\ 0; diğer durumlarda \end{cases}$ i=,1,2,...,139

S_1 : birinci gün ziyaret edilecek hasta kümesi j=,1,2,...,139

S_2 : ikinci gün ziyaret edilecek hasta kümesi d=1,2,...,5

S_1 : birinci gün ziyaret edilecek hasta kümesi

S_2 : ikinci gün ziyaret edilecek hasta kümesi

S_3 : üçüncü gün ziyaret edilecek hasta kümesi

S_4 : dördüncü gün ziyaret edilecek hasta kümesi

S_5 : beşinci gün ziyaret edilecek hasta kümesi

5.5.3. Karar değişkenleri

$$X_{ijkd} = \begin{cases} 1; d. \text{ günde } k. \text{ ekip } i. \text{ hastadan } j. \text{ hastaya ziyaret gerçekleştirirse} \\ 0; \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$$

u_i = alt tur oluşmasını engelleyen değişken

5.5.4. Model-2'nin amaç fonksiyonu ve kısıtları

139 farklı konumdaki 141 hastaya bir hafta boyunca 187 kez verilecek hizmetler ekiplere atanmış ve günlük rotaları en kısa olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu sayede gün içindeki planlamalar önceden belirlenmiştir.

Amaç fonksiyonu: Bir hafta boyunca tüm ekiplerin gerçekleştirdiği ziyaretlerdeki toplam kat edilen mesafeyi minimize etmek amaçlanmıştır.

$$\min Z = \sum_{i=1}^{139} \sum_{j=1}^{139} \sum_{k=1}^2 \sum_{d=1}^5 X_{ijkd} * D_{ij} \quad (22)$$

Kısıt 1-2: Her rotanın 1 nolu adresten (Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi Evde Sağlık Hizmetleri Birimi) başlamasını ve yine 1 nolu adreste tamamlanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{j=1}^{139} X_{1jkd} = 1; \forall k, d \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^{139} X_{i1kd} = 1; \forall k, d \quad (24)$$

Kısıt 3-4: Her gün her hastaya bir ekibin girmesi ve çıkmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{j=1}^{139} \sum_{k=1}^2 X_{ijkd} \leq 1; \forall i, i \neq 1, d \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^{139} \sum_{k=1}^2 X_{ijkd} \leq 1; \forall j, j \neq 1, d \quad (26)$$

Kısıt 5-6: Her hasta ziyaretin planlandığı günlerde bakılmasını garanti eder (Trautsamwieser ve Hirsch, 2014).

$$\sum_{i=1}^{139} \sum_{k=1}^2 X_{ijkd} = V_{jd}; \forall j, j \neq 1, d \quad (27)$$

$$\sum_{i=1}^{59} \sum_{d=1}^5 X_{ijkd} - \sum_{d=1}^5 V_{jd} = 0; \forall j = 1, 2, \dots, 59 \quad (28)$$

Kısıt 7: Rutin kan alımı, enjeksiyon ve muayene hizmetlerini alan hastaların (2-59 numaralı hastalar) 2. Ekibe (doktor bulunmayan) atanmasını engellemektedir.

$$\sum_{j=2}^{59} \sum_{d=1}^5 X_{ij2d} = 0; \forall i = 2, 3, \dots, 59 \quad (29)$$

Kısıt 8: Inr hizmeti alan hastaların 1. Ekibe (doktor bulunan) atanmasını engeller.

$$\sum_{j=60}^{139} \sum_{d=1}^5 X_{ij1d} = 0; \forall i = 60,61, \dots, 139 \quad (30)$$

Kısıt 9: Her ekibin her gün hizmetlerini mesai saatleri içerisinde (09:00-16:00) hizmet vermesini garanti etmektedir.

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 1}}^{139} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{139} T_i * X_{ijkd} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 1}}^{139} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{139} 1 * D_{ij} * X_{ijkd} \leq 360; \forall k, d \quad (31)$$

Kısıt 10: Her düğümde akışın korunmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=1}^{139} X_{ipkd} - \sum_{j=1}^{139} X_{pjkd} = 0; \forall p, p \neq 1, k, d \quad (32)$$

Kısıt 11-12-13-14-15: Her gün oluşturulacak rotalarda alt tur oluşmasını engellemektedir.

$$u_i - u_j + 41 * \sum_{k=1}^2 X_{ijk1} \leq 40; \forall i \in S_1, i \neq 1, j \in S_1, j \neq 1, j \neq i \quad (33)$$

$$u_i - u_j + 58 * \sum_{k=1}^2 X_{ijk2} \leq 57; \forall i \in S_2, i \neq 1, j \in S_2, j \neq 1, j \neq i \quad (34)$$

$$u_i - u_j + 18 * \sum_{k=1}^2 X_{ijk3} \leq 17; \forall i \in S_3, i \neq 1, j \in S_3, j \neq 1, j \neq i \quad (35)$$

$$u_i - u_j + 38 * \sum_{k=1}^2 X_{ijk4} \leq 37; \forall i \in S_4, i \neq 1, j \in S_4, j \neq 1, j \neq i \quad (36)$$

$$u_i - u_j + 32 * \sum_{k=1}^2 X_{ijk5} \leq 31; \forall i \in S_5, i \neq 1, j \in S_5, j \neq 1, j \neq i \quad (37)$$

Kısıt 16-17: İşaret kısıtlarıdır.

$$X_{ijkd}, 0 \text{ veya } 1; \forall i, j, k, d \quad (38)$$

$$u_i \text{ tamsayı}, \forall i \quad (39)$$

5.6. Matematiksel model-2'nin çözümü

Model-2 IBM Ilog Cplex Optimization Studio programı 5 saat çalıştırılarak çözülmüştür. Modelde 201.640 karar değişkeni ve 17 kısıt kullanılmıştır. Yapılan çözüm sonucunda her gün her ekip tarafından kat edilen toplam mesafenin minimize edilmesi amacıyla rotalar oluşturulmuş ve Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Günlük olarak ekip rotaları

Gün	Ekip	Rota	Süre	Amaç
3.Şub	Ekip1	1→38→5→6→37→7→36→35→28→26→25→2→4→34→3→27→1	5 saat	514,308 km
	Ekip2	1→74→60→75→64→63→81→77→83→69→79→66→67→61→65→84→80→73→70→71→68→82→62→72→78→76→1		
4.Şub	Ekip1	1→13→14→8→39→40→29→30→9→28→43→42→41→44→11→10→25→31→12→1		
	Ekip2	1→74→60→75→100→81→77→102→89→99→93→85→69→79→91→95→90→66→67→101→65→94→84→80→73→70→87→71→68→82→97→92→88→62→72→78→76→96→98→86→1		
5.Şub	Ekip1	1→20→17→30→47→46→15→45→28→32→48→16→19→18→25→49→31→50→1		
	Ekip2	-		
6.Şub	Ekip1	1→22→55→54→21→51→30→56→28→25→52→53→1		
	Ekip2	1→115→89→99→93→85→116→113→91→95→90→112→104→108→111→114→106→105→103→107→109→92→88→110→98→117→86→1		
7.Şub	Ekip1	1→59→24→23→30→28→58→57→33→25→1		
	Ekip2	1→137→122→126→128→134→119→120→127→130→124→123→121→138→132→118→136→133→129→131→139→135→125→1		

5.7. Sonuçların mevcut durum ile karşılaştırılması

Matematiksel model sonucunda elde edilen çözüm ile mevcut durumda oluşturulan çözüm Tablo 6'daki gibi karşılaştırılmıştır. Hafta boyunca aynı sayıda hasta, optimal çözümde sadece kadrolu çalışan personeller ile yapılabilirken, mevcut durumda hastaneden ekstra personel istemi yapılmıştır. Buna ek olarak toplam kat edilen mesafenin minimize edilmesi amacıyla oluşturulan rotalar ile birlikte yaklaşık 95 km'lik kazanç elde edilmiştir.

Tablo 6. Mevcut ve optimal çözümün karşılaştırılması

	MEVCUT	OPTİMAL
Hasta Sayısı	138	138
Personel Sayısı	11+4	11
Toplam Mesafe (km)	609,6	514,308

6. Sonuç ve tartışma

ESH bireylere evlerinde verilen sağlık hizmetleridir. Bu hizmetler kapsamında muayene, tetkik, tahlil, tedavi, tıbbi bakım, takip ve rehabilitasyon hizmetleri sunulmaktadır. Bu uygulama hastane yönetimi açısından hastane yatış sürelerini azaltarak hastane doluluk oranlarını azaltma avantajı sağlarken, hasta açısından bakıldığında rahat ve konforlu bir şekilde hastalığının takip ve tedavisinin yapılmasını sağlayan pratik bir uygulamadır. Özellikle artan

nüfus içerisindeki yaşlı nüfus oranının artmasıyla, bu hizmetlere olan talep de artmıştır. Dolayısıyla bu hizmetlerin iyi planlanarak hizmet kalitesinin artırılması önem kazanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi bağlı Evde Sağlık Hizmeti Birimi uygulama yeri olarak seçilmiştir. Çalışmada toplanan veriler ile iki ayrı tam sayılı programlama modeli kurularak haftalık ziyaret planı oluşturulmuştur. İlk olarak Model-1 ile farklı niteliklere sahip kadrolu sağlık personellerinden, her gün iki ekip olması şartıyla ekipler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ekiplerde her personel tipi için iş yükü minimizasyonu hedeflenmiş ve bu sayede dengeli ve adaletli bir ekip listesi oluşturulmuştur. Daha sonra Model-2’de önceki aşamada oluşturulan her ekip için, gün içerisinde ziyaret edeceği hastalara göre rotaları oluşturulmuştur. Oluşturulan rotalarda ana amaç olarak toplam kat edilen mesafe minimizasyonu dikkate alınırken, yan amaç olarak yol, süre ve maliyet minimizasyonu sağlanmıştır.

Kurulan iki model sonucunda elde edilen uygun çözüm ile mevcut durum karşılaştırıldığında ek personele ihtiyaç duymadan, sadece kadrolu personeller ile rotalarda %18 ((609,6-514,308)-1) iyileştirme sağlanmıştır.

Bu çalışmaya personel tercihleri, bakım sürekliliği vb. konular dahil edilerek daha farklı kriterlerden oluşan ziyaret planları oluşturulabilir. Planlama periyotları daha küçük (günlük) ya da daha büyük (aylık) ele alınarak ziyaret planları üzerindeki etkisi tartışılabilir. Büyük boyutlu veri setleri ile çalışılarak metasezgisel yöntemler kullanılabilir. İleride yapılacak çalışmalarda farklı uygulama yerleri seçilerek farklı kısıtlamalar ve farklı veriler içeren matematiksel modeller oluşturulabilir.

Bu çalışmada ele alınan problem, hedeflenen amaç, kısıtlar ve problemin boyutu ile düşünüldüğünde kullanılan yöntem ile uyumludur. Ancak planlama periyodunun uzaması ya da veri yoğunluğu artmasıyla birlikte bu yöntem makul çözüm süresinde uygun sonuç veremeyebilir. Bu nedenle büyük boyutlu problemler için sezgisel yöntemlerin kullanılması avantajlı olacaktır.

Araştırmacıların katkısı

Kevser YURDAKUL: Bilimsel yayın araştırması, verilerin toplanması ve düzenlenmesi, yöntemin uygulanması ve makalenin oluşturulması işlemlerini gerçekleştirmiştir. Hacı Mehmet ALAKAŞ: Kullanılan yöntemin belirlenmesi, çözümün oluşturulması ve sonuçların yorumlanmasına katkı sağlamıştır. Tamer EREN: Bilimsel araştırma yeterliliğinin, yöntem uygunluğunun, sonuçların yorumlanmasının ve makalenin genel inlemesini gerçekleştirmiştir.

Çıkar çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

Alakaş, H.M., Kızıldaş, Ş., Eren, T. & Özcan, E. (2018) Sıfır Atık Projesi Kapsamında Atıkların Toplanması: Kırıkkale İlinde Homojen Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 190-196. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>

Allaoua, H., Borne, S., Letocart, L. & Calvo, R. W. (2013). A matheuristic approach for solving a home health care problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 41, 471–478. doi: <https://doi.org/10.1016/j.endm.2013.05.127>

Batur, G.D. & Erol, S. (2018). Sağlık sistemlerinde yöneylem araştırması teknikleri: 2007-2017 yılları arası literatür taraması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 153–166. doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2017.44389>

Carello, G. & Lanzarone, E. (2014). A cardinality-constrained robust model for the assignment problem in Home Care services. *European Journal of Operational Research*, 236, 748–762. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.01.009>

Carello, G., Lanzarone, E., Servilio, M. & Laricini, D. (2017). Handling Time-Related Demands in the Home Care Nurse-to-Patient Assignment Problem with the Implementor-Adversarial Approach. *International Conference on Health Care Systems Engineering*, 210, 87–97. Erişim adresi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-66146-9_8

- Cayir, Y. (2020). Home Health Care. *Turkish Journal of Family Medicine and Primary Care*, 14(1), 147–152. doi: <https://doi.org/10.21763/tjfmpe.693164>
- Cissé, M., Yalçındağ, S., Kergosien, Y., Şahin, E., Lenté, C & Matta, A. (2017). OR problems related to Home Health Care: A review of relevant routing and scheduling problems. *Operations Research for Health Care*, 13, 1–22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.06.001>
- Çoban, M., Esatoğlu, A.E. ve İzgi, M.C. (2014). Türkiye’de evde sağlık ve bakım hizmetleri uygulamalarının mevzuat içindeki tarihsel değişimi. *Türkiye Biyoetik Dergisi*, 1(3), 154–176. doi: <https://doi.org/10.5505/tjob.2014.29392>
- Decerle, J., Grunder, O., Hajjam El Hassani, A. & Barakat, O. (2017). A general model for the home health care routing and scheduling problem with route balancing. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 14662–14667. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1907>
- Doğusan, A.R. (2019). Türkiye’de Evde Sağlık Hizmetleri ile İlgili Mevzuat ve Gelişimi. *Ankara Med J*, 19(3), 684–693. doi: <https://doi.org/10.17098/amj.624563>
- Emiliano, W., Telhada, J. & do Samerio Carvalho, M. (2017). Home health care logistics planning: a review and framework. *Procedia Manufacturing*, 13, 948–955. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.165>
- Eveborn, P., Flisberg, P. & Ronnqvist, M. (2006). LAPS CARE—an operational system for staff planning of home care. *European Journal of Operational Research*, 171(3), 962–976. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.01.011>
- Fikar, C. & Hirsch, P. (2017). Home health care routing and scheduling: A review. *Computers & Operations Research*, 77, 86–95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.07.019>
- Gayraud, F., Deroussi, L., Grangeon, N. & Norre, S. (2013). A new mathematical formulation for the home health care problem. *Procedia Technology*, 9, 1041–1047. doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.116>
- Grieco L., Utley M. & Crowe S. (2021) Operational research applied to decisions in home health care: A systematic literature review, *Journal of the Operational Research Society*, 72:9, 1960-1991 doi: <https://doi.org/10.1080/01605682.2020.1750311>
- Güvez, H., Dege, M. & Eren, T. (2012). Kırıkkale’de araç rotalama problemi ile tıbbi atıkların toplanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(1), 41-45. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/umagd/issue/31723/345863>
- Hewitt, M., Nowak, M. & Nataraj, N. (2016). Planning Strategies for Home Health Care Delivery. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 33(5): 1–26. doi: <https://doi.org/10.1142/S021759591650041X>
- Holm, S. & Angelsen, R. (2014). A descriptive retrospective study of time consumption in home care services: how do employees use their working time?. *BMC Health Serv Res*, 14(439), 1-10. Erişim adresi: <http://www.biomedcentral.com/1472-6963/14/439>
- Lahrichi, N., Lanzaron, E. & Yalçındağ, S. (2017). A New Decomposition Approach for the Home Health Care Problem, *International Conference on Health Care Systems Engineering*, 210, 27–36. Erişim adresi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-66146-9_3
- Lanzarone, E. & Matta, A. (2014). Robust nurse-to-patient assignment in home care services to minimize overtimes under continuity of care. *Operations Research for Health Care*, 3, 48–58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2014.01.003>
- Luenberger, D.G. & Ye, Y. (2016). *Linear and Nonlinear Programming*. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18842-3>
- Mankowska, D.S., Meisel, F. & Bierwirth, C. (2014). The home health care routing and scheduling problem with interdependent services. *Health Care Manag Sci*, 17(1), 15–30. doi: <https://doi.org/10.1007/s10729-013-9243-1>
- Marcon, E., Sondes, C., Yves, S. & Bonte, T. (2016). Caregivers Routing Problem in Home Health Care: Literature Review. *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*. *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*, 694, 319-326. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51100-9>
- Population Reference Bureau. (2019). Erişim adresi: <https://www.prb.org/2019-world-population-data-sheet/>
- Rasmussen, M.S., Justesen, T., Dohn, A. & Larsen, J. (2012). The Home Care Crew Scheduling Problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 598–610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.10.048>

- Rest, K.D. & Hirsch, P. (2016). Daily scheduling of home health care services using time-dependent public transport. *Flex Serv Manuf J*, 28(3), 495–525. doi: <https://doi.org/10.1007/s10696-015-9227-1>
- Shi, Y., Boudouh, T. & Grunder, O. (2017). A Home Health Care Routing Problem with Stochastic Travel and Service Time. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 13987–13992. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2419>
- Taha, H. (2000). *Yöneylem Araştırması*. Literatür Yayıncılık.
- Taha, H. (2014). *Integer programming: theory, applications, and computations*. Academic Press.
- Taş, C., Bedir, N., Yurdakul, K., Alakaş, H.M., Eren, T. & Çetin, S.Ö. (2019). Yaşlılara Bakım Hizmetinde En Uygun Rotanın Belirlenmesi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 391-402.
- T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. (2020a). Erişim adresi: <https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/37313/istatistik-bulteni-ocak-2020-1.pdf>
- T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. (2020b). Erişim adresi: <https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/45354/yasli-nufus-demografik-degisimi-2020.pdf>
- Evde Bakım Hizmetleri Sunumu Hakkında Yönetmelik. (2005, 10 Mart). Resmi Gazete (Sayı: 25751). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/03/20050310-5.htm>
- Sağlık Bakanlığı Ve Bağlı Kuruluşları Tarafından Evde Sağlık Hizmetlerinin Sunulmasına Dair Yönetmelik. (2015, 27 Şubat). Resmi Gazete (Sayı: 29280). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/02/20150227-14.htm>
- Trautsamwieser, A. & Hirsch, P. (2014). A Branch-Price-and-Cut Approach for Solving the Medium-Term Home Health Care Planning Problem. *Wiley Online Library*, 64(3), 143–159. doi: <https://doi.org/10.1002/net.21566>
- Trautsamwieser, A., Gronalt, M. & Hirsch, P. (2011). Securing home health care in times of natural disasters. *OR Spectrum*, 33(3), 787–813. doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0253-4>
- Türk Tabipler Birliği. (2015). Erişim adresi: <https://www.ttb.org.tr/235yglf>
- Umumi Hıfzıssıhha Kanununun Tatbikatına Dair Tamim. (1931, 19 Temmuz). Resmi Gazete (Sayı: 1852) Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/1852.pdf>
- United Nations, (2019). Erişim adresi: <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2019-Report.pdf>
- Uzumer, E. & Eren, T. (2012). Okul Servisi Rotalama Problemi: Bir Uygulama. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 4(2), 26-29. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/umagd/issue/31724/346034>
- Wirnitzer, J., Heckmann, I., Meyer, A. & Nicke, S. (2016). Patient-based nurse rostering in home care. *Operations Research for Health Care*, 8, 91–102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.08.005>
- Yalçındağ, S., Matta A., Şahin, E. & Shanthikumar, J.G. (2016). The patient assignment problem in home health care: using a data-driven method to estimate the travel times of care givers. *Flex Serv Manuf J*, 28, 304–335. doi: <https://doi.org/10.1007/s10696-015-9222-6>
- Yılmaz, M., Sametoğlu, F., Akmeşe, G., Tak, A., Yağbasan, B., Gökçay, S., Sağlam, M., Doğanılmaz, D. & Erdem, S. (2010). Sağlık Hizmetinin Alternatif Bir Sunum Şekli Olarak Evde Hasta Bakımı. *İstanbul Tıp Dergisi*, 11(3), 125–132.
- Yurdakul, K., Alakaş, H.M., Eren, T. & Gür, Ş. (2020). Yaşlılara Evde Bakım Hizmetinde Bulunan Ekiplerin Rotalanması: Büyükşehir Belediyesinde Bir Uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1), 206-223. doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.602180>

Ek-1

Hasta No	3.Şub	4.Şub	5.Şub	6.Şub	7.Şub	Hasta No	3.Şub	4.Şub	5.Şub	6.Şub	7.Şub	Hasta No	3.Şub	4.Şub	5.Şub	6.Şub	7.Şub	

1 (Hst.)	-	-	-	-	-	48		✓	95	✓	✓
2	✓					49		✓	96	✓	
3	✓					50		✓	97	✓	
4	✓					51			98	✓	✓
5	✓					52		✓	99	✓	✓
6	✓					53		✓	100	✓	
7	✓					54		✓	101	✓	
8		✓				55		✓	102	✓	
9		✓				56		✓	103		✓
10		✓				57			104	✓	✓
11		✓				58			105	✓	✓
12		✓				59		✓	106	✓	✓
13		✓				60	✓	✓	107	✓	✓
14		✓				61	✓		108	✓	✓
15			✓			62	✓	✓	109	✓	✓
16			✓			63	✓		110	✓	✓
17			✓			64	✓		111	✓	✓
18			✓			65	✓	✓	112	✓	✓
19			✓			66	✓	✓	113	✓	✓
20			✓			67	✓	✓	114	✓	✓
21				✓		68	✓	✓	115	✓	✓
22				✓		69	✓	✓	116	✓	✓
23					✓	70	✓	✓	117	✓	✓
24					✓	71	✓	✓	118		✓
25	✓	✓	✓	✓	✓	72	✓	✓	119		✓
26	✓					73	✓	✓	120		✓
27	✓					74	✓	✓	121		✓
28	✓	✓	✓	✓	✓	75	✓	✓	122		✓
29		✓				76	✓	✓	123		✓
30		✓	✓	✓	✓	77	✓	✓	124		✓
31		✓	✓			78	✓	✓	125		✓
32			✓			79	✓	✓	126		✓
33					✓	80	✓	✓	127		✓
34	✓					81	✓	✓	128		✓
35	✓					82	✓	✓	129		✓
36	✓					83	✓		130		✓
37	✓					84	✓	✓	131		✓
38	✓					85		✓	132		✓
39		✓				86		✓	133		✓
40		✓				87		✓	134		✓
41		✓				88		✓	135		✓
42		✓				89		✓	136		✓
43		✓				90		✓	137		✓
44		✓				91		✓	138		✓
45			✓			92		✓	139		✓
46			✓			93		✓			
47			✓			94		✓			



Journal of Turkish Operations Management

Sosyal medya reklam platformu seçimi: Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bir uygulama

Berk Can Saçan^{1*}, Tamer Eren²

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: berksacan@outlook.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5942-3356>

²Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: tamereren@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 11.04.2021

Revize: 28.04.2021

Kabul: 08.05.2021

Anahtar Kelimeler:

Dijital Pazarlama,
Sosyal Medya,
Çok Ölçütlü Karar,
Verme Yöntemleri

Özet

Sosyal medya bireylerin birbirleri ile iletişime geçtikleri, fikirlerini paylaştıkları ve çeşitli aktivitelerin yapıldığı dijital platformlar bütünüdür. Dünya çapında 3 milyarın üzerinde sosyal medya kullanıcısı bulunmaktadır. Türkiye’de ise Facebook, Instagram, Twitter ve YouTube kullanıcı sayıları sırasıyla şu şekildedir; YouTube 50 milyon kullanıcı ile ilk sırada yer almaktadır, Instagram 46 milyon kullanıcı sayısı ile ikinci sırada yer alırken, Facebook 2021 yılında 38 milyon kullanıcı sayısına ulaşmıştır. Twitter 13 milyon kullanıcı sayısı ile dördüncü sırada yer almıştır. Firmalar için bu sayı ulaşılması kolay ve daha ekonomik bir pazar oluşturmuştur. Bu pazarda hedeflenen sonuçlara ulaşmanın en önemli yollarından birisi doğru reklam stratejilerinin oluşturulmasıdır. Sosyal medya platformlarının neredeyse hepsi reklam seçeneği sunmaktadır. Önemli olan nokta hangi platformda hangi reklam türünün uygulanacağıdır. Yapılan çalışmada hedef kitleye göre ideal reklam platformunun seçimi amaçlanmıştır. Çalışma bankacılık sektöründe Türkiye’nin öncü firmaları arasında yer alan bir bankada yapılmıştır. Firmanın ürünleri arasında yer alan genç kredi kartı için reklam kampanyası yapılacaktır. Bu reklam kampanyası için sosyal medya platform seçimi problemi ele alınmıştır. Çalışmada 4 alternatif ve 12 kriter belirlenmiştir. Bu alternatif ve kriterler ANP, AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçlar birbirleri ile tutarlılık göstermiştir.

Social media advertising platform selection: An application with multi-criteria decision making methods

Article Info

Article History:

Received: 11.04.2021

Revised: 28.04.2021

Accepted: 08.05.2021

Keywords:

Digital Marketing,
Social Media,
Multi-Criteria,
Decision Making
Methods

Abstract

Social media is a set of digital platforms where individuals communicate with each other, share their ideas, and conduct various activities. There are over 3 billion social media users worldwide. Facebook, Instagram, Twitter and YouTube user numbers in Turkey are as follows; YouTube ranks first with 50 million users, Instagram ranks second with 46 million users, and Facebook reached 38 million users in 2021. Twitter ranked fourth with 13 million users. For companies, this number has created an easy-to-reach and more economical market. One of the most important ways to achieve the targeted results in this market is to create the right advertising strategies. Almost all social media platforms offer the option of advertising. The important point is which type of advertising will be applied on which platform. The aim of the study is to select the ideal advertising platform according to the target audience. The study was conducted in a bank that is one of the dec companies in Turkey in the banking sector. An advertising campaign will be conducted for the credit card, which is one of the company's products dec The problem of choosing a social media platform for this advertising campaign is discussed. 4 Alternatives and 12 criteria were determined in the study. These alternatives and criteria were evaluated by ANP, AHP, TOPSIS and PROMETHEE methods. The obtained results were compared and the results showed consistency with each other.

1. Giriş

2021 yılı verilerine bakıldığında sosyal medya kullanıcı sayısı 3,2 milyar olarak karşımıza çıkmaktadır (Survivor, 2021). Her geçen gün kullanıcı sayısı hızla artan bu platformlar firmalar için yeni bir pazar oluşturmuştur. Dünya geneline bakılacak olursa her firma için potansiyel 3,2 milyar müşteri sosyal medya platformlarında vakit geçirmektedir. 2020 yılına oranla sosyal medya kullanımı 12 ay içerisinde 490 milyon yeni kullanıcı ile büyüme sağladı. 2021 yılında Facebook kullanıcı sayısı 2,7 milyara ulaşırken Facebook kullanan kişilerin %32'si 25-34 yaş aralığındaki kullanıcılarıdır. Instagram kullanıcılarının sayısı Facebook'a göre daha düşük olsa da global çapta oldukça büyük bir kitleyi barındırmaktadır. 1,2 milyar insan Instagram kullanırken bu kullanıcılar 18 – 34 yaş aralığında yer almıştır. İstatistiklerden görüleceği üzere Instagram Facebook'a oranla genç kitleye daha çok hitap etmektedir. İnsanların düşüncelerini özgürce ifade edebildikleri bir diğer platform ise Twitter. 2021 verilerine bakıldığında Twitter kullanıcı sayısı 353 milyon kişidir. Bu kullanıcıların 25 – 34 yaş aralığı öne çıkan grup olmuştur. Facebook ve Instagram'a göre kullanıcı sayısı az olsa da firmaların hedef kitlelerine ulaşmak için kullandıkları en aktif platformlar arasında yer almaktadır. Twitter daha çok kişilerin toplum içerisinde beyan edemedikleri fikirlerini özgürce yazabildikleri, tartışmaya girebildikleri ve kendi düşüncesine sahip insanlarla etkileşime geçebildikleri en aktif platformlar arasında yer almaktadır. YouTube video içeriklerinin yer aldığı, video izleme ve oluşturma, bir videodan diğerine geçilebilen bir platformdur. YouTube gerek firmalar, gerekse bireyler için oldukça önemli bir mecraadır. 2,3 milyar kullanıcı potansiyeli ile firmaların hedef kitlelerine ulaşmak için kullandıkları en verimli platformlardan birisidir. Genel olarak sosyal medya platformlarına bakıldığında firmaların reklamlarını spesifik olarak belirledikleri hedef kitlelere sunabildikleri ve bu reklamları nicel olarak ölçümleyebildiklerinden dolayı hayati önem taşımaktadır. Yapılan çalışma bankacılık sektöründe Türkiye'nin öncü firmalarından birisinde gerçekleştirilmiştir. Firma kampanyasını duyuracağı genç kredi kartı için reklam çalışmaları yapmayı planlamaktadır. Tanıtımı yapılacak kredi kartının resmî hesaplarının bulunduğu platformlar olan Facebook, Instagram, Twitter ve YouTube reklam kampanyasının yapılacağı alternatifler olarak ele alınmıştır. Dünyanın hızla değişmesiyle birlikte sosyal medya hayatımızın en önemli parçalarından birisi olmuştur. Sosyal medya iletişim, eğlence, bilgi edinme gibi birçok amaca hitap etmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların sosyal medya kullanım oranları, sosyal medya platform tanımları, sosyal medya pazarlamasının dijital pazarlama kavramı içerisindeki önemlerine değinilmiştir. Bu çalışmada gerçek veriler ışığında ve uzman görüşleri doğrultusunda somut bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Ele alınan kriterler sosyal medya reklamlarının değerlendirilmesinde gelecek çalışmalara bir referans oluşturmuştur. Yapılan literatür taraması sonucunda belirlenen kriter ve alternatiflerin birlikte değerlendirilmediği gözlemlenmiştir. Ayrıca kullanılan ÇÖKV yöntemlerinin birlikte kullanıldığı ve sonuçlarının karşılaştırıldığı bir çalışma görülmektedir.

Yapılan çalışmada reklam kampanyasının uygulanacağı ve firmanın resmî hesaplarının bulunduğu 4 sosyal medya platformu belirlenmiştir. Belirlenen sosyal medya platformlarını değerlendirmek için uzman görüşleri ve literatür taraması neticesinde 12 adet kriter belirlenmiştir. Alternatif ve kriterler belirlenen probleme göre değişiklik gösterebilmektedir. Facebook, Instagram, Twitter ve YouTube reklamlarının değerlendirilebilmesi için bu platformların ortak noktaları ve reklam çeşitlilikleri dikkate alınmıştır. Seçimi yapılan ÇÖKV yöntemlerinin entegre edilirken dikkat edilen nokta ise bir yöntemin çıktısının diğer yöntemin girdisi olarak kullanılabilir olmasıdır. Çalışmada 4 adet Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi kullanılmış olup bu yöntemler; Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Analitik Ağ Prosesi (ANP), TOPSIS ve PROMETHEE'dir. AHP ve ANP yöntemleri ile elde edilen kriter ağırlıkları sırasıyla TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinde kullanılarak, alternatif sıralamaları elde edilmiştir. Kullanılan yöntemler karşılaştırıldığında ise her iki yöntem kombinasyonunda Instagram reklamları ilk sırada yer almıştır. Genç kitlenin daha aktif olarak kullandığı Instagram platformu uzman görüşleri ile de tutarlılık göstermiştir.

Çalışma planı şu şekildedir: ikinci bölümde literatürde yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Üçüncü bölümde ele alınan platformların tanımlarına yer verilirken, dördüncü bölümde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Beşinci bölümde çalışmanın uygulama kısmı yer almaktadır. Altıncı bölümde çalışmanın sonuçları ve gelecek çalışmalar için öneriler bulunmaktadır.

2. Literatür Taraması

Literatürde sosyal medya ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; Tutgun – Ünal ve Deniz (2020) tarafından yapılan çalışmada kuşaklara göre sosyal medya kullanımı problemi ele alınmıştır. X, Y, Z ve Baby Boomer olarak adlandırılan kuşakların sosyal medya kullanımlarını analiz etmek için her bir kitleye anket yöntemi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda kuşaklara göre sosyal medya kullanım seviyeleri tespit edilmiştir. Akbulut ve Çelik (2018) ele aldıkları çalışmada sosyal medya ve statü ilişkisini ele almışlardır. Çalışmada çeşitli eğitim, gelir düzeyi ve yaş aralığına sahip sosyal medya kullanıcılarına anket uygulanmıştır. Çalışma sonucunda farklı statüdeki kullanıcıların hangi sosyal medya platformunu ne düzeyde kullandığı belirlenmiştir. Barutçu ve Tomuş (2013) yaptıkları çalışmada sosyal medya pazarlaması uygulamalarının etkinliğinin ölçümünü ele almışlardır. Sosyal medya pazarlamalarının nasıl olması gerektiği, sürdürülebilir sosyal medya çalışmaları için neler yapılabileceğini ortaya

koymuşlardır. Keskin ve Kurtuldu (2018) ele aldıkları çalışmada üniversite öğrencilerinin dijital pazarlamaya yatkınlıklarını ölçümlemişlerdir. Üniversite öğrencilerine yapılan anket uygulaması ile sosyal medya kullanım düzeyleri ve dijital pazarlama araçlarına yatkınlıkları R analizi ile test etmişlerdir. Köksal ve Özdemir (2013) tarafından yapılan çalışmada sosyal medya pazarlamasının geleneksel pazarlama karmasının 4P'sin içerisindeki yeri araştırılmıştır. Literatürde bulunan sosyal medya pazarlaması kavramını içeren çalışmalar incelenmiştir. Türkiye'de faaliyet gösteren 5 firmanın Facebook kullanım etkinlikleri incelenmiştir. Sonuç olarak sosyal medya araçlarının pazarlama karması içerisinde yer alan tutundurma elemanlarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Alan ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada dijital pazarlama araçları ve avantajları, sosyal medya pazarlaması kavramı ve özellikleri açıklanırken sosyal medya platformlarında müşteri ilişkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda dijital pazarlama ve sosyal medya pazarlamasının avantajlı ve dezavantajlı yönleri belirlenmiş, işletmeler ve tüketiciler açısından nasıl karşılandığı tespit edilmiştir. Çelik (2014) yaptığı çalışmada çeşitli kaynaklardan gerekli literatür taramasını yaparak, belirli sosyal medya platformlarını ve pazarlama iletişimi kavramlarından reklam ve halkla ilişkiler öğelerini incelemiştir. Sonuç olarak sosyal medya araçlarının ve kullanıcılarının pazarlama kavramı üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Yalçinkaya (2018) tarafından yapılan çalışmada Türkiye de bulunan siyasi partilerin dijital pazarlama kanallarını kullandıklarını incelemiştir. Bu çalışmada genel olarak dijital pazarlama terimini açıklamış, dijital pazarlama araçlarını incelemiş ve Türkiye'deki siyasi partilerin bu araçları hangi ölçüde kullandığını analiz etmiştir. Çalışmada 3 siyasi partinin Facebook, Twitter, Instagram ve YouTube gibi mecralardaki takipçi sayıları, paylaşımları ve bu paylaşımların almış olduğu etkileşimleri değerlendirmiştir. Gedik (2020) yaptığı çalışmada dijital pazarlama ve araçlarının tanımlanmasını yapmıştır. Çalışmada sosyal medya pazarlama, SEO, SEM, içerik pazarlama, mobil pazarlama gibi 13 adet dijital pazarlama aracı ele alınmıştır ve bu araçlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Dijital pazarlama stratejilerinin farklılık göstermekle birlikte bir bütünün parçaları olduğu ortaya konulmuştur. Kılınc (2020) tarafından yapılan çalışmada sosyal medya kavramının tarihsel gelişimi ele alınmıştır. Çalışmada sosyal medyanın günümüzdeki yeri ve önemi, en çok kullanılan sosyal medya platformları tanımlanırken, bu sosyal medya platformlarının bazı küresel çaptaki şirketler tarafından hangi ölçüde kullanıldıkları saptanmıştır. Çalışmada ele alınan sosyal medya platformları; Facebook, Twitter, Instagram, YouTube ve LinkedIn olmak üzere 5 adettir. Bu platformların çalışmada yer verilen şirketlerin kullanım stratejileri ve amaçlarına değinilmiştir. Bulut ve diğ. (2020) ele aldıkları çalışmada temizlik ürünü üreten bir firmanın reklam tanıtımı için bir matematiksel model ortaya koymuşlardır. Bu matematiksel model hedef kitleyi en büyükmeyi amaçlamaktadır. Televizyon kanallarına verilecek reklam tanıtımları için program türleri ve gösterim kuşakları belirlenmiştir. Bu program türlerinin izleyici kitleleri ile değerlendirilerek reklam tanıtımlarının en optimal hedef kitleye ulaşması amaçlanmıştır. Sonuç olarak önceki reklam planlamalarına göre daha az maliyetli ve daha fazla hedef kitleye ulaşan bir reklam çizelgesi oluşturulmuştur. Saçan ve Eren (2021) yaptıkları çalışmada dijital pazarlama strateji seçimi problemini ele almışlardır. Çalışma bir tekstil firmasında yapılmıştır. Problemden SWOT analizi ile firmanın güçlü ve zayıf yönleri belirlenmiştir. Bu yönler belirlendikten sonra firma için 7 adet alternatif dijital pazarlama stratejisi ANP ve PROMETHEE yöntemleri ile sıralanmıştır. Sonuç olarak firma için en ideal pazarlama stratejisi elde edilmiştir. Rouyendegh ve diğ. (2019) tarafından ele alınan çalışmada, E-ticaret sitelerinin performans değerlendirmeleri için AHP ve IFT entegre modeline dayanan bir analiz gerçekleştirilmiştir. Problemden 3 alternatif 4 kriter yardımı ile değerlendirilmiştir. Bu entegre model karar vericilerin bulanık sayıları değerlendirmesinde kolaylık sağlamıştır. AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanarak IFT yöntemi ile alternatif sıralamaları elde edilmiştir. Sonuç olarak E-ticaret sitelerinde site kalite problemlerinin detaylı olarak incelenmesi sonucu elde edilmiştir. Alağaç ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada bir mobilya firmasında AHP ve Hedef Programlama yöntemleri ile reklam stratejisi seçimi problemi ele alınmıştır. Problemden 13 adet reklam stratejisi ve 9 adet hedef belirlenmiştir. AHP yöntemi kullanılarak belirlenen hedeflerin ağırlıkları hesaplanmış ve hedef programlama yöntemi ile belirlenen hedefler optimize edilmiştir. Sonuç olarak önceki planlamalara göre reklam maliyetlerinde azalış ve belirlenen hedeflerde artış gözlemlenmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda belirlenen alternatif ve kriterlerin birlikte değerlendirilmediği tespit edilmiş olup yapılan bu çalışma ile literatürdeki bu açığın kapatılması hedeflenmiştir. Ayrıca literatürde ANP – PROMETHEE ve AHP – TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı ve sonuçlarının karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yönü ile de bu çalışma literatüre katkı sağlar niteliktedir.

3. Sosyal Medya Platformları

Kullanıcıların içerik ürettikleri, birbirleri ile iletişime geçebildikleri ve haberlerden bilgi edinebildikleri dijital platformların bütününe sosyal medya denilmektedir. Dünya çapında aktif olarak kullanılan çok sayıda sosyal medya platformu bulunmaktadır. Sosyal medya firmaların belirledikleri hedef kitlelere doğrudan ve tam zamanında ulaşmalarını sağlamaktadır. Geleneksel pazarlama araçlarına göre sosyal medya daha ekonomik, ölçülebilir ve müşteriye göre kişiselleştirilebilir. Sosyal medya pazarlaması geleneksel pazarlamaya göre hedeflenen müşterilerle firmaların daha güçlü iletişim kurmasını sağlar. Karşılıklı yapılan fikir alışverişleri, müşteri yorumları, çevrim içi anketler gibi birçok yöntem ile firma müşterilerinin beklentilerinin neler olduğunu daha doğru anlayabilmektedir. Sosyal medya firmaların mevcut müşterilerinin yanı sıra potansiyel müşterilerine

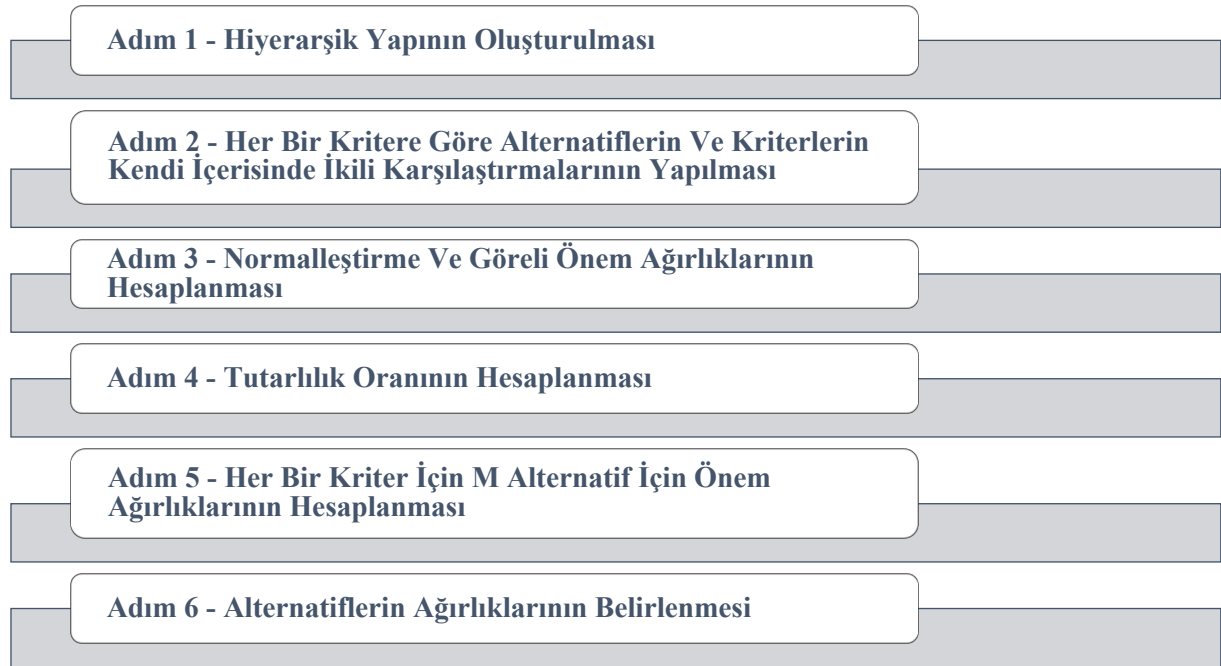
ulaşmak içinde kullandıkları bir pazarlama aracıdır. Çalışmada bu sosyal medya platformları içerisinde en aktif olarak kullanılan 4 platform alternatif olarak seçilmiştir. Seçilen platformlar, Facebook, Instagram, Twitter ve YouTube olarak belirlenmiştir. Seçilen platformlar dışında Tiktok, Snapchat, WhatsApp, Telegram gibi birçok sosyal medya platformu bulunmaktadır. Alternatif olarak belirlenen platformlar, firmanın resmi hesaplarının bulunduğu platformlardır. Belirli bir takipçi sayısı ve kitlesi olan bu platformlar yeni açılacak olan platformlara göre daha kolay bir uygulama alanı olacağı için çalışmada bu 4 platform ele alınmıştır.

4. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri

Makalede kullanılan 4 adet ÇÖKV yöntemi açıklanmıştır. Çalışmada AHP – TOPSIS ve ANP – PROMETHEE yöntemleri birlikte kullanılarak iki farklı sonuç elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve uzman görüşleri karşılaştırılarak elde edilen çözümün tutarlı olup olmadığı değerlendirilmiştir.

4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

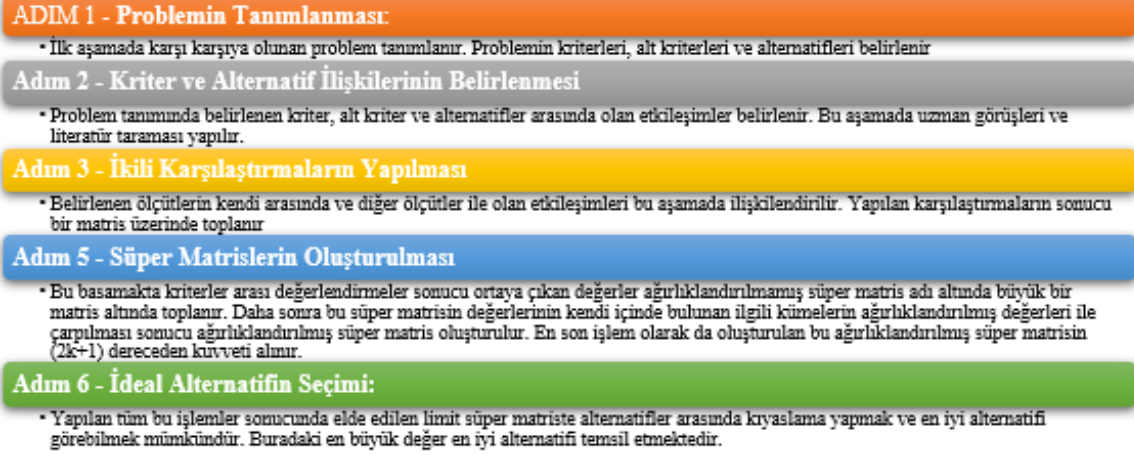
AHP, Thomas H. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilmiştir. Teknik, en genel tanımıyla, çoklu kriter ve ağırlıklarının belirlenmesinde yapısal bir yaklaşım sağlar. AHP yöntemi adımları Şekil 1’de yer aldığı gibidir (Saaty,1990).



Şekil 1: AHP Yöntemi Adımları

4.2. Analitik Ağ Prosesi (ANP)

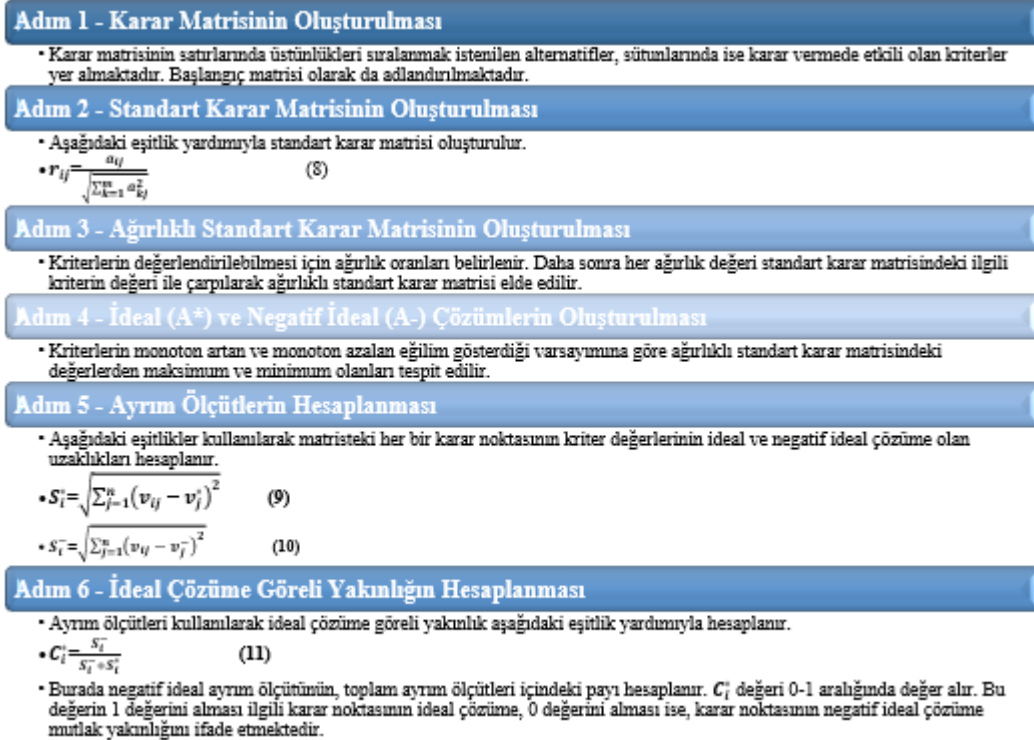
Analitik Ağ Prosesi (ANP) Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir. ANP AHP'nin genelleştirilmiş bir halidir. ANP uzmanlar tarafından belirlenen alternatiflerin ve bu alternatifleri değerlendirmek için kullanılan kriterlerin ağırlıklandırılmasında ve sıralamasında kullanılmaktadır. ANP yönteminin aşamaları Şekil 2'de yer aldığı gibidir (Saaty, 1999).



Şekil 2. ANP Yöntemi Aşamaları

4.3. TOPSIS

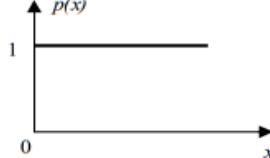
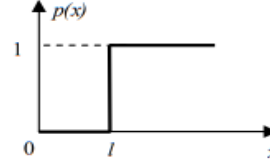
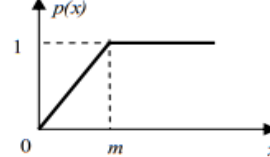
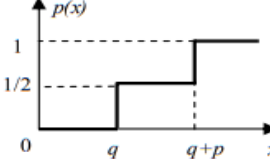
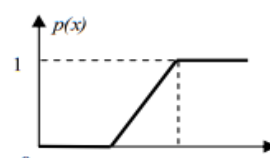
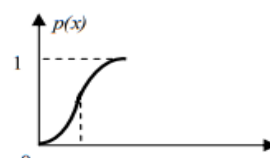
TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir ve karar verme problemlerinde çözüme ulaşırken yapılan analizler ile pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme göre alternatiflerin seçilmesine dayanmaktadır. TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır (Özcan ve diğ., 2017).



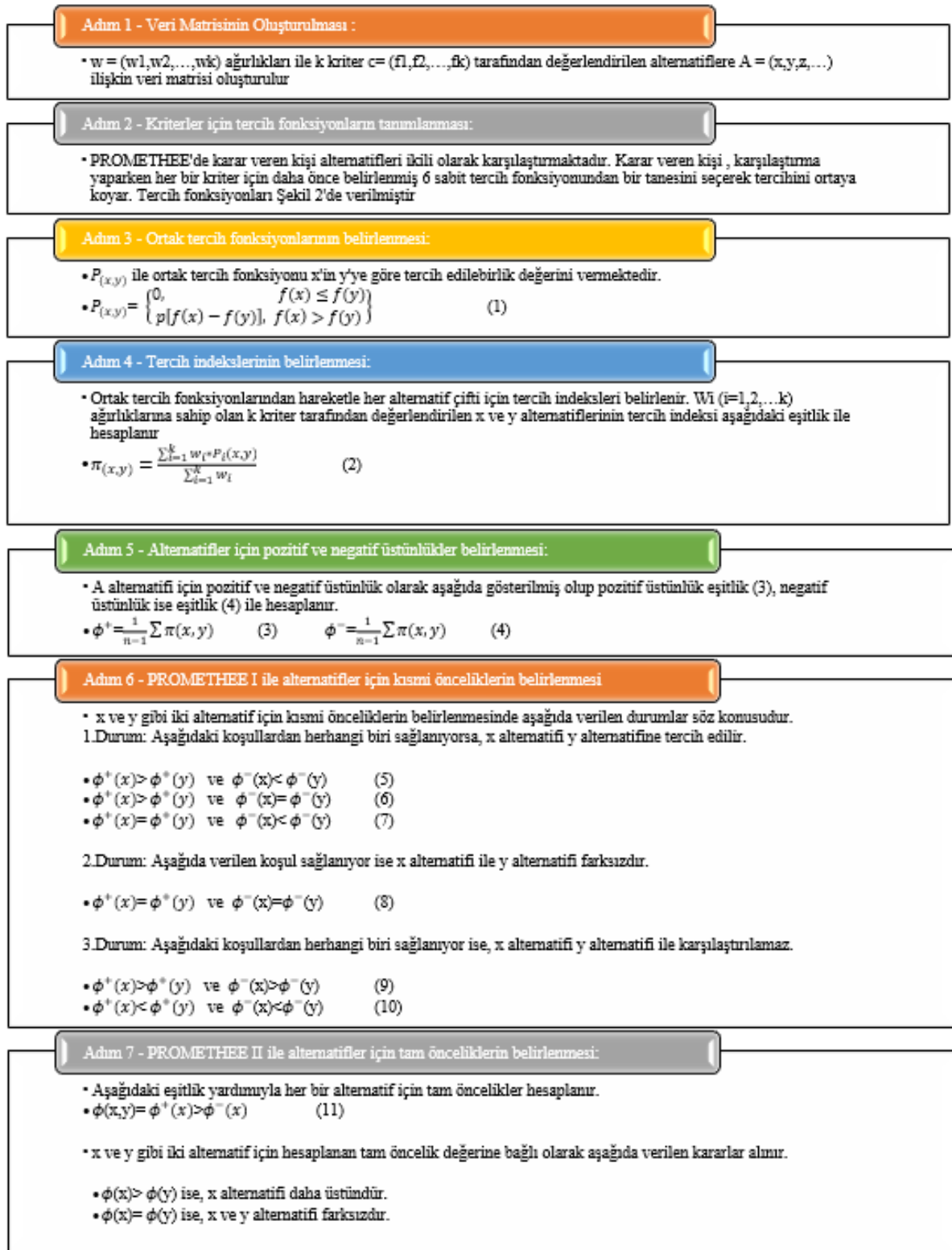
Şekil 3. TOPSIS Yöntemi Adımları

4.4. PROMETHEE

PROMETHEE, 1982 yılında Jean-Pierre Brans tarafından geliştirilmiş çok ölçütlü karar verme yöntemidir. PROMETHEE yönteminde kriterlere en uygun alternatifin seçilmesi için tasarlanmış bir sistemdir. PROMETHEE tercih fonksiyonları Şekil 4'te, yöntem adımları Şekil 5'te gösterildiği gibidir (Taş ve diğ., 2017; Uslu ve diğ., 2020)

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	l	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x > l \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	m	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	q, p	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q + p \\ 1, & x > q + p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Lineer)	s, r	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s < x \leq s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	σ	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

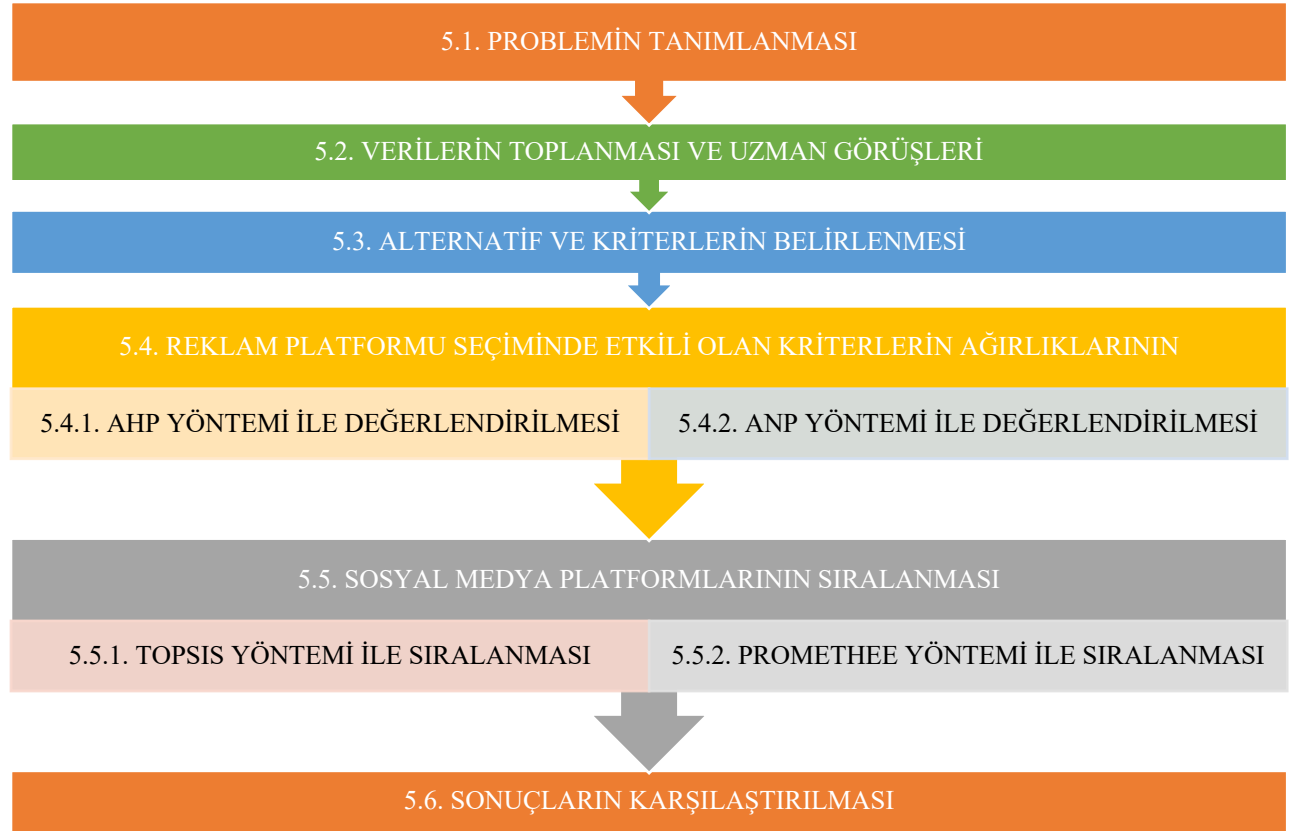
Şekil 4. PROMETHEE tercih fonksiyonları (Brans ve diğ., 1986)



Şekil 5. PROMETHEE Yöntemi Aşamaları

5. Uygulama

Ele alınan problemin akış şeması Şekil 6’da yer aldığı gibidir.



Şekil 6. Problem Akış Şeması

5.1. Problem Tanımı

Çalışma bankacılık sektöründe Türkiye'nin öncü firmaları arasında yer alan bir bankada gerçekleştirilmiştir. Firmanın Türkiye de 2020 verilerine göre 1,265 şubesi ve 23,930 personeli bulunmaktadır. Ayrıca firmanın toplamda 95 iştiraki bulunmaktadır. 13 adet kredi kartı bulunan firmanın 18 – 25 yaş aralığı için oluşturulan genç kredi kartı için reklam kampanyası düzenlenmek istenmektedir. Bu kampanyanın tanıtımı için firmanın resmî hesaplarının yer aldığı sosyal medya platformlarında reklamlar verilecektir. Çalışmada bu kampanyanın tanıtımı için ideal sosyal medya platformu seçimi problemi ele alınmıştır. Reklam verilecek sosyal medya mecrasının seçimini değerlendirmek için uzman görüşleri doğrultusunda 4 alternatif, 4 kriter ve 12 alt kriter belirlenmiştir. Problemin çözüm aşamasında AHP, ANP, PROMETHEE ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi ile ideal alternatif belirlenmiştir. ANP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları ise PROMETHEE yönteminde kullanılmış olup alternatiflerin sıralaması belirlenmiştir. Kullanılan yöntemler karşılaştırılarak reklam kampanyasında öncelik verilecek mecranın seçimi belirlenmiştir.

5.2. Verilerin Toplanması ve Uzman Görüşleri

Çalışmada kullanılan takipçi sayısı verileri firmanın resmî sosyal medya hesaplarından elde edilmiştir. Sosyal medya platformlarının kimler tarafından yönetildiği, hedef kitle olarak belirlenen yaş aralığı, reklam verirken kullanılan platform ayarları, önceki reklamların zaman sınırlaması, firmanın verilecek reklamlar için bütçe kapasitesi, hangi tip reklamlara öncelik verildiği gibi veriler uzmanlar ile yapılan görüşmeler neticesinde elde edilmiştir.

5.3. Alternatif ve Kriterlerin Belirlenmesi

Çalışmanın yapıldığı firmada reklam kampanyasının gerçekleştirileceği 4 alternatif mecra belirlenmiştir. Bu mecralar genç kredi kartının bulunduğu ve aktif olarak kullanılan sosyal medya hesaplarıdır. Literatür taraması, internet makalelerinin incelenmesi ve uzman görüşleri sonrasında sosyal medya reklamlarında etkili olan başlıca 4 kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin değerlendirilmesinde etkili olan 12 alt kriter bulunmaktadır. Bu alternatif ve kriterler Şekil 7 ve Tablo 1’de yer almaktadır.



Şekil 7. Alternatifler

Tablo 1. Kriterler

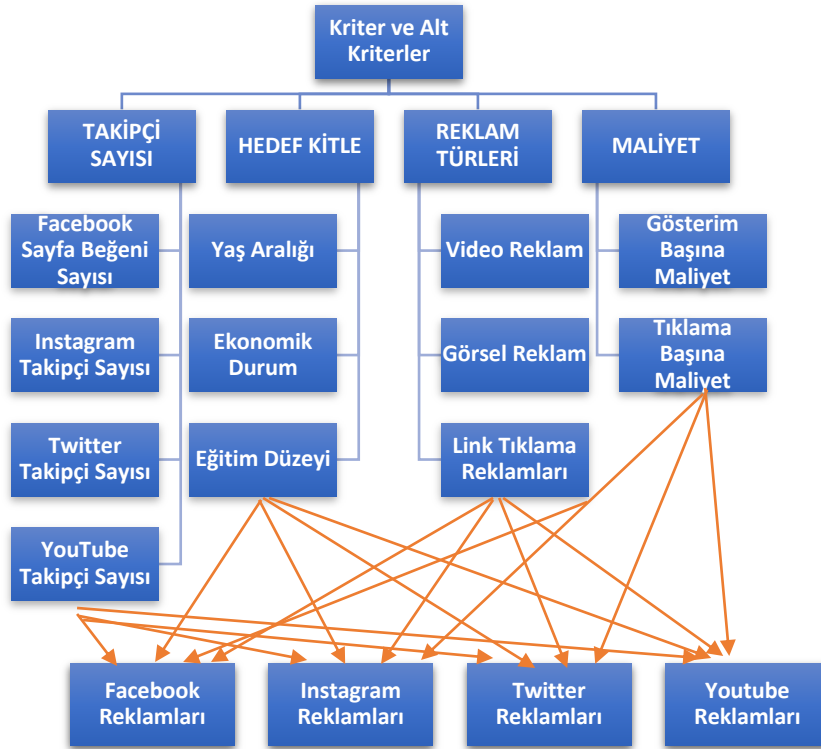
ANA KRİTER	ALT KRİTER	AÇIKLAMA
TAKİPÇİ SAYISI	Facebook Sayfa Beğeni Sayısı (FBS)	Resmî Facebook sayfasını beğenen kişi sayısı. Facebook sayfası incelendiğinde beğeni sayısının 195.464 olduğu görülmüştür.
	Instagram Takipçi Sayısı (ITS)	Resmî Instagram hesabını takip eden kişi sayısı. Genç kredi kartının Instagram hesabı takipçi sayısı 15.964 olarak saptanmıştır.
	Twitter Takipçi Sayısı (TTS)	Resmî Twitter hesabını takip eden kişi sayısı. Twitter’da bulunan hesabın takipçi sayısı ise 26.514 olarak gözlemlenmiştir.
	YouTube Takipçi Sayısı (YTS)	Resmî YouTube kanalını takip eden kişi sayısı. YouTube kanalını takip eden kişi sayısı 6.090 olarak gözlemlenmiştir.
HEDEF KİTLE	Yaş Aralığı (YA)	Sosyal medya mecralarındaki takipçilerin hangi yaş aralığında bulunduğunu ifade etmektedir. Resmî hesaplar incelendiğinde ise bu veri 18 – 27 yaş aralığında yer almaktadır.
	Ekonomik Durum (EKD)	Sosyal medya platformlarına göre kullanıcıların ekonomik düzeylerini ifade etmektedir. Orta gelir düzeyine sahip kullanıcıların sosyal medya kullanımının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. (Akbulut ve Çelik, 2018)
	Eğitim Düzeyi (ED)	Sosyal medya kullanıcılarının daha çok yüksek okul (%32,1) ve lisans mezunu kişiler (%34,8) olduğu görülmektedir. (Akbulut ve Çelik, 2018)
REKLAM TÜRLERİ	Video Reklamlar (VD)	Sosyal medya platformlarında yapılan video formatında reklamları kapsamaktadır. Platformlara göre değişiklik gösteren bu reklam türü, diğer videoların başların veya ortalarında da yayınlanmaktadır.
	Görsel Reklamlar (GR)	Sosyal medya kullanıcısının ana sayfa, hikayeler, video gibi paylaşımlar arasında vakit geçirdiği zamanlarda almak istediği ürün veya hizmetin görsel olarak karşılmasıdır.
	Link Tıklama Reklamları (LTR)	Verilen reklamda bir link üzerinden kullanıcıyı istediğiniz adrese yönlendirme üzerine kurulu bir reklam çeşididir.
MALİYET	Gösterim Başına Maliyet (GBM)	Gösterim sayısı başına ödenecek olan belirli bir ücreti ifade etmektedir.
	Tıklama Başına Maliyet (TBM)	Bir kullanıcının verilen reklama tıkladığı zaman, o tıklama için ödenecek olan tutarı ifade etmektedir.

5.4. Reklam Platformu Seçiminde Etkili Olan Kriterlerin Ağırlıklarının

Sosyal medya platformları reklam çeşitliliği açısından geleneksel reklam yöntemlerine kıyasla oldukça avantajlıdır. Çalışmada ele alınan sosyal medya platformları ve bu platformları değerlendirmede kullanılacak kriterler bir önceki bölümde açıklanmıştır. Bu bölümde ele alınan kriterlerin sosyal medya platformu seçimindeki ağırlıkları AHP ve ANP yöntemleri ile hesaplanacaktır.

5.4.1. AHP Çözümü

Adım 1. Hiyerarşik yapının oluşturulması: Alternatifler ve kriterler arasındaki etkileşimlerin belirlenmesi aşamasıdır.



Şekil 8. AHP Hiyerarşik Yapısı

Adım 2. Önceliklerin Belirlenmesi: Karar verme sürecinde problem hiyerarşik bir model şeklinde ifade edildikten sonra hiyerarşiyi oluşturan elemanlar karşılaştırılarak birbirlerine göre ağırlıklarının hesaplanması gerekmektedir. Önceliklendirme; bir dizi soru-cevap işlemi sonucunda her seviyedeki elemanlar arasında oluşturulan ikili karşılaştırmaların görece önemlerinin belirlenmesi ve bu önemlerin genel hedefe olan katkısının belirlenmesidir. Amaca ulaşmak için hiyerarşideki elemanlar bir üst seviyedeki elemana göre ikili olarak karşılaştırılır. Karşılaştırma işleminde standart ölçekler kullanılır. Bunun nedeni, ölçüm skalalarında kullanılan rakamların yorumlanmasındaki karmaşıklığı gidermektir. Bu soruna yönelik olarak Analitik Hiyerarşi Sürecinde tüm ölçümler Thomas L. Saaty tarafından ortaya atılan, "1 - 9 ölçeği" olarak da adlandırılan temel ölçeğe göre yapılmaktadır.

Adım 3. İkili Karşılaştırmaların Yapılması: İkili karşılaştırmalar uzman görüşleri doğrultusunda yapılmıştır.

Tablo 2. İkili Karşılaştırma Matrisi

	Takipçi Sayısı	Hedef Kitle	Reklam Türleri	Maliyet
Takipçi Sayısı	1	0,11	1,00	0,25
Hedef Kitle	9	1	9	5
Reklam Türleri	1	0,11	1	0,25
Maliyet	4	0,2	4	1

Adım 4. Normalleştirme ve Görelî Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi: Bunun için ikinci bir matris oluşturulur. Normalleştirme işlemi yapılarak elde edilen yeni matrisin ortalamaları hesaplanır. Bulunan aritmetik ortalama değerleri yeni matrisin görelî önem ağırlığıdır. Elde edilen görelî önem ağırlığı karşılaştırılan elemanların kendi içinde önem derecelerine göre sıralanması anlamını taşımaktadır.

Tablo 3. Normalize Karşılaştırma Matrisi

	Takipçi Sayısı	Hedef Kitle	Reklam Türleri	Maliyet
Takipçi Sayısı	0,07	0,08	0,07	0,04
Hedef Kitle	0,60	0,70	0,60	0,77
Reklam Türleri	0,07	0,08	0,07	0,04
Maliyet	0,27	0,14	0,27	0,15

Tablo 4. Kriter Ağırlıkları

KRİTER	AĞIRLIK
Takipçi Sayısı	0,06
Hedef Kitle	0,67
Reklam Türleri	0,06
Maliyet	0,21

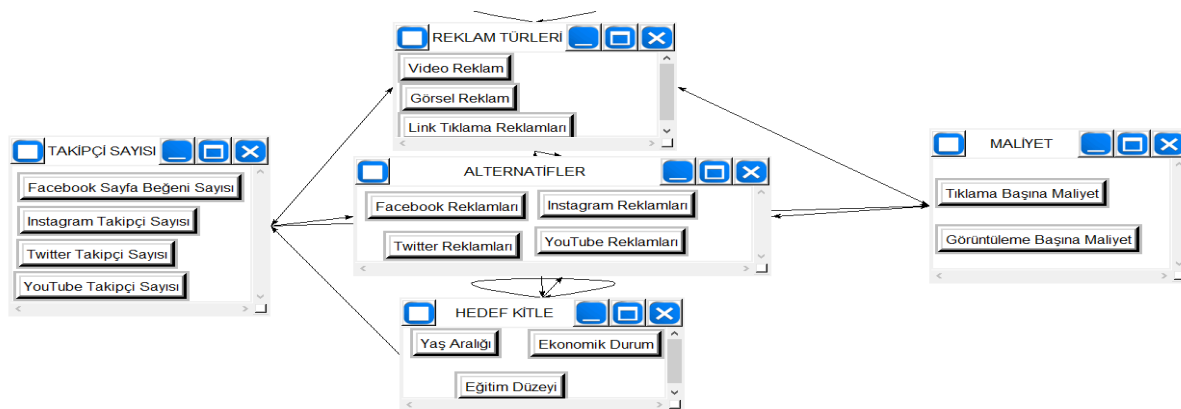
Adım 5. Tutarlılık Analizi: Tutarlılık, ikili karşılaştırmalar sonucunda oluşan değerlerin yani önceliklerin birbirleri ile olan mantıksal ve/veya matematiksel ilişkisidir. Verilen kararların güvenilirliği, karşılaştırmalar matrisi kurulurken yapılan değerlendirmelerin tutarlılığı ilgilidir. Karar vericinin kriterler arasında kıyaslama yaparken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için Tutarlılık Oranının hesaplanması gerekir. Bu hesaplamada n kriter sayısına bağlı olarak rastgele indeks sayıları kullanılır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değer 0,10'un altında çıkmışsa oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır. Aksi durumda karar matrisi tekrar düzenlenmelidir.

$\lambda_{max}=4,232197$ olmak üzere;

$TI=(\lambda_{max} - 4)/3 = 0,077399$ ve TO (Tutarlılık Oranı) = 0,085999 olarak elde edilmiştir. Bu değer 0,1'den küçük olduğu için hesaplama tutarlı olarak görülmüştür.

5.4.2. ANP Yöntemi Çözümü

Adım 1 – Ağ Yapısının Oluşturulması: Ağ yapısı oluşturulurken kriter ve alternatiflerin aralarında ve kendi içerisinde olan ilişkileri belirlenir. Birbirini etkileyen kriter ve alternatiflerin belirlenmesinde uzman görüşleri dikkate alınmıştır. ANP yöntemi ağ yapısı Şekil 9'da yer almaktadır.



Şekil 9. ANP Ağ Yapısı

Adım 2 – İçsel ve Dışsal Karşılaştırmaların Yapılması: İkili karşılaştırmalar yapılırken kriter ve alternatiflerin aralarındaki içsel ve dışsal karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken kriter bazlı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 10’da yapılan ikili karşılaştırmalar yer almaktadır.

1. Choose		2. Node comparisons with respect to Facebook Sayfa Beğeni~	
Node	Cluster	Graphical	Verbal
Choose Node	Facebook Sayfa~	Matrix	Questionnaire
Cluster: TAKİPÇİ SAYISI		Direct	
Choose Cluster	REKLAM TÜRLERİ	Comparisons wrt "Facebook Sayfa Beğeni Sayısı" node in "REKLAM TÜRLERİ" cluster	
		Görsel Reklam is very strongly more important than Link Tıklama Reklamları	
		1. Görsel Reklam	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Link Tıklama Re~
		2. Görsel Reklam	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Video Reklam
		3. Link Tıklama Re~	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Video Reklam

Şekil 10. İkili Karşılaştırma Matrisi

Adım 3 - Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi: İkili karşılaştırmalar yapıldıktan sonra SUPER DECISION paket programı çalıştırılarak kriter ağırlıkları elde edilir. Elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 5’te yer almaktadır.

Tablo 5. Kriter Ağırlıkları

Ana Kriter	Alt Kriter	Ağırlık
Takipçi Sayısı	Facebook Sayfa Beğeni Sayısı (FBS)	0.018936
	Instagram Takipçi Sayısı (ITS)	0.044665
	Twitter Takipçi Sayısı (TTS)	0.035737
	YouTube Takipçi Sayısı (YTS)	0.035380
Hedef Kitle	Yaş Aralığı (YA)	0.066423
	Ekonomik Durum (EKD)	0.014488
	Eğitim Düzeyi (ED)	0.014631
Reklam Türleri	Video Reklam (VD)	0.112588
	Görsel Reklam (GR)	0.127838
	Link Tıklama Reklamları (LTR)	0.064058
Maliyet	Tıklama Başına Maliyet (TBM)	0.042751
	Görüntüleme Başına Maliyet (GBM)	0.110936

5.5. Sosyal Medya Platformlarının Sıralanması

Firmanın reklam vereceği sosyal medya platformları Facebook, Instagram, Twitter ve YouTube olarak uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu bölümde ANP ve AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları sırasıyla TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinde kullanılmış ve alternatif sıralamaları belirlenmiştir.

5.5.1. TOPSIS Yöntemi Çözümü

Adım 1 - Karar matrisinin oluşturulması: TOPSIS yönteminde ilk olarak karar matrisi oluşturulmaktadır. Karar matrisi uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulmuştur.

Tablo 6. Karar Matrisi

	Takipçi Sayısı	Hedef Kitle	Reklam Türleri	Maliyet
Facebook Reklamları	195.464	3	5	1000
Instagram Reklamları	15.964	7	7	1000
Twitter Reklamları	26.514	5	4	1000
YouTube Reklamları	6.090	7	7	1000
	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet

Adım 2 - Standart karar matrisinin oluşturulması: Standart karar matrisini oluşturmak için; her bir sütun elemanını, önceki aşamada bulunan sütun elemanlarının kareleri toplamının kareköküne bölerek elde edilir.

Tablo 7. Standart Karar Matrisi

	Takipçi Sayısı	Hedef Kitle	Reklam Türleri	Maliyet
Facebook Reklamları	0,03	0,76	0,53	0,5
Instagram Reklamları	0,35	0,33	0,38	0,5
Twitter Reklamları	0,21	0,46	0,66	0,5
YouTube Reklamları	0,91	0,33	0,38	0,5

Adım 3 - Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması: AHP den elde edilen ağırlıklar ile standart karar matrisi elemanlarının çarpımından elde edilen ağırlıklı standart karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 8. Ağırlıklı Standart Matris

	Takipçi Sayısı	Hedef Kitle	Reklam Türleri	Maliyet
Facebook Reklamları	0,00	0,51	0,03	0,10
Instagram Reklamları	0,02	0,22	0,02	0,10
Twitter Reklamları	0,01	0,30	0,04	0,10
YouTube Reklamları	0,06	0,22	0,02	0,10

Adım 4 - İdeal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulması: İdeal ve Negatif İdeal çözümler elde edilirken, İdeal (A+) değerler için ağırlıklı standart karar matrisi sütunlarının maksimum değeri alınır, aynı şekilde Negatif İdeal (A-) değerler için ise ağırlıklı standart karar matrisi sütunlarının minimum değeri alınmaktadır.

Tablo 9. İdeal ve Negatif İdeal Çözümler

A*MAKS	0,06	0,51	0,04	0,10
A*MİN	0,00	0,22	0,02	0,10

Adım 5 - Ayrım ölçülerinin hesaplanması: Bura da S_i^+ değerleri hesaplanırken; 3. Adımda hesaplanan ağırlıklı standart karar matrisi sütun elemanlarından 4. Adımda bulunan ideal çözüm değerleri sırasıyla çıkarılır ve kareleri alınır. Daha sonra kareleri alınan değerler toplanarak kare kökü alınır ve S_i^+ değerleri elde edilir. Aynı şekilde S_i^- değerleri hesaplanırken, 4. Adımda hesaplanan ağırlıklı karar matrisi sütun elemanlarından 4. Adımda bulunmuş olduğumuz negatif ideal çözüm değerleri sırasıyla çıkarılır ve kareleri alınır. Daha sonra kareleri alınan değerler toplanarak kare kökü alınır ve S_i^- değerleri elde edilir.

Tablo 10. Ayrım Ölçütleri

S1* =	0,06	S1- =	0,06
S2* =	0,02	S2- =	0,31
S3* =	0,32	S3- =	0,23
S4* =	0,25	S4- =	0,29

Adım 6 - İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması: C_i değerleri negatif ayrım ölçütlerinin negatif ve pozitif ayrım ölçütlerinin toplamına bölümünden elde edilmektedir. C_i değerleri kısaca (1) gibi hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (1)$$

Burada C_i^* değeri 0 ile 1 aralığında değer alır ve $C_i^*=1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^*=0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

Tablo 11. İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değerleri

C_1^* = Facebook Reklamları	0,50
C_2^* = Instagram Reklamları	0,94
C_3^* = Twitter Reklamları	0,42
C_4^* = YouTube Reklamları	0,54

Sonuç olarak en büyük C değeri olan C_2 alternatifi yani Instagram reklamları en iyi reklam platformu olarak seçilmiştir.

5.5.2. PROMETHEE Yöntemi Çözümü

ANP yönteminde hesaplanan kriter ağırlıkları kullanılarak Visual PROMETHEE paket programı yardımı ile alternatif sıralamaları elde edilmiştir. PROMETHEE yöntemi adımları aşağıda yer aldığı gibidir.

Adım 1 – Visual PROMETHEE paket programına kriter ve alternatiflerin tanımlanması: Çalışmada ele alınan 4 alternatif ve 12 kriterin paket programa tanımlanması Şekil 11’de yer almaktadır.

Şekil 11. Alternatif Ve Kriter Tanımlama

Adım 2 – Kriter özelliklerinin atanması: Kriter özellikleri sisteme dahil edilir, burada kriter ismi, skalası ve değerlendirme puanları tanımlanmaktadır. Sistemde 3 adet değerlendirme skalası bulunmaktadır. Bunlar; Nitel (Qualitative), Nümerik (Numerical) ve Parasal (Currency) skalalarıdır. Qualitative skalası içerisinde 3 adet değerlendirme formatı bulunmaktadır. Bunlar 5’li puan ölçeği, 1 – 5 arası değer atamalarında kullanılır. 9’lu puan ölçeği, 1 – 9 arası değer atamalarında kullanılır. Y/n, evet hayır atamalarında kullanılır. Numerical skalası, sayısal değer atamalarında kullanılır. Currency skalası, birim cinsinden ifade edilecek kriterlerde kullanılır.

Şekil 12. Kriter Özelliklerinin Tanımlanması

Adım 3 – Kriter ağırlıkları ve fonksiyon tipi seçimi: Super Decision paket programından elde edilen kriter ağırlıkları her bir kriter sütununa manuel olarak yazılır. PROMETHEE yönteminde kullanılan 6 tip fonksiyon türü bulunmaktadır. Bu fonksiyonlardan üçüncü ve beşinci tip tercih fonksiyonları fiyat, güç, maliyet gibi nicel veriler için kullanılmaktadır. Nitel kararlar için ikinci ve dördüncü tip tercih fonksiyonları kullanılmaktadır. Evet/hayır kararlarında ise birinci tip tercih fonksiyonu kullanılmaktadır. Çalışmada takipçi sayısı kriterleri nicel veriler olduğu için V tipi tercih fonksiyonları seçilmiştir. Hedef kitle alt kriterlerinden olan yaş kriteri yine nicel bir veri olduğu için V tipi tercih fonksiyonu seçilirken, ekonomik durum ve eğitim düzeyi kriterleri için U tipi tercih fonksiyonu belirlenmiştir. Reklam türleri kriterlerinin tamamı nitel veriler olduğu için U tipi tercih fonksiyonu seçilmiştir. Reklam maliyetleri için firmanın belirlediği bütçeler göz önünde bulundurularak V tipi tercih fonksiyonu seçilmiştir. Her bir kriter için fonksiyon tipleri belirlendikten sonra Visual PROMETHEE paket programına veriler girilmiştir.

Preferences													
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	min	min
Weight	0,02	0,04	0,04	0,04	0,07	0,01	0,01	0,11	0,13	0,06	0,04	0,11	
Preference Fn.	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	V-shape	V-shape	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	n/a	n/a	
- P: Preference	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	4,00	4,00	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	

Şekil 13. Visual PROMETHEE Programı Veri Girişi

Adım 4 – Karar Matrisinin Oluşturulması: Dördüncü adımda karar matrisi verileri sisteme dahil edilir. Karar matrisinin satırlarında seçilmek istenen alternatifler yer alırken, sütunlarında ise alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler yer almaktadır.

Evaluations													
<input checked="" type="checkbox"/>	Facebook Rekla...	195464,00	0,00	0,00	0,00	28,00	low	low	A	A	B	1000,00	1000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Instagram Rekla...	0,00	15964,00	0,00	0,00	22,00	moderate	moderate	G	VG	A	1000,00	1000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Twitter Reklamları	0,00	0,00	26514,00	0,00	24,00	high	high	B	A	VG	1000,00	1000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	YouTube Reklamları	0,00	0,00	0,00	6090,00	19,00	high	moderate	VG	B	VB-B	1000,00	1000,00

Şekil 14. Karar Matrisinin Oluşturulması

Adım 5 – Alternatif Sıralamalarının Bulunması: Son adımda Visual PROMETHEE programı çalıştırılarak belirlenen alternatiflerin sıralaması elde edilmektedir. Çalışmada belirlenen alternatifler arasında Instagram reklamları ilk sırada yer almıştır. Elde edilen alternatif sıralaması Şekil 15'de yer almaktadır.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Instagram Reklamları	0,2684	0,4458	0,1774
2	Twitter Reklamları	-0,0363	0,2692	0,3055
3	Facebook Reklamları	-0,0697	0,2404	0,3101
4	YouTube Reklamları	-0,1623	0,2220	0,3843

Şekil 15. Alternatif Sıralamaları

5.6. Çözüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmada dört farklı ÇÖKV yöntemi kullanılmıştır. Bunlar AHP, ANP, TOPSIS ve PROMETHEE'dir. AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS yönteminin girdileri olarak kullanılmıştır. TOPSIS yöntemi adımları uygulanarak alternatifler arasında Instagram reklamları ilk sırada yer almıştır. Super Decision paket programı kullanılarak ANP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları ise PROMETHEE yönteminde, belirlenen alternatifleri sıralamak için kullanılmıştır. Visual PROMETHEE paket programı ile yapılan çözümde Instagram reklamları alternatifler arasında ilk sırada yer almıştır. Çözüm sonuçları karşılaştırıldığında ise her iki yöntem sonucunda Instagram reklamları ilk sırada gelmiştir. Firmanın hedef kitlesi olarak belirlenen genç kitlenin yoğunlukta kullandığı platform olan Instagram reklamları, elde edilen çözüm sonuçları ve uzman görüşleri ile tutarlılık göstermiştir.

6. Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışma kapsamında sosyal medya reklam platformu seçimi problemi ele alınmıştır. Literatür taraması yapılmış ve firmanın sosyal medya analizini yapan uzmanlar ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Sosyal medya pazarlaması için firmaların hedef kitlelerini doğru seçmeleri ve bu doğrultuda stratejilerini planlamaları gerekmektedir. İncelenen literatür çalışmalarında araştırmacılar, sosyal medya kavramı, sosyal medya kullanım istatistikleri, sosyal medyanın dijital pazarlama üzerindeki etkilerinin tanımlanmasına yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Ele alınan çalışma bir gerçek hayat problemidir. Problemden sosyal medya platformlarını değerlendirirken kullanılabilir olan kriterler için bir referans olmuştur. Çalışmada reklam verilecek kredi kartı türünün resmî hesaplarının bulunduğu Facebook, Instagram, Twitter ve YouTube sosyal medya platformları alternatifler olarak belirlenmiştir. Bu platformların değerlendirilmesinde etkili olan 12 kriter uzman görüşleri doğrultusunda probleme dahil edilmiştir. Çalışma literatürde bulunan ve sosyal medya platformlarının değerlendirilmesinde kullanılan birçok kriteri ortaya koymuştur. Sosyal medya platformlarında hangi kriterlerin kullanılabilirliğini ve bu kriterlerin firmaların hedefleri doğrultusunda çeşitlendirilebileceği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda firmanın reklam vereceği platformlar arasında genç kitlenin daha aktif olarak kullandığı Instagram platformuna diğer mecralara göre daha çok yatırım yapması belirlenmiştir.

Çalışmanın çözüm aşamasında 4 adet ÇÖKV yöntemi kullanılmış olup, elde edilen çözüm sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. ANP yöntemi kolay uygulanabilir olması ve her alanda tercih edilmesi nedeniyle tercih edilmiştir. AHP yöntemi çoklu kriter ve ağırlıklarının belirlenmesinde yapısal bir yaklaşım sağlamaktadır. Problem kriterleri geniş kapsamlı, fayda ve maliyet açısından çeşitlilik gösterdiği için alternatif sıralamalarının elde edilmesinde iki farklı yöntem tercih edilmiştir. PROMETHEE yöntemi bir sıralama algoritmasıdır (Taş ve diğ., 2017; Uslu ve diğ., 2020). Belirlenen alternatifler arasından reklam kampanyası için yatırım yapılacak platform sıralamasının elde edilmesi ve öncelikli platforma yapılacak yatırım miktarının artırılması için tercih edilmiştir. TOPSIS yöntemi karar verme problemlerinde çözüme ulaşırken yapılan analizler ile pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme göre alternatiflerin seçilmesinde kullanılan bir yöntemdir. (Özcan ve diğ., 2017). Sosyal medya reklam platformu seçiminde belirlenen alternatifler arasından ideal platformun seçiminde TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. PROMETHEE ve TOPSIS yöntemlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilecek olursa; PROMETHEE yönteminde yatırım miktarının hangi platform üzerinde artırılması gerektiği analiz edilmiştir. TOPSIS yönteminde ise platformlar arasından seçim yapılması durumunda, tercih edilmesi gereken platform belirlenmiştir. Super Decision paket programında ANP yönteminden elde edilen ağırlıklar her bir alt kriter için belirlenmektedir. Bu alt kriter ağırlıkları Visual PROMETHEE paket programında kullanılmakla birlikte TOPSIS yöntemi çözümünde ana kriter ağırlıkları ile çözüm elde edilmiştir. Yöntemler entegre edilirken çözüm aşamaları göz önünde bulundurularak bu amaç kapsamında entegre edilmiştir. Çözüm sonucunda genç kitlenin daha aktif kullandığı Instagram platformu en iyi alternatif olarak seçilmiştir. Firmanın reklam kampanyasında Instagram platformunda yapacağı çalışmalar diğer platformlara göre daha uzun süreli ve hedef kitlenin sorularını cevaplayacak tarzda olması gerekmektedir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda ise ele alınan reklam türleri ve reklam verilecek platformlar çeşitlendirilerek daha detaylı bir çalışma yapılması önerilmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Berk Can Saçan, uzmanlar ile yapılan görüşmeler, verilerin elde edilmesi, problemin çözülmesi, bilimsel yayın araştırması ve makalenin oluşturulması, Tamer Eren, problem çözüm sürecinin takibi, kontrolü konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynakça

- Akbulut, M., & Çelik, C. (2018). Sosyal Medya Kullanımı Ve Sosyal Statü İlişkisi. *International Conference on Empirical Economics and Social Sciences (ICEESS'18)*, 22 – 31. <https://www.academia.edu/download/61986359/B1920200204-57200-cgc9do.pdf#page=37>
- Alağaç, H. M., Mermi, Ö. S., Kızıldaş, Ş., Eren, T., & Hamurcu, M. (2017). Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve Hedef Programlama Yöntemi İle Reklam Stratejisi Seçimi: Mobilya Firması Örneği. *In 5th International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science*, 516-525 <https://isites.info/PastConferences/ISITES2017/ISITES2017/papers/C3-ISITES2017ID97.pdf>
- Alan, A. K., Kabadayı, E. T., & Erişke, T. (2018). İletişimin Yeni Yüzü: Dijital Pazarlama Ve Sosyal Medya Pazarlaması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(66), 493-504. doi: <https://doi.org/10.17755/esosder.334699>
- Barutçu, S., & Tomaş, M. (2013). Sürdürülebilir Sosyal Medya Pazarlaması Ve Sosyal Medya Pazarlaması Etkinliğinin Ölçümü. *İnternet Uygulamaları Ve Yönetimi Dergisi*, 4(1), 5-24. doi: <https://doi.org/10.5505/iuyd.2013.69188>
- Bulut, M., Yurdakul, K., Eren, T., & Özcan, E. C. (2020). Reklam Çizelgelemede Hedef Kitle Profiline Yönelik Yeni Bir Model Önerisi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(2), 637-657. <https://dergipark.org.tr/en/pub/kusbd/issue/56190/718681>
- Çelik, S. (2014). Sosyal Medyanın Pazarlama İletişimine Etkileri. *Erciyes İletişim Dergisi*, 3(3). doi: <https://doi.org/10.17680/akademia.v3i3.1005000199>
- Gedik, Y. (2020). Pazarlamada Yeni Bir Pencere: Dijital Pazarlama. *Dijital Çağda İşletmecilik Dergisi*, 3(1), 63-75. doi: <https://doi.org/10.46238/jobda.726408>
- Keskin, H. D., & Kurtuldu, H. S. (2018). Üniversite Öğrencilerinin Dijital Pazarlamaya Yatkinlık Düzeylerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Global Journal Of Economics And Business Studies*, 7(14), 117-128. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gumusgebs/issue/42269/471962>
- Kılıncı, M. (2020). Araştırma Şirketlerinin Sosyal Medya Kullanımı. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 12(1), 9-20. <https://dergipark.org.tr/en/pub/iaud/issue/50939/664646>
- Köksal, Y., & Özdemir, Ş. (2013). Bir İletişim Aracı Olarak Sosyal Medya'nın Tutundurma Karması İçerisindeki Yeri Üzerine Bir İnceleme. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(1), 323-337. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sduiibfd/issue/20819/222802>
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., Eren, T. (2017). ANP Ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 204-219. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sujest/issue/33649/372961>
- Rouyendegh, B. D., Topuz, K., Dag, A., & Oztekin, A. (2019). An AHP-IFT Integrated Model For Performance Evaluation Of E-Commerce Web Sites. *Information Systems Frontiers*, 21(6), 1345-1355. doi <https://doi.org/10.1007/s10796-018-9825-z>
- Saaty, T. L. (1990). How To Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal Of Operational Research*, 48(1), 9-26. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saaty, T. L. (1999). Fundamentals Of The Analytic Network Process. *In Proceedings Of The 5th International Symposium On The Analytic Hierarchy Process* (Pp. 12-14). https://www.researchgate.net/publication/228578822_Fundamentals_of_the_analytic_network_process
- Saçan, B. C., Eren, T. (2021 basımda). Dijital Pazarlama Strateji Seçimi: SWOT Analizi Ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri. *Politeknik Dergisi* <https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/33364/883023>
- Survivor (2021). 2021 İnternet ve Sosyal Medya İstatistikleri, Erişim adresi: <https://www.survivor.com.tr/2021-sosyal-medya-ve-internet-istatistikleri/>
- Taş, M., Özlemiş, Ş. N., Hamurcu, M., & Eren, T. (2017). Ankara'da AHP Ve PROMETHEE Yaklaşımıyla Monoray Hat Tipinin Belirlenmesi. *Ekonomi İşletme Siyaset Ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 3(1), 65-89. <https://dergipark.org.tr/en/pub/kkujebp/issue/33328/372128>
- Tutgun-Ünal, A., & Deniz, L. (2020). Sosyal Medya Kuşaklarının Sosyal Medya Kullanım Seviyeleri Ve Tercihleri. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 15(22), 1289-1319. doi: <https://doi.org/10.26466/opus.626283>

Uslu, B., Gür Ş., Eren, T., Özcan E. C., (2020). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Bulut Hizmet Sağlayıcı Sıralaması. *Pamukkale İşletme Ve Bilişim Yönetimi Dergisi*, 6(1), 20-34. <https://dergipark.org.tr/en/pub/pibydy/issue/52426/656299>

Yalçınkaya, N. (2018). Türkiye'deki Siyasi Partilerin Dijital Pazarlama Kanallarını Kullanımı. *Yönetim Ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(1), 199-216. doi: <https://doi.org/10.18657/yonveck.399687>



Journal of Turkish Operations Management

Gerçek zamanlı iki serbestlik dereceli eksiksiz döner ters sarkaç sisteminin kutup atama ile kontrolü

Servet Soygüder^{1*}, Mustafa Teoman Özler²

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara
e-mail: ssoyguder@ybu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-002-8191-6891>

²Makine Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ
e-mail: mozler@firat.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-3486-4838>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 26.03.2021
Revize: 03.05.2021
Kabul: 08.05.2021

Anahtar Kelimeler:

Eksik tahrikli sistem,
Furuta döner ters sarkaç,
Matematiksel model,
Kutupsal yerleştirme metodu

Özet

Mühendislik problemlerinin çözümünde ve hareket analizlerinin yapılmasında eksik tahrikli iki serbestlik dereceli döner ters sarkaç mekanizması sıkça kullanılan bir mühendislik sistemidir. Bu ve benzeri sarkaç sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar ve analizler günümüz teknolojisinde araba, uçak, uzaysal araçlar, savunma araçları, füze rampasından insan yürüyüşüne, yük taşıyan robotlardan depreme dayanıklı bina tasarımlarına kadar vb. birçok sistemin tasarım ve denetim algoritmalarının oluşturulmasında bilim adamlarına ışık tutmuştur. Eksik tahrikli iki serbestlik dereceli döner ters sarkaç mekanizması diğer adıyla Furuta ters sarkaç, kontrol mühendisliğinde kullanılan en önemli temel sistemlerden biridir. Bu çalışmada ilk olarak sistem için matematiksel model oluşturulmuştur. Bu denklemleri ifade eden dinamik denklemler Lagrange metodu ile elde edilmiştir. Döner ters sarkaç doğrusal olmayan (Nonlinear) bir sistemdir. Elde edilen denklemlerin lineerleştirilmesi (Doğrusallaştırılması) yapılarak durum-uzay modeli elde edilmiştir. Durum-uzay modeli ile sisteme ait durum denklemleri ve durum değişkenleri elde edilmiştir. Bulunan bu verilerle sistemin kontrol analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra gerçek zamanlı Furuta döner ters sarkaç için kutup atama (PP) kontrol algoritması tasarlanarak gerçek sistem üzerinde denetimleri başarılı olarak yapılmıştır. Sonuç olarak tasarlanan ve uygulanan bu kontrol metodu ve performansı irdelenerek gerekli kontrol analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.

Control with pole assignment of real-time two-degree-of-freedom underdriven rotating inverted pendulum system

Article Info

Article History:

Received: 26.03.2021
Revised: 03.05.2021
Accepted: 08.05.2021

Keywords:

Deficient system,
Furuta rotating inverted pendulum,
Mathematical model,
Pole placement method

Abstract

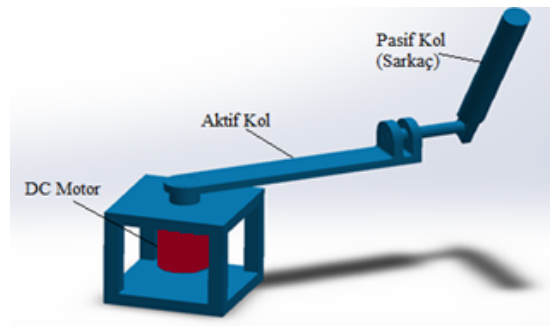
Two degrees of freedom deficient rotating inverted pendulum mechanism is frequently used in the solution of engineering problems and motion analysis. Studies and analyzes on these and similar pendulum systems are used in today's technology such as cars, planes, spacecraft, defense vehicles, missile launchers, human walking, load bearing robots, earthquake resistant building designs, etc. has shed light on scientists in the design and control algorithms of many systems. The two-degree of freedom deficient rotating pendulum mechanism, also called Furuta inverted pendulum, is one of the most important basic systems used in control engineering. In this study, firstly, a mathematical model was created for the system. Dynamic equations expressing these equations were obtained by Lagrange method. The rotating inverted pendulum is a nonlinear system. Linearization of the obtained equations was done and state-space model was obtained. State equations and state variables of the system were obtained with the state-space model. Control analysis of the system was carried out with these data. Then, the pole assignment (PP) control algorithm for the Furuta rotating pendulum in real time was designed and successfully controlled on the real system. As a result, this control method and its performance was designed and applied to examine the necessary control analysis and the results were obtained.

1. Giriş

Son yıllarda sarkaç sistemleri üzerinde birçok çalışmalar yapıldı. Sarkaçların birbirinden farklı birçok örnekleri bulunmaktadır. Bunlardan; Furuta, Okutani ve Sone (1978) tarafından yapılmış olan çift ters sarkaç, Furuta, Yamakita ve Kobayashi (1992) tarafından yapılmış olan ters sarkaç, Yoshida (1999) tarafından yapılmış olan arabalı-ters sarkaç, Aström ve Furuta (2000) tarafından yapılmış olan döner tek kollu sarkaç, Li, Miao, ve Wang, (2002) tarafından yapılmış olan dört kollu ters sarkaç, Shen ve arkadaşları (2004) tarafından yapılmış olan küresel sarkaç ve Tsai ve Shen (2007) tarafından yapılmış olan paralel tipte çift ters sarkaçtır.

Literatürde sarkaç sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda; Komine ve arkadaşları (2004), döner çift kollu ters sarkaç için sistemin doğal frekansını kullanarak kutup atamasına dayanan kontrol stratejisini önermiştir. Aynı zamanda hızlanma ve rotasyonun geri bildirim ile gerçekleştirildiğini göstermişlerdir. Kontrol yöntemi, sarkacın doğal frekansına yakın olduğu kararsız kutupların atanmasından türetilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliği deney ile doğrulanmıştır. Xu ve Duan (2002), tek yönlü tersine çevrilmiş bir sarkaç ve matematiksel modelini sunmaktadır. Tek yönlü tersine çevrilmiş bir sarkaç için sırası ile LQR ve kutup yerleştirme uygulanmıştır. Simülasyon ve gerçek zamanlı kontrol sonuçları karşılaştırılmıştır. Mathew ve arkadaşları (2013), döner ters sarkaç (RIP) kontrolü için hızlanma ve enerji bazlı bir kontrol cihazı önermiştir. Enerji bazlı kontrolde sarkacın dik pozisyonundaki değerine eşit olacak şekilde bir kontrol yapılmıştır ve bunun için kayan kipli denetleyici (SMC) tasarlanmıştır. İkinci olarak, sarkacın dik durmasını ve bozulmayı belirli bir noktaya kadar giderilmesini sağlayacak bir durum geri besleme kontrol cihazı tasarlanmıştır. Durum geri besleme denetleyicisi, doğrusal ikinci dereceden düzenleyici (LQR) kullanılarak tasarlanmıştır. Daha sonra (LQR) ve (SMC) kontrolörün cevapları simülasyonda karşılaştırılmıştır. Hassanzadeh ve Mobayen (2011), genetik algoritmalar (GA), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ve karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) yöntemleri de dahil olmak üzere, döner ters sarkaç (RIP) kontrolör tasarımı için evrimsel yaklaşımları sunmuşlardır. Önerilen yöntemlerin, benzer doğrusal olmayan çeşitli sistemlerin kontrolü için ümit verici olduğunu belirtmişlerdir. Rahimi ve arkadaşları (2013), döner Ters Sarkaç (RIP) kontrolör tasarımı için parçacık sürüsü optimizasyon yaklaşımını sunmaktadır. Simülasyon sonuçları, önerilen denetleyici tasarım yönteminin etkinliğini göstermektedir ve çeşitli benzer doğrusal olmayan sistemlerin kontrolü için alternatif yol olarak düşünülmektedir. Shojaei ve arkadaşları (2011), döner ters sarkaç için bir tekrarlayan sinir ağma ve PID denetleyicisine dayanan kontrol cihazı önermektedir. Kontrolörün amacı, sarkaç açısını sabitlemek için kontrol stratejisini belirlemektir. RNN kontrol cihazı ve PID kontrol cihazı tarafından kontrol edilen döner ters sarkaç, detaylı olarak analiz edilmiştir ve doğrusal olmayan bir model için kontrol tasarımını yönlendirebilen genetik algoritma (GA) kullanarak RIP'i stabilize etmek için bir araştırma konusu sunulmuştur. Anvar ve arkadaşları (2010), döner ters sarkaç sisteminin dengelenmesi için genetik algoritma tabanlı durum geri besleme kontrolü ve kayan kipli denetleyicisi (SMC) birleştirilmiştir. Sarkaç yukarı çevrildikten sonra, önerilen kayma modu kontrolü etkinleştirilir ve sarkaç dik konumda sabitlenir. Önerilen denetleyiciyi uygulamanın deneysel sonuçları SMC'ye kıyasla daha yüksek bir performans göstermektedir.

Bu çalışmanın konusu olan Furuta ters sarkacı ilk olarak Furuta ve arkadaşları (1978) tarafından 1992 yılında yayımlanan makalede önerilmiştir. Furuta döner ters sarkacı, sistemlerin temellerini ve teorilerini öğretmek amacı ile makine mühendisliğinde, mekatronik mühendisliğinde ve kontrol mühendisliğinde eğitim ve araştırma amaçlı kullanılan sistemlerden biridir. Birçok mühendislik alanında uygulanmasıyla karşımıza çıkan sarkaç teknolojisi günümüzde insansız robotlarda, roketlerde, uçaklarda ve deprem ölçüm cihazlarında sıkça kullanılmakta olup genel olarak sistemlerin dengeleme problemlerinde çözüm için kullanılmaktadır. İki serbestlik derecesine sahip olan Furuta döner ters sarkaç sistemi tek tahrikli bir mekanizmaya sahip olduğundan eksik tarihli mekanik sistemler sınıfında değerlendirilir. Eksik tahrikli bir mekanik sistem olması Furuta döner ters sarkaç sisteminin kontrol edilebilirliğini zorlaştırmakta olduğu gibi döner ters sarkacı kararsız ve doğrusal olmayan bir yapıya da büründürmektedir.

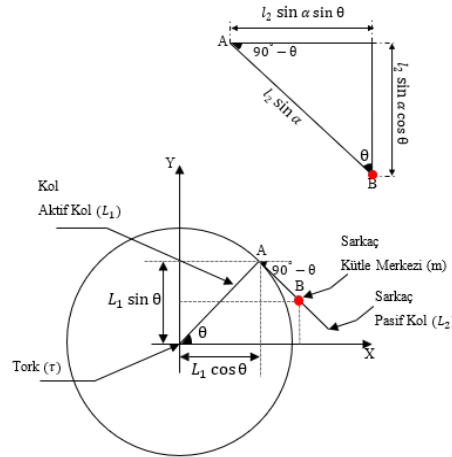


Şekil 1. Döner ters sarkaç

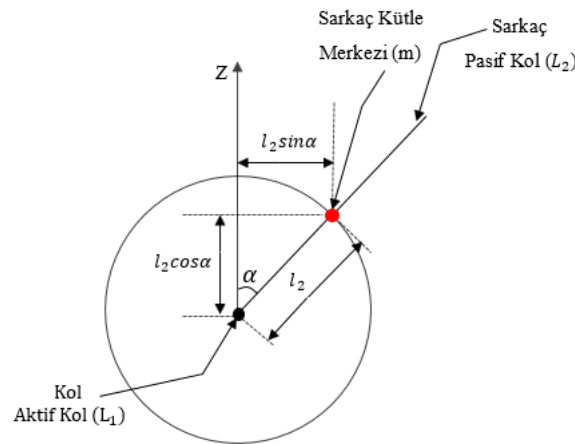
Şekil 1’den anlaşılacağı üzere pasif kolun (sarkacın) hareketi herhangi bir kısıtlayıcı elaman olmadan aktif kola bağlıdır ve bu hareket aktif kolun diğer ucuna bağlı olan DC servo motordan verilmektedir. DC servo motordan alınan tahrik ile aktif kol yer düzlemine paralel olan eksende dönme hareketi yaparken pasif kol (sarkaç) yer düzlemine dikey olan eksen üzerinde dönme hareketi yapar. Furuta döner ters sarkaç sistemi için bu çalışmada amaç, sarkacı dikey eksende dik olarak, dış kuvvetler etkisi altındayken tasarlanan kutup atama ile dengelemektir.

2. Sistemin Modellenmesi

Furuta döner ters sarkaç sisteminin matematiksel modellenmesinde sisteminin hareketi büyük önem taşımaktadır. Sistemin hareketi verilen tork’ un yönüne bağlı olarak 2 farklı biçimde gerçekleştirilebilir. Bunlardan birincisi motorun bağlı olduğu aktif kola saat yönünde tork uygulanmasıdır. Bu durumda aktif kol saat yönünde (cw) dönme hareketi yapar pasif kol (sarkaç) ise saat yönünün tersi yönünde dönme hareketi yapar. İkincisi ise, motorun bağlı olduğu aktif kola saatin ters yönünde tork uygulanmasıdır. Bu durumda aktif kol saatin ters yönünde (cw) dönme hareketi yapar pasif kol (sarkaç) ise saat yönünde dönme hareketi yapar. Bu belirtilen iki durumdan ikinci durum için döner ters sarkaç sistemi modellenmiştir. Bu modellenmenin açık ve belirgin bir biçimde gerçekleşmesi için Şekil 2 ve Şekil 3 oluşturulmuştur. Burada Şekil 2 sarkacın ve kolun yatay düzlemdeki iz düşümünü belirtirken Şekil 3 ise sarkacın dikey izdüşümünü belirtmektedir.



Şekil 2. Sarkacın ve kolun yatay düzlemde iz düşümü



Şekil 3. Sarkacın dikey izdüşümü

Şekil 2 de ve Şekil 3 de aktif kolun tam boyunu ' L_1 ' uzunluğu, sarkacın tam boyunu ise ' L_2 ' uzunluğu belirtmektedir. Aktif kolun sarkaca bağlandığı noktadan sarkaç kütle merkezine kadar olan uzunluğa ' l_2 ' denilmiştir. ' L_1 ' koluna iletilen tork ile ' L_1 ' kolunun dönüşü saat yönünün tersi yönünde gerçekleşmektedir. Bu dönme sonucunda ' L_1 ' kolunun x eksenine ile yaptığı açı ' θ ' ile gösterilmiştir. ' L_1 ' kolunun dönüşü, sarkacın saat yönünde dönüşüne sebep olur ve z eksenine ile ' α ' kadarlık açısal değişim gözlemlenir.

Ters sarkacın kütlesi olarak belirlenmiş ' m ' kütlesi için orijine göre genel koordinatları Şekil 2 ve Şekil 3 dikkate alınarak yazılacak olur ise aşağıdaki gibidir.

$$X_m = L_1 \cos \theta + l_2 \sin \alpha \sin \theta \quad (1)$$

$$Y_m = L_1 \sin \theta - l_2 \sin \alpha \cos \theta \quad (2)$$

$$Z_m = l_2 \cos \alpha \quad (3)$$

Aktif kol için kinetik enerji ' T_1 ', sarkaç için yani pasif kol için kinetik enerji ' T_2 ' ve pasif kol için potansiyel enerji ' V ' bulunacak olur ise aşağıdaki gibi bulunur.

$$T_1 = \frac{1}{2} J_1 \dot{\theta}^2 \quad (4)$$

$$T_2 = \frac{1}{2} m V_m^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\alpha}^2 \quad (5)$$

$$T_2 = \frac{1}{2} m [L_1^2 \dot{\theta}^2 + l_2^2 \dot{\theta}^2 \sin^2 \alpha + l_2^2 \dot{\alpha}^2 - 2L_1 l_2 \dot{\theta} \cos \alpha \dot{\alpha}] + \frac{1}{2} J_2 \dot{\alpha}^2 \quad (6)$$

$$V = m g l_2 \cos \alpha \quad (7)$$

Sistemin toplam kinetik enerjisi aşağıdaki gibidir.

$$T = T_1 + T_2 \quad (8)$$

$$T = \frac{1}{2} J_1 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\alpha}^2 + \frac{1}{2} m L_1^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m l_2^2 \dot{\theta}^2 \sin^2 \alpha + \frac{1}{2} m l_2^2 \dot{\alpha}^2 - m L_1 l_2 \dot{\theta} \cos \alpha \dot{\alpha} \quad (9)$$

Matematiksel modelleme için Lagrange metodu kullanılır ise Furuta döner ters sarkaç sistemi için Lagrange denklemleri aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial \theta} \right) + \left(\frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}} \right) = Q_\theta \quad (10)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial \alpha} \right) + \left(\frac{\partial D}{\partial \dot{\alpha}} \right) = Q_\alpha \quad (11)$$

Burada aktif koldaki viskoz sürtünme ' B_m ', pasif koldaki viskoz sürtünme ' B_s ' ve dissipatif fonksiyon ' D ' ile ifade edilmiştir. Furuta döner ters sarkaç sistemi için Lagrange fonksiyonu ve matematiksel modelin birinci ve ikinci denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$L = T - V \quad (12)$$

$$L = \frac{1}{2} J_1 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\alpha}^2 + \frac{1}{2} m L_1^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m l_2^2 \dot{\theta}^2 \sin^2 \alpha + \frac{1}{2} m l_2^2 \dot{\alpha}^2 - m L_1 l_2 \dot{\theta} \cos \alpha \dot{\alpha} - m g l_2 \cos \alpha \quad (13)$$

$$J_1 \ddot{\theta} + m L_1^2 \ddot{\theta} + m l_2^2 \ddot{\theta} \sin^2 \alpha + 2 m l_2^2 \sin \alpha \cos \alpha \dot{\theta} \dot{\alpha} - m L_1 l_2 \cos \alpha \ddot{\alpha} + m L_1 l_2 \sin \alpha \dot{\alpha}^2 = \tau - B_m \dot{\theta} \quad (14)$$

$$J_2 \ddot{\alpha} + m l_2^2 \ddot{\alpha} - m L_1 l_2 \cos \alpha \ddot{\theta} - m l_2^2 \dot{\theta}^2 \sin \alpha \cos \alpha - m g l_2 \sin \alpha = -B_s \dot{\alpha} \quad (15)$$

2.1. Doğrusallaştırma

Furuta döner ters sarkaç sistemi için değişken parametreler ve değişken parametrelerin başlangıç koşullarının belirtildiği genel doğrusallaştırma denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$Z^T = [\theta, \alpha, \dot{\theta}, \dot{\alpha}] \quad (16)$$

$$Z_0^T = [0,0,0,0,0,0] \quad (17)$$

$$F_{lin}(\theta, \alpha, \dot{\theta}, \dot{\alpha}, \ddot{\theta}, \ddot{\alpha}) = F_{lin}(z) = F(z_0) + \frac{\partial F(z)}{\partial \theta} \Big|_{z=z_0} (\theta - 0) + \frac{\partial F(z)}{\partial \alpha} \Big|_{z=z_0} (\alpha - 0) \\ + \frac{\partial F(z)}{\partial \dot{\theta}} \Big|_{z=z_0} (\dot{\theta} - 0) + \frac{\partial F(z)}{\partial \dot{\alpha}} \Big|_{z=z_0} (\dot{\alpha} - 0) + \frac{\partial F(z)}{\partial \ddot{\theta}} \Big|_{z=z_0} (\ddot{\theta} - 0) + \frac{\partial F(z)}{\partial \ddot{\alpha}} \Big|_{z=z_0} (\ddot{\alpha} - 0) \quad (18)$$

Matematiksel modelin denklemleri olan Denklem 14 ve 15, ayrı ayrı 'z' fonksiyonu olarak tanımlanıp denklem 18'deki formül uygulanırsa Furuta döner ters sarkaç sisteminin doğrusallaştırılmış denklemleri aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

$$(J_1 + mL_1^2)\ddot{\theta} - (mL_1l_2)\ddot{\alpha} = \tau - B_m\dot{\theta} \quad (19)$$

$$-(mL_1l_2)\ddot{\theta} + (J_2 + ml_2^2)\ddot{\alpha} - (mg l_2)\alpha = -B_s\dot{\alpha} \quad (20)$$

2.2. Durum uzay modeli

Denklem 19 ve 20'den döner ters sarkaç sistemine ait durum uzay denklemleri elde edilecek olur ise aşağıdaki gibidir.

$$\det[K] = (J_1J_2) + J_1ml_2^2 + J_2mL_1^2 \quad (21)$$

$$A = \frac{1}{\det[K]} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & (m^2g L_1l_2^2) & -(J_2B_m + ml_2^2B_m) & -(mL_1l_2B_s) \\ 0 & (J_1mg l_2 + m^2g l_2L_1^2) & -(mL_1l_2B_m) & -(J_1B_s + mL_1^2B_s) \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$B = \frac{1}{\det[K]} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ (J_2 + ml_2^2) \\ (mL_1l_2) \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

Burada 'A', 'B', 'C' ve 'D' sırası ile Furuta döner ters sarkaç sistemi için sistem matrisini, giriş matrisini, çıkış matrisini ve ileribesleme matrisini ifade etmektedir. Döner ters sarkaç sisteminin kutup atama ile kontrolör tasarımı yapılacaktır. Bu tasarım gerçekleştirilmeden önce sistemin deneysel olarak gözlemleneceği unutulmamalıdır. Bu durumda Furuta döner ters sarkaç sistemine ait fiziksel parametreleri içeren durum uzay denklemleri belirtilmelidir.

Furuta döner ters sarkaç sistemine ait uzunluk, kütle atalet momenti, kütle, doğal frekans, sönüm katsayısı, yerçekimi ve sönüm oranı aşağıdaki tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Furuta döner ters sarkacın parametreleri ve sistemin belirlenen değerleri

Semboller	Sistemin Belirlenen Değerleri	Birimler
J_2	0,0012	Kg m ²
J_1	9,9829 x 10 ⁻⁴	Kg m ²
L_2	0,3365	m
L_1	0,2159	m
l_2	0,1556	m
m	0,1270	Kg
ω_n	4	Rad /sn
B_s	0,0024	Nms/rad

B_m	0,0024	Nms/rad
g	9,81	m/s^2
ζ	0.7	–

Denklem 22 ve 23'deki oluşturulmuş durum-uzay matrislerinde Tablo 1'de verilen fiziksel parametreler yerine konulursa sistem matrisi, giriş matrisi, çıkış matrisi ve ileribesleme matrisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 81.4033 & -45.8259 & -0.9319 \\ 0 & 122.0545 & -44.0966 & -1.3972 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 83.4659 \\ 80.3162 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (29)$$

3. Kontrolör Tasarımı ve Analizi

3.1 Furuta döner ters sarkaç sistemi için kontrol edilebilirlik

Kontrol sistemlerinin tasarlanmasında kutup yerleştirme ile kontrol çok eski bir geçmişe ve önemli bir yere sahiptir. Kutup yerleştirme ile kontrolün temel uygulanabilirlik şartı sistemin kontrol edilebilir bir sistem olmasıdır. Kısaca bir kontrol sistemi kontrol edilebilir bir sistem ise kutup yerleştirme tasarımı yapılabilir eğer bir sistem kontrol edilebilir değil ise kutup yerleştirme ile kontrol gerçekleştirilemez denilmektedir. Bu durumda Furuta döner ters sarkaç sisteminin kontrol edilebilirlik matrisi elde edilecek olursa aşağıdaki gibidir.

$$S = [B \quad AB \quad A^2B \quad A^3B]_{n \times nr} \quad (30)$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 83,4659 & -3899,7466 & 188781,8957 \\ 0 & 80,3162 & -3792,7802 & 187067,7944 \\ 83,4659 & -3899,7466 & 188781,8957 & -9134173,5792 \\ 80,3162 & -3792,7802 & 187067,7944 & -9048936,7581 \end{bmatrix} \quad (31)$$

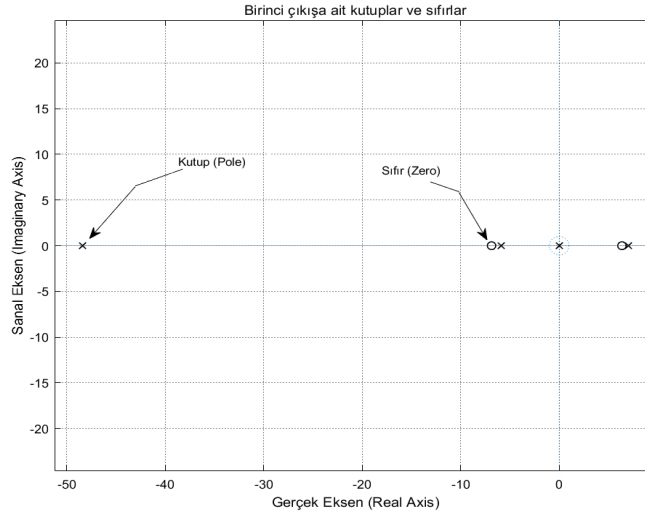
$$\det[S] = 85910381353,05 \quad (32)$$

Det [S]≠0 çıkmadığından dolayı rankı tam rank yani 4 olarak bulunur ve sistem kontrol edilebilir bir sistem olduğunu kanıtlamıştır.

3.2 Furuta döner ters sarkaç sisteminin karakteristik denklemi ve kutupları

Kontrol stratejisinin oluşturulmasında ve tasarımın yapılmasında yardımcı olması için kullanılacak Furuta döner ters sarkaç sisteminin karakteristik denklemi ve kutupları matlab paket programında durum uzay denklemlerinin tanıtılıp çözümlenmesiyle aşağıdaki denklem 33 ve şekil 4'deki gibi bulunmuştur.

$$s^4 + 47,22 s^3 - 99,12 s^2 - 2004 s = 0 \quad (33)$$



Şekil 4. Furuta döner ters sarkaç sisteminin kutupları ve sıfırları

Şekil 4 de görüldüğü üzere sıfırlar '-6.8668' ve '6.3664' şeklindedir. Sistemin kutupları '0', '-48.4124', '7.0576' ve '-5.8652' görülmektedir. Kutup sayısı ve sıfır sayısı eşit olması gerekirken iki tane sıfır görülmektedir. Grafikte görülmeyen iki sıfır ise sonsuzdadır. Kutuplardan bir tanesi görüldüğü üzere sanal eksenin sağ tarafında kaldığından dolayı sistem stabil değildir. Sistemin kontrolü gerçekleştirilirken bu durum göz önüne alınarak sistem kontrolü yapılmıştır.

4.3. Furuta döner ters sarkaç sisteminin kutup atma ile kazanç değerlerinin eldesi

Kontrol edilebilir sistemlerin kontrol edilebilir kanonik biçimi (KKB) bilgisinden yararlanarak Furuta döner ters sarkaç sisteminin ($A^* - B^*K^*$) Öz değerleri bulunacak olur ise aşağıdaki gibidir.

$$A^* = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2004 & 99.12 & -47.22 \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$B^* = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (35)$$

$$|sI - A^* + B^*K^*| = \begin{bmatrix} s & -1 & 0 & 0 \\ 0 & s & -1 & 0 \\ 0 & 0 & s & -1 \\ k_1 & -2004 + k_2 & -99.12 + k_3 & s + 47.22 + k_4 \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$|sI - A^* + B^*K^*| = s^4 + (k_4 + 47.22)s^3 + (k_3 - 99.12)s^2 + (k_2 - 2004)s + k_1 \quad (37)$$

Denklem 37 de bulunan her bir karakteristik denklem katsayısına bir tek bağımsız düştüğünden öz değerlerin keyfi yerleştirilebileceği açıktır. Burada ' A^* ' sistem matrisinin kontrol edilebilir kanonik biçimini ' B^* ' ise giriş matrisinin kontrol edilebilir kanonik biçimini ifade etmektedir. Ayrıca k_1, k_2, k_3 ve k_4 kanonik biçimde ifade edilmiş geribesleme kazançlarıdır. Kanonik biçimde ifade edilmiş geri besleme kazançları olan k_1, k_2, k_3 ve k_4 'ün reel değerlerini bulmadan önce sistemin stabil olmadığı unutulmamalıdır. Bu durumda sistemin doğal frekansından ve sönümlemesinden yararlanarak sistemi stabil yapan karakteristik denklem elde edilerek, her iki karakteristik denklem eşleştirmesi ile kanonik biçimdeki geribesleme kazançları bulunur ise uygun bir tasarım yapılmış olur. Sönüm ve doğal frekans cinsinden ifade edilmiş karakteristik denklemin kutupları bulunacak olur ise aşağıdaki gibidir.

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 \quad (38)$$

$$p_1 = -\zeta\omega_n + j\omega_d \quad (39)$$

$$p_2 = -\zeta\omega_n - j\omega_d \quad (40)$$

$$\omega_d = \omega_n * \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (41)$$

$$\omega_d = 4 * \sqrt{1 - (0.7)^2} = 2.86 \quad (42)$$

$$p_1 = -2.8 + j2.86 \quad (43)$$

$$p_2 = -2.8 - j2.86 \quad (44)$$

Burada p_1 ' ve p_2 ' baskın eşlenik kutupları ' ω_d ' ise sönümlü doğal frekansı ifade etmektedir. Döner ters sarkaç sisteminin 4 kutuplu olduğu daha önce bulunmuştu. Buna göre ' p_1 ' ve ' p_2 ' baskın eşlenik kutuplara ek olarak iki kutup daha eklenmesi gerekmektedir. Bu eklenen kutuplar baskın köklerden daha baskın olamayacak, sistemin kararlılığını bozmayacak ve en önemlisi sistemin stabil olmasını sağlayacak olan kutuplar olmalıdır. Rastgele seçilecek kutuplar sanal eksenin sol tarafında '-30' ve '-40' olur ise sistem kararlı ve stabil olacaktır. Belirlenen kutuplar doğrultusunda sistemin karakteristik denklemi elde edilecek olur aşağıdaki gibidir.

$$(s + 40)(s + 2.8 - j2.86)(s + 2.8 + j2.86)(s + 30) \quad (45)$$

$$s^4 + 75.6 s^3 + 1608 s^2 + 7840s + 19200 \quad (46)$$

Denklem 45 ve Denklem 46 bulunan her iki karakteristik denklemin katsayıları eşitlenir ise kanonik biçimdeki geribesleme kazanç değerleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$K^* = [19200 \ 9844 \ 1707.12 \ 29.34] \quad (47)$$

Denklem 47 de bulunmuş olunan bu kanonik biçimdeki geri besleme kazanç değerleri sisteme direk girilirse hata vermektedir kanonik biçimden tekrardan normal biçime çevrilmesi gerekmektedir. O halde kanonik biçimdeki geri besleme kazanç değerleri kanonik biçime dönüşüm matrisinin tersi ile çarpılır ise geri besleme kazanç değerleri aşağıdaki gibi bulunur.

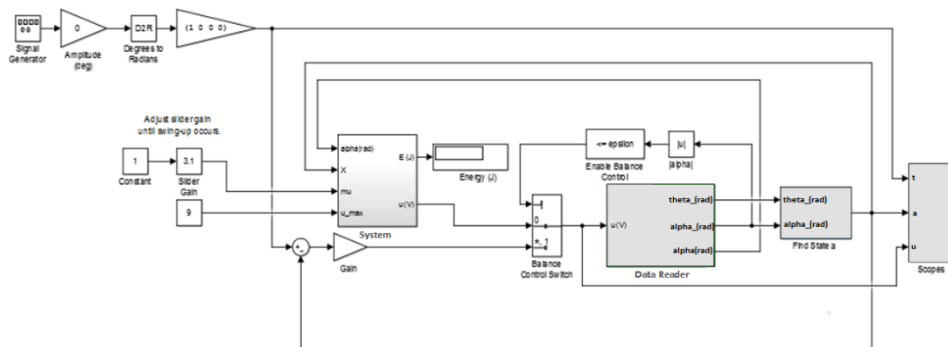
$$K = K^* P^{-1} \quad (48)$$

$$K^* = [19200 \ 9844 \ 1707.12 \ 29.34] \quad (49)$$

$$P^{-1} = \begin{bmatrix} -0.000274 & 0.0002863 & -0.0000031 & 0.0000032 \\ -0.00000084 & 0.0001434 & -0.000274 & 0.0002847 \\ -0.00005848 & 0.012512 & -0.0000015 & 0.0000015 \\ 0.0027974 & -0.002854 & -0.0000264 & 0.0124782 \end{bmatrix} \quad (49)$$

$$K = [-5,2868374344 \ 28,18433868 \ -2,76111245972 \ 3,2346967151] \quad (50)$$

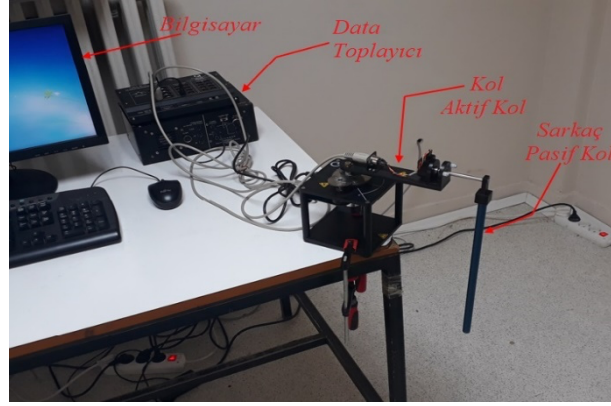
Denklem 50'de bulunan kazanç değerleri aşağıda belirtilen Kutup atama ile kontrol yönteminin MATLAB simülasyon paketinde tasarlanan blok diyagramında gain(kazanç) yerine bırakılması ile yapılmaktadır.



Şekil 5. Kutup atama ile kontrol matlab blok diyagramı

4. Deney Düzenegi ve Gerçek Zamanlı Kontrolü

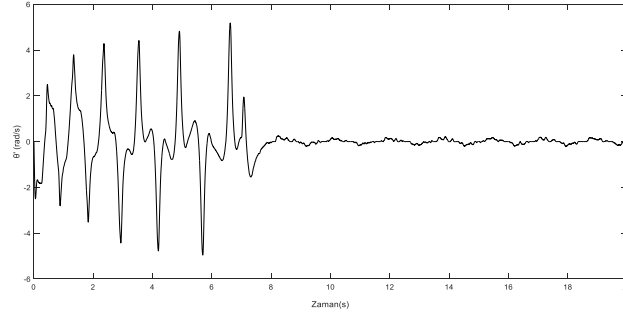
Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Robotik ve Mekatronik laboratuvarında gerçek zamanlı döner ters sarkaç sistem üzerinde kutup atamayla kontrol deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney seti ve deneysel ortam Şekil 6'da gösterilmiştir.



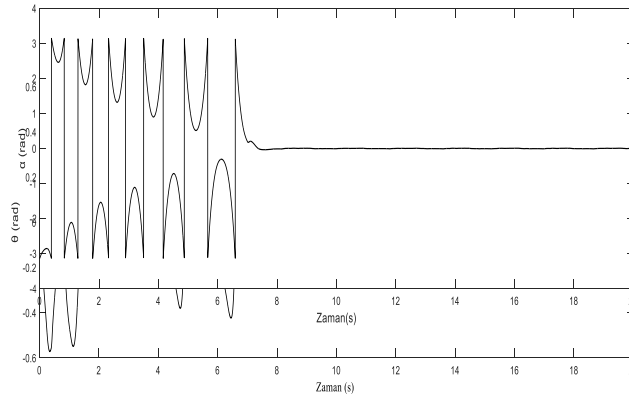
Şekil 6. Furuta döner ters sarkaç deney düzenegi

Şekil 6'da gösterilen deney düzeneginde kutup atama ile kontrol için MATLAB paket programı tercih edilmiş ve kontrol gerçekleştirilmiştir. Furuta döner ters sarkaç sisteminin kutup atama ile kontrolü sonucunda elde edilen elde edilen grafiklerin tamamı sisteminin 20 saniyelik çalışması için alınmıştır. Aktif kolun açısai konum-zaman grafiğı Şekil 7'de, aktif kolun açısai hızı Şekil 8'de, pasif kolun açısai konumu Şekil 9'da, pasif kolun açısai hızı Şekil 10'da ve voltaj zaman grafiğı Şekil 11'de görüldüğü gibidir.

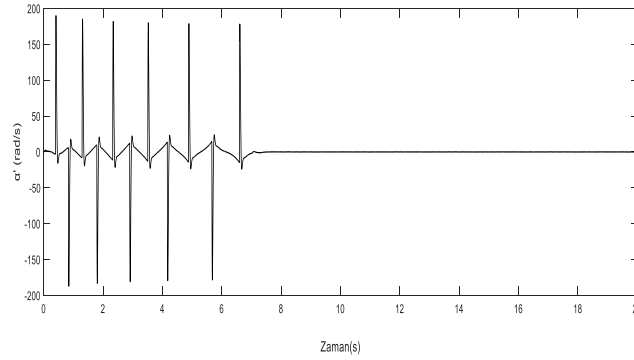
Şekil 7. Aktif kolun açısai konumu(rad)



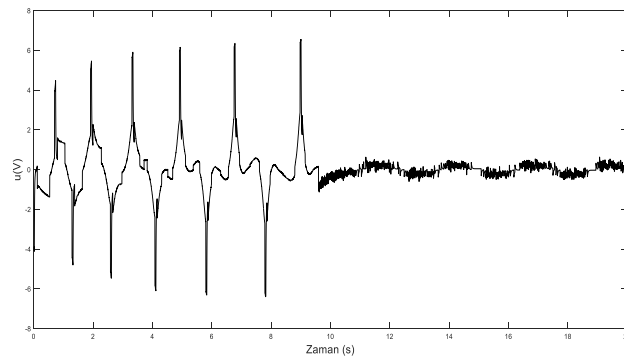
Şekil 8. Aktif kolun açısai hızı (rad/s)



Şekil 9. Pasif kolun açısai konumu (rad)



Şekil 10. Pasif kolun açısal hızı (rad/s)



Şekil 11. Kutup atama ile kontrole göre voltaj zaman grafiği

6.Sonuçlar

Furuta döner ters sarkaç sisteminin kutup atama ile kontrolü için gerekli olan sistemin modellenmesi işlemi Lagrange metodu ile yapılmıştır. Lagrange metodu uygulanırken sisteme ait kinetik enerji, potansiyel enerji ve Lagrange fonksiyonu elde edilmiştir. Lagrange metodunun uygulanması sonucunda Furuta döner ters sarkaç sistemi için 2 serbestlik dereceli doğrusal olmayan dinamik denklemler elde edilmiştir. Elde edilen bu denklemler analiz ve tasarım açısından kolaylık sağlaması için doğrusallaştırılmış ve durum-uzay modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan durum uzay modelinden sistemin kontrol edilebilirlik (controllability) durumu irdelenmiş ve sonuç olarak sistemin kontrol edilebilir bir sistem olduğu tespit edilmiştir. Furuta döner ters sarkaç sisteminin kontrol analizinin uygun bir biçimde yapılabilmesi için elde edilen karakteristik denkleminde sonra sistemin kutupları (poles), sıfırları (zeros) ve tekil noktaları bulunmuştur. Bulunan bu verilerden faydalanarak Furuta döner ters sarkaç sisteminin gerçek zamanlı denetimi kutup yerleştirme (pole placement) ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin gerçek zamanlı denetiminde Matlab paket programı kullanılmıştır. Tasarlanan kontrol algoritmasının çalışmasıyla aktif kolun ve pasif kolun (sarkaç) konum-zaman, hız-zaman ve voltaj zaman grafikleri alınmıştır. Sonuç olarak tasarlanan ve gerçek zamanlı olarak uygulanan Kutup atama ile (PP) kontrolün Furuta döner ters sarkaç sisteminin kararlı bir şekilde dengelenmesinde oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Robotik ve Endüstriyel Otomasyon Laboratuvarında gerçekleştirdiğinden dolayı yazarlar teşekkürlerini sunmaktadır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışma Mustafa Teoman ÖZLER'in yüksek lisans tezi konusu olup bilimsel yayın araştırması, yöntemin uygulanması ve yorumlanması ile makalenin hazırlanması ve kontrolüne katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Anvar, S. M. M., Hassanzadeh, I., & Alizadeh, G. (2010). Design and Implementation of Sliding Mode-State Feedback Control for Stabilization of Rotary Inverted Pendulum. ICCAS 2010, Gyeonggi-do, South Korea. <https://doi.org/10.1109/ICCAS.2010.5670108>
- Astrom, K.J., & Furuta, K.(2000). Swing up a Pendulum by Energy Control. Automatica, 2000; 36: 287-295. [https://doi.org/10.1016/S0005-1098\(99\)00140-5](https://doi.org/10.1016/S0005-1098(99)00140-5)
- Furuta, K., Okutani, T., & Sone, H. (1978). Computer Control of a Double Inverted Pendulum. Computer and Electrical Engineering, 5(1), 67–84. [https://doi.org/10.1016/0045-7906\(78\)90018-6](https://doi.org/10.1016/0045-7906(78)90018-6)
- Furuta, K., Yamakita, M., & Kobayashi, S. (1992). Swing-up Control of Inverted Pendulum using Pseudo-State Feedback. Journal of Systems and Control Engineering, 206, 263-269. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1992_206_341_02
- Hassanzadeh, I., & Mobayen, S. (2011). Controller Design for Rotary Inverted Pendulum System Using Evolutionary Algorithms. Mathematical Problems in Engineering, 2011, 1-17.
- Komine, T., Iwase, M., Suzuki, S., & Furuta, K.(2004). Rotational Control of Double Pendulum, IFAC Proceedings Volumes, 37, 325-330. <https://doi.org/10.1155/2011/572424>
- Li, H., Miao, Z. ve Wang, J. (2002). Variable Universe Adaptive Fuzzy Control on the Guadruple Inverted Pendulum. Science in China (Series E), 45, 213-224. <https://link.springer.com/article/10.1360/02ye9026>
- Mathew, N. J., Rao K. K., & Sivakumaran, N. (2013). Swing up and Stabilization Control of a Rotary Inverted Pendulum. in IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 37, 325-330. <https://doi.org/10.3182/20131218-3-IN-2045.00128>
- Rahimi, A., Raahemifar, K., Kumar, K., & Alighanbari, H.(2013). Controller Design for Rotary Inverted Pendulum System Using Particle Swarm Optimization Algorithm, 26th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). <https://doi.org/10.1109/CCECE.2013.6567710>
- Shen,J., Sanyal, A.K., & Chaturvedi, N. A. (2004). Bernstein, D., & McClamroch, H.(2004). Dynamics and Control of a 3D Pendulum. 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC) (IEEE Cat. No.04CH37601), Nassau, p. 323-328. <https://doi.org/10.1109/CDC.2004.1428650>
- Shojaei, A. A., Othman, M. F., Rahmani, R., & Rani, M. R. (2011). A Hybrid Control Scheme for a Rotational Inverted Pendulum. UKSim 5th European Symposium on Computer Modeling and Simulation, Madrid, Spain. <https://doi.org/10.1109/EMS.2011.79>
- Tsai, M., & Shen, B. H. (2007). Synchronization Control of Parallel Dual Inverted Pendulums Driven by Linear Servomotors. IET Control Theory and Applications, 1(1),320-327. <https://doi.org/10.1049/iet-cta:20060038>
- Xu, K., & Duan, X. D. (2002). Comparative Study of Control Methods of Single-Rotational Inverted Pendulum. International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Beijing, China. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2002.1174486>
- Yoshida, K. (1999). Swing-up Control of an Inverted Pendulum by Energy-based Methods, Proceedings of the American Control Conference, San Diego. <https://doi.org/10.1109/ACC.1999.786297>



Journal of Turkish Operations Management

İçsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine etkisinde işletme ve endüstri mühendisliği eğitiminin rolü

Erdoğan KOÇ^{1*}, Beste DESTİCİOĞLU², Hatice ÇALIPINAR³, Bahar ÖZYÖRÜK⁴

¹ İşletme Bölümü, Bingöl Üniversitesi, Bingöl

email: ekoc@bingol.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8209-5714>

² Harekât Araştırması ABD, Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara

email: bdesticioglu@kmo.msu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8321-4554>

³ İşletme Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara

email: chatice@hacettepe.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5927-1783>

⁴ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

email: bahar@gazi.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5434-6697>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 26.04.2021

Revize: 09.05.2021

Kabul: 17.05.2021

Anahtar Kelimeler:

Inovasyon,
İnovasyon Kapasitesi,
İçsel Yetenekler,
İşletme Eğitimi,
Endüstri Mühendisliği Eğitimi

Özet

İnovasyonun mikro ölçekte işletmelere makro ölçekte ise ülkelere sağlamış olduğu faydalar hem pratisyenler hem de teorisyenler tarafından takip edilmektedir. Yoğun rekabetin kişi ve işletme bazlı yaşandığı günümüzde inovasyonun vazgeçilmez bir unsur olarak görülmesi bu alanda yapılan çalışmaların da artmasına neden olmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada içsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine etkisinde işletme ve endüstri mühendisliği eğitiminin rolü araştırılmaktadır. 19 üniversiteden 402 katılımcıdan toplanan verilere güvenilirlik, geçerlik ve bootstrap metodu ile aracılık analizi uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, kişilerin kendi çabaları ya da çalıştıkları işletmelerin katkılarıyla içsel yeteneklerinin artırılmasının, inovasyon kapasitesinin artırılmasına katkı sağlayacağı tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan bootstrap analizinin sonucunda içsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine etkisinde işletme ve endüstri mühendisliği eğitiminin kısmi aracılık rolüne sahip olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra inovasyonun ticarileştirme boyutu dikkate alındığında; içsel yeteneklerle birlikte, alınan eğitim içeriğinin de inovasyon kapasitesine etkisi olacağı tespit edilmiştir.

The role of business and industrial engineering education in the impact of inherent skills on innovation capacity

Article Info

Article History:

Received: 26.04.2021

Revised: 09.05.2021

Accepted: 17.05.2021

Keywords:

Innovation,
Innovation Capacity,
Intrapersonal Skills,
Business Education,
Industrial Engineering Education

Abstract

The benefits of innovation to businesses on a micro scale and to countries on a macro scale are scrutinized by both practitioners and theorists. In today's world where intense competition is experienced on individual and business basis, the fact that innovation is seen as an indispensable element causes an increase in studies in this field. Unlike the studies in the literature, this study investigates the role of business and industrial engineering education in the effect of intrinsic abilities on innovation capacity. Reliability, validity and mediation analysis with bootstrap method were applied to the data collected from 402 participants from 19 universities. As a result of the analysis, it has been determined that increasing the intrinsic abilities of the individuals through their own efforts or the contributions of the enterprises they work with will contribute to the increase of their innovation capacity. In addition, as a result of the bootstrap analysis, it was determined that business and industrial engineering education had a partial mediating role in the effect of intrinsic abilities on innovation capacity.

1. Giriş

Küresel dünyada teknolojinin gelişmesi ve artan rekabet ortamıyla birlikte literatürde inovasyon kavramı önem kazanmaya başlamıştır. Günümüzde işletmelerin birbirleriyle rekabet edebilmeleri ancak müşterilerin değişen taleplerine hızlı bir şekilde cevap verebilmeleri ve dönem içinde meydana gelen değişimlere uyum sağlamalarıyla mümkün olabilmektedir. Bu aşamada işletmelerin inovasyon yönetimini temel bir strateji olarak uygulamaları önem kazanmaktadır (Satı ve Işık, 2011). Firmalar belirledikleri inovasyon şekline göre inovasyon stratejisini de oluşturmaktadır. Türkiye’de özellikle 2000 yılından itibaren önem kazanmaya başlayan bu kavram, dünyada 1900’lerden bu yana dikkat çeken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle son 50 yıldır bu konu hakkında önemli araştırmalar ve çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

İnovasyon, Latince “innovatus” kelimesinden türemiş olup, kelime karşılığı olarak ise “Kültürel, toplumsal ve birçok alanda yeni geliştirilen yöntemlerin kullanılması” anlamını taşımaktadır. Türkçe’de inovasyon kelimesi “yenilik”, “yenilikçilik” kelimelerinin yerine kullanılmasına rağmen bu karşılıklar inovasyon kelimesinin gerçek anlamını tam yansıtmamaktadır (TDK, 2021). Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, araştırmacıların inovasyon kelimesini farklı şekillerde tanımladığı dikkat çekmektedir. Drucker (1985) inovasyonu, girişimciliğin ve kalkınma için yeni bir kapasite oluşturacak kaynakların belirlenmesi faaliyeti olarak tanımlamaktadır. Porter’e (1990) göre ise inovasyon, hem yeni iş yapma şekillerini hem de yeni teknolojilerin kullanılmasıyla rakip işletmelere karşı rekabet avantajı sağlayan yöntemleri içeren bir yaklaşımdır. Damanpour (1991) ise inovasyonu, bir işletmenin başarıya ulaşması için oluşturulan yeni düşüncelerin geliştirilmesi ve uyumunun sağlanması olarak tanımlamaktadır. Trott (1998) inovasyonu, bir ürünün üretim ve pazarlama sürecinde düşünce oluşturma, teknoloji geliştirme ve yeni ürün meydana getirme süreçlerini içerecek şekilde tüm sürecin yönetimi olarak ifade etmiştir.

İnovasyon, sadece yeniliği ifade etmesinden çok yeniliğin sonucunu, değişime ve farklılaştırmaya bağlı ekonomik ve toplumsal sistemi tanımlamaktadır. İnovasyon en geniş anlamıyla, ekonomik, teknik ve sosyal süreçler ile ilgili bilginin yenileştirilerek veya değiştirilerek faydaya dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir (Elçi, 2007). İnovasyon işletmelerin kârlılığını ve verimliliğini artırarak yeni ürünlerin geliştirilmesiyle yeni pazarlara girilmesini sağladığından günümüzde önemli bir rekabet aracı haline dönüşmüştür. Kısaca ifade edilecek olursa inovasyona önem veren ülkelerde toplumsal refah ile istihdam artışı, sürdürülebilir büyüme daha etkin bir şekilde sağlanabilmektedir (Arıkan, Aksoy, Durgut ve Göker, 2003). Eurostat ve OECD tarafından yayınlanan Oslo Kılavuzu’nda inovasyon “yenilikçilik” olarak belirtilmekte ve “İşletme içi uygulamalarda, işyeri organizasyonunda veya dış ilişkilerde yeni veya önemli derecede iyileştirilmiş bir ürün veya süreç, yeni bir pazarlama yöntemi ya da yeni bir organizasyonel yöntemin gerçekleştirilmesi” şeklinde tanımlanmaktadır (OECD ve Eurostat, 2006).

Yeni yaklaşımlara hızlı bir şekilde uyum sağlamanın rekabet için büyük önem kazandığı bilgi çağında işletmelerin pazarda yer alabilmesi için inovasyonu etkin şekilde uygulaması gerekmektedir. İnovasyonun uygulanmasıyla beraber işletmelerin verimliliğinin ve kârının artmasının yanında pazardaki payı da artacağından dolayı rakip işletmelere karşı bir üstünlük oluşacaktır. Bu durum da işletmeler için rekabet üstünlüğü oluşmasını sağlayacaktır (Arıkan ve diğ., 2003). İnovasyon yeni fikirlerin plansız bir şekilde uygulanması olmayıp, bu fikirlerin toplum için fayda getirecek hale dönüştürülme sürecini kapsamaktadır. İnovasyon, çalışanların da fikrine danışılarak oluşturulmaya çalışılmaktadır (Timmerman, 2009). Daha net bir ifade ile yeni uygulanan her şey inovasyon olarak değerlendirilememektedir. Bir yeniliğin inovasyon olarak kabul edilebilmesi için fayda sağlayacak bir gelişme sağlaması gerekmektedir. İnovasyon bir işletmede, tek bir faaliyet veya süreç için gerçekleştirilmez. İnovasyon bütünsel bir yaklaşıma dayanmakta olup, tüm faaliyetleri ve süreçleri kapsamaktadır (Elçi, 2007). İşletmeler için inovasyon, firma kârını artırma, maliyetleri düşürme, standartlara uygun kaliteli ürün üretme ve tüm süreçlerin iyileştirilmesi olarak görülebilir (Çetin ve Gedik, 2017a).

Kullanım amaçları dikkate alındığında ürün inovasyonu, süreç inovasyonu, pazarlama inovasyonu ve organizasyonel inovasyon olmak üzere 4 tür inovasyon bulunmaktadır. Ürün inovasyonu, mevcut üründe yenilik yapılması, yeni veya farklı bir ürünün geliştirilmesi ve bu ürünlerin müşteriye arzı olarak tanımlanmaktadır. Mevcut yöntemin iyileştirilerek daha uygun hale getirilmesi, yeni veya farklı bir üretim ya da dağıtım stratejisinin geliştirilmesi süreç inovasyonu olarak tanımlanabilir. Bir ürün için farklı ve yeni tasarımların oluşturulması, yeni pazarlama şekillerinin geliştirilmesi ve uygulanması ya da mevcut pazarlama yönteminde iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi ise pazarlama inovasyonu olarak kabul edilir. Mevcut çalışma yöntemlerinde iyileştirme yapılması veya yeni çalışma yöntemlerinin geliştirilmesi ise organizasyonel inovasyon olarak tanımlanmaktadır (Elçi, 2007).

Literatürdeki çalışmalarda inovasyonun bazı kavramlarla ilişkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmalara göre inovasyon; icat (buluş), yaratıcılık, Ar-Ge, girişimcilik, değişim kavramlarıyla ilişkilidir. İnovasyon yeni bir düşüncenin uygulanması ve fayda getirmesi anlamında kullanılırken, icat ise yeni bir şeyin yaratılması anlamını

taşımaktadır (Atalan, 2006). İnovasyon bir şeyi icat etmeyi değil, bir konuda nasıl fayda sağlanacağı konusunu dikkate almaktadır. Ancak birden fazla icat inovasyonu meydana getirebilir (Yılmaz, 2020). İnovasyonun karıştırıldığı diğer bir kavram ise yaratıcılıktır. Yaratıcılık yeni bir fikrin meydana getirilmesi olarak tanımlanabilirken, inovasyon ise oluşturulan yaratıcı fikirlerin uygulamaya geçirilmesi olarak düşünülebilir (Gümüslüoğlu, 2009). Bilim ve teknoloji inovasyonun girdilerini oluştururken, Ar-Ge inovasyonun uygulanması için yapılan destek faaliyetlerini oluşturmaktadır. İnovasyon, girişimciliğin bir süreci olarak düşünülebilir. İnovasyon, girişimcinin mevcut kaynaklardan yararlanarak veya yeni fikirler uygulayarak firma üzerinde iyileştirme sağlamasıdır. Değişim ve inovasyon kavramlarının birbirine yakın anlamları olduğu düşünülse de, her değişim inovasyon olarak kabul edilemez. İnovasyon örgütün tüm süreçleri içerisinde yer alırken değişim yalnızca uygulandığı süreç üzerinde yaptığı değişikliklere işaret etmektedir (Elçi, 2007).

Kaynak temelli yaklaşıma göre işletmelere rekabet avantajı kazandıran asıl unsur maddi olmayan varlıklardır. İşletmelerin sahip olduğu insan kaynağı yetenekleri, işletmelerin inovasyon yapma kabiliyetini etkilemektedir. Yüksek inovasyon kapasitesi ve yetenekleri insan kaynağı ile çalışmak işletme içerisinde bilginin özümsemesine ve öğrenen organizasyon yapısına dönüşerek rekabet avantajı kazanmasını sağlayacaktır (Barney, 1991). Kişilerin inovasyon kapasitesinin geliştirilmesiyle de işletmelerin inovasyon kapasitesinin geliştirilmesi sağlanmaktadır. Kişilerin inovasyon kapasitelerine etki eden faktörlerin belirlenmesi sayesinde işletmelerin odaklanacağı hususlar belirlenmiş olacaktır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen çalışma ile içsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine etkisinde almış oldukları işletme ve endüstri mühendisliği eğitiminin rolü olup olmadığı araştırılmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümü inovasyon yönetimi hakkında bilgi vererek inovasyona etki eden dışsal ve içsel faktörler hakkındaki literatürü sunmaktadır. Üçüncü bölümde çalışmanın hipotezleri kurularak oluşturulan araştırma modeli paylaşılmaktadır. Çalışmanın yöntemi ise dördüncü bölümde kısaca anlatılmaktadır. Araştırma bulgularının paylaşıldığı beşinci bölüm ile çalışma devam etmektedir. Çalışma bulgularının yorumlandığı, gelecek çalışmalara öneriler ve araştırmanın kısıtlarının paylaşıldığı sonuç bölümü ile çalışma tamamlanmaktadır.

2. İnovasyon yönetimi

İnovasyon yönetimi işletmelerin iş süreçlerini, insan ilişkilerini ve teknolojisini inovasyona önem verilerek yönetilmesi anlamını taşımaktadır (Satı ve Işık, 2011). Etkili bir inovasyon yönetimi liderlik ve stratejinin etkin bir şekilde uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir (Cormican ve O'sullgvan, 2004). İnovasyon süreci aslında bir öğrenme aşaması olarak düşünülebilir. İnovasyonun uygulanmasında, çalışanların yaptığı tekrarlar ile deneme yanılmalar gibi eylemlerin gerçekleştirilmesi çalışanlara öğrenme olanağı sağlamaktadır (Higgins, 1996). Kişilerin öğrenme yeteneği ile beraber inovasyon kapasitesi de artacaktır. İnovatif özelliklere sahip kişiler de işletmelerin inovasyon kapasitelerinin artmasını sağlamaktadır.

İnovasyonun hayata geçirilebilmesi için işletmelerin inovasyon yönetimini etkin bir şekilde uygulaması gerekmektedir. Drucker (2003), inovasyon yönetimini, "işletmelerin iç ve dış değişime ayak uydurması için karmaşık ve düzensiz olan yapının yönetilmesinin yanında bu yaklaşımın firma için bir süreç haline getirilmesi için sürdürülen faaliyetler" olarak tanımlamaktadır. İnovasyon kavramı tek başına da süreci ifade edebilmesine rağmen, inovasyon yönetimi, tüm sürecin kontrol edilmesi ve yönetilmesi anlamını taşımaktadır (Drucker, 2003). İnovasyon işletmenin gelişmesi için gerekli stratejilerin uygulanmasına da olanak sağladığından dolayı, işletme için önemli bir rekabet üstünlüğü sağlamaktadır.

2.1 İnovasyona etki eden faktörler

Günümüzde işletmeler arası rekabetin artmasıyla beraber, teknolojik gelişmeler, sosyokültürel etkiler, uluslararası ekonomik etkiler işletmelerin inovasyonu etkin bir şekilde uygulamalarına zorlamıştır. Sonuç olarak inovasyon günümüzde, yeni pazarların oluşturulması, teknolojinin gelişmesi, ekonomilerde rekabet ortamının meydana gelmesi üzerinde etkili olmaktadır (Barışık, 2001). İnovasyonun uygulanması işletmenin büyüklüğü, çalışan sayısı, çalışan profili, sektör gibi faktörlere göre değişiklik göstermektedir (Çetin ve Gedik, 2017a).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, inovasyona etki eden faktörlerin içsel faktörler ve dışsal faktörler olmak üzere iki gruba ayrıldığı tespit edilmiştir. İçsel faktörler firmanın içerisinde yer alan, firmayı direkt olarak etkileyen faktörler olarak düşünülebilir. Dışsal faktörler ise firmaları dolaylı yoldan etkileyen faktörleri içermektedir.

İnovasyona etki eden dışsal faktörler

Drucker (2014) yeni bilgi, algılama değişiklikleri ve demografik yapıdaki değişiklikleri inovasyonun dış kaynakları olarak tanımlanmıştır. İnovasyona etki eden dışsal faktörler yasal düzenlemelere, sektöre, pazar

yapısına göre de belirlenmektedir (Çetin ve Gedik, 2017a). Literatürde farklı çalışmalarda farklı etkenlerin inovasyon üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir. Babalola vd. (2015), tedarikçiler ile ilişkileri, altyapı ve sermaye eksikliğini inovasyona etki eden dışsal faktör olarak kabul etmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların genelde inovasyona etki eden içsel faktörler üzerine odaklandıkları, inovasyonu etkileyen dışsal faktörler üzerine daha az çalışma yapıldığı dikkat çekmektedir (Antonelli Crespi ve Scellato, 2013). Biçimveren ve Koç (2016) yaptıkları çalışmada, rekabet ile müşteri yönelimliliğinin pazarlama inovasyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bursa ve Balıkesir’de ihracat yapan firmalardan elde ettikleri verilerin analizi sonucunda, rekabet ve müşteri yönelimliliğinin pazarlama inovasyonu üzerinde olumlu etkisinin bulunduğunu tespit etmişlerdir. Taşkın ve Kahraman (2016) yaptıkları çalışmada tedarikçi ve müşteri işletmelerle işbirliği ile inovasyon boyutunun, ürün, süreç ve organizasyonel inovasyon üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır. KOBİ’ler üzerinde yapılan araştırma sonucunda, tedarikçilerle işbirliği ve inovasyon boyutunun üç tür inovasyonu da olumlu etkilediği, müşteri işletmelerle işbirliğinin ise yalnız ürün inovasyonunu etkilediğini tespit etmişlerdir. Haryani ve Gupta (2016) işletmelerin inovasyon kapasitesini etkileyecek faktörleri belirlemek için bir çalışma yapmıştır. Hindistan’da yazılım sektöründeki işletmelerden elde edilen veriler sonucunda bölümler arası koordinasyon, teknoloji odaklılık, müşteri odaklılık ve rakip odaklılık faktörlerinin inovasyon kapasitesi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ceylan ve Karaman (2017), müşteri şikâyet yönetiminin inovasyon ve öğrenme üzerine etkisini incelemiştir. Seyahat acentelerinde çalışan personele uygulanan anket sonucunda, seyahat acentelerinde yapılacak inovasyon ile müşteri şikâyet yönetimi arasında olumlu bir etki olduğu tespit edilmiştir.

James ve Alexander (2017) işletmelerde büyümeyi ve inovasyonu etkileyen faktörleri belirlemek ve bu faktörleri gruplandırmak için bir çalışma yapmışlardır. İstatistiksel analizler sonucunda buldukları değerler ile çalışanların eğitim durumu, finans yapısı ile pazar yapısının işletmelerin inovasyonu üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Çetin ve Gedik (2017b) yaptıkları çalışmada, Karaman’da faaliyet gösteren işletmelere anket uygulayarak elde ettiği verilerden pazar alanı büyüklüğü, inovasyon ve performans arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda, işletmelerin pazar alanı büyüdükçe inovasyon kapasitesi ve performansının arttığını, inovasyon ile performans arasında olumlu bir ilişki bulunduğunu tespit etmişlerdir. Şimşek (2019), pazar yönlülük ile inovasyonun uygulanmasının, işletme performansına etkisini belirlemeye çalışmıştır. Antalya Organize Sanayi Bölgesi’nde farklı sektörlerde yer alan işletmeler incelenerek gerçekleştirilen çalışmada, işletmelerin pazar yönlü olmaları ve inovasyona önem vermelerinin işletme performansını olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Mardani, Nikoosokhan, Moradi ve Douster (2018) yaptıkları çalışmada İran’daki işletmelerde bilgi yönetimi ile inovasyon ve işletme performansı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Araştırmada yapısal eşitlik modellemesini kullanarak elde ettikleri sonuçlarda bilgi yönetiminin inovasyon ve işletme performansını olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Kılıç ve Yörükoğlu (2020) yaptıkları çalışmada pazar yönelimlilik ile inovasyon yönelimliliğinin işletmelerin inovasyon performansı ve ihracat performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Yapılan araştırma sonucunda pazar yönelimlilik ile inovasyon yönelimliliğinin inovasyon performansını olumlu yönde etkilediği, ancak inovasyon yönelimliliğinin ihracat performansı üzerinde olumlu bir etkisinin bulunmadığını tespit etmişlerdir.

İnovasyona etki eden içsel faktörler

Çalıpınar ve Baç (2007), pazarlama gücü, örgütsel yapı, yönetimin kalitesi ve yeniliklere açık olması, çalışanın tecrübesi ve uzmanlık düzeyi, Ar-Ge yatırımlarının büyüklüğü, tedarikçilerle olan ilişkileri, inovasyon faaliyetlerinin sürdürülebilirliği, firmanın rekabet düzeyi, çalışanların iş tatmini, çalışan sayısı, işletmenin yaşı vb. faktörleri, inovasyona etki eden içsel faktörler olarak belirlemişlerdir. Örgüt yapısı, örgüt kültürü, liderlik tarzı, yöneticilik gibi faktörler de inovasyona etki eden içsel faktörler arasında sayılabilir (Özdemir ve Sönmez, 2018). Kalay ve Kızıldere (2015) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’deki işletmelerin süreç, ürün, organizasyonel ve pazarlama inovasyonu üzerinde etkili olan faktörler incelenmiştir. TÜİK’in verileri kullanılarak gerçekleştirilen araştırmada, çalışan sayısı arttıkça işletmelerin süreç, ürün, pazarlama ve organizasyonel inovasyon performansının da arttığı tespit edilmiştir. Nagy ve Babaita (2016) Romanya’daki otellerde inovasyon faaliyetlerini etkileyen faktörleri belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda otel büyüklüğü, liderlik stratejisi ile yönetici-çalışan ilişkisi gibi faktörlerin, otellerin inovasyon kapasitesini etkilediğini tespit etmişlerdir.

Çetin ve Gedik (2017a) yaptıkları çalışmada, Karaman ilindeki işletmelerde inovasyon üzerinde etkili olan faktörleri belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları analiz sonucunda çalışan sayısı ile inovasyon arasında olumlu bir ilişki bulunduğunu, işletme yaşı ile inovasyon arasında ise anlamlı bir ilişki bulunmadığını tespit etmişlerdir. Özdemir ve Sönmez (2018), örgütsel kültürün inovasyon üzerinde bir etkisinin olup olmadığını incelemişlerdir. Araştırmada örgütsel kültürün işe katılım, vizyon, uyum ve tutarlılık boyutlarının ürün

inovasyonuna olan etkisi incelenmiş ve işe katılım boyutları ile vizyonun inovasyon üzerinde anlamlı düzeyde etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. Çakın ve Özdemir (2018), inovasyon ve Ar-Ge için etkili olan faktörleri belirleyecek bir çalışma yapmıştır. Araştırma sonucunda, üniversiteler ve finans kurumları ile işbirliğinin KOBİ'lerin inovasyon performansını en çok etkileyen, işletmenin yaşı ve örgütsel yapının ise en az etkileyen faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Oturakçı (2018) ise işletmelerde inovasyonu etkileyen parametrelerin belirlenmesi ve Analitik Hiyerarşi Prosesi ile öncelik verilmesi gereken faktörleri belirleyecek bir çalışma yapmıştır. Araştırmada çalışan özelliklerinin inovasyon üzerindeki en etkili parametre olduğu, özellikle eğitim düzeyi ve deneyimin inovasyonu etkileyen en önemli faktörler olduğu tespit edilmiştir.

Tedarikçi ilişkileri de inovasyonu etkileyen içsel faktörlerden biridir. Tedarikçi ilişkilerinin inovasyon üzerindeki etkisini inceleyen çalışmada, Gaziantep 3. ve 4. Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan işletmeler incelenmiş ve işbirliğine önem veren tedarikçilerin inovasyon üzerinde pozitif etki yarattığı tespit edilmiştir (Özgüner ve Özgüner, 2018). Görker ve Erdil (2018) yaptıkları çalışmada, örgüt girişimi, yöneticilerin dönüştürücü liderlik tarzı ile öğrenme odaklılığın inovasyon performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda öğrenme odaklılık, yöneticilerin dönüştürücü liderlik tarzı ile inovasyon performansının geliştirilmesi arasındaki etkinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Kılıç ve Erdem (2018) yaptıkları çalışmada çalışanların inovatif davranışları ile çift yetenekli liderlik davranışı arasındaki etkiyi incelemişlerdir. Uygulanan anketler sonucunda ise çift yetenekli liderlik davranışının çalışanların inovatif davranışlarının geliştirilmesinde olumlu etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Akyüz, Yıldırım ve Gürsoy (2020) yaptıkları çalışmada örgüt kültürünün, örgüt bağlılığı ve iş tatmininin inovasyon üzerine etkisini incelemişlerdir. Orman ürünleri sanayi sektöründeki işletmelere uygulanan anketler analiz edildiğinde ise örgüt kültürü, örgüt bağlılığı, iş tatmini ve inovasyon arasında anlamlı bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir.

İçsel yeteneklerin ve eğitimin inovasyon kapasitesi üzerindeki etkisi

Literatürde örgütsel yapı, çalışan sayısı, Ar-Ge yatırımlarının büyüklüğü, liderlik tarzı vb. içsel faktörlerin inovasyon kapasitesi üzerindeki etkisi hakkında birçok yayın bulunmasına rağmen, eğitimin inovasyon kapasitesi üzerindeki etkisini inceleyen az sayıda çalışma bulunduğu dikkat çekmektedir. Bu bölümde eğitim ile inovasyon arasındaki ilişkiye değinen çalışmalar ele alınmıştır. Kişilere verilen eğitim de, kişinin inovasyon kapasitesini etkileyen içsel faktörlerden biridir. İnovasyon toplumdaki birçok alanda uygulanan bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürecin uygulanmasında ise yeniliklere açık, risk alabilen, iletişimi iyi, üretken, işbirlikçi kişilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özellikler ise bireylere ancak inovasyona dayalı şekilde verilen eğitim süreci ile kazandırılabilir (Taş, 2017).

Yüksel, Uçkun, Dinçel ve Demir (2013) yaptığı çalışmada firmalara ara eleman yetiştirilmesine katkıda bulunan meslek yüksekokullarının verdiği eğitimin inovasyona katkısını incelemişlerdir. Çalışmada okul-sanayi işbirliği ile meslek yüksekokullarında eğitim alan öğrencilerin sanayinin beklentilerine karşı gösterdikleri inovatif davranışları incelenmiştir. Mayhaw, Rockenbach, Bowman, Seifert ve Wolnak (2016) yaptıkları çalışmada, öğrencilerin kazandığı üniversitede elde ettikleri deneyimleriyle inovasyon niyetleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada öğrencilerin kişiliklerinin ve arka plandaki özelliklerinin oturmuş olmasına rağmen, üniversite deneyimleriyle inovasyon kapasitelerinde gelişme sağlanabileceği tespit etmişlerdir. Selznick ve Mayhew (2018), yükseköğretim çıktıları ile yükseköğretimde okuyan öğrencilerin inovasyon kapasitesinin nasıl etkilendiğini incelemiştir. Çalışmada geçmiş çalışmaların aksine, yükseköğretim kurumlarında verilen eğitimin inovasyon kapasitesi üzerinde etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Taş (2017) yaptığı çalışmada, eğitim, inovasyon ve Türkiye'nin küresel inovasyon endeksindeki yerini ele almıştır. Ayrıca çalışmada, üniversiteler, meslek yüksekokulları ve Milli Eğitim Bakanlığının inovasyona uyum sağlayabilecek bireyler yetiştirebilmek için yaptığı çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Chou, Shen, Hsiao ve Shen (2019) yaptıkları çalışmada, Tayvan'daki öğretmenlerin teknolojik inovasyon ile bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak gerçekleştirdikleri inovatif eğitim ile eğitim verdikleri bireylerin, devamında çalıştıkları işletmelerde de işletmelerin inovasyon değişimleri arasında bir uyum bulunduğunu analiz etmişlerdir. Huang'ın (2018) Tayvan'da yapmış olduğu çalışmada ise inovatif eğitim yöntemleri kullanılarak kişilerin inovasyon kapasitesinin geliştirildiğini ve yüksek teknoloji işletmelerde de bu kişilerin çalışmasıyla organizasyonun performansının da olumlu yönde etkilendiğini tespit etmiştir. Halasz (2018) ise kişilerin aldıkları eğitim ile inovasyon kapasitelerinin geliştirilmesi arasında bir ilişki bulunup bulunmadığını incelemiştir. Araştırmada uygulanan anketler sonucunda alınan eğitim ile kişilerin inovasyon kapasitesi ile performansı arasında olumlu bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. Zhou ve Lou (2018) yaptıkları çalışmada, Çin'deki yükseköğretim kurumlarının girdileriyle teknik inovasyonun, ekonomik büyümeyi etkilediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca yükseköğretimde verilen eğitim sonucunda kişilerin teknik inovasyon kapasiteleri arasında bir ilişki bulunduğunu belirtmişlerdir. Ferraris, Belyaeva ve Bresciani (2020) yaptıkları çalışmada, inovasyona dayalı akıllı şehirlerin oluşturulmasında üniversitelerin etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar İtalya ve Rusya'da üniversite öğrencilerine uyguladıkları anket ile akıllı şehirlerin oluşturulması ile üniversitelerin verdiği eğitim arasında

pozitif bir etkinin bulunduğunu tespit etmişlerdir. Koç ve Mente (2007) çalışmalarında üniversite – devlet – sanayi işbirliğinde üçlü sarmal modelini ele almışlardır. Araştırmada üretim ve bilime önem veren devlet, sanayinin geliştirilmesine odaklı üniversite eğitimi ve Ar-Ge'ye dayalı sanayinin üretimi gerçekleştirilmesiyle inovasyona odaklı üniversite–devlet–sanayi işbirliğinin oluşturulabileceğini belirtmişlerdir. Unger ve Polt (2017) tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise, inovasyon, araştırma ve eğitim üçgeni incelenmiş ve bu üç değişken arasındaki ilişki ele alınmıştır. Yapılan araştırma sonucunda İsveç ve Kanada'da yükseköğretim veren enstitülerde bu üç değişkenin birbiri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

3. Araştırma modeli ve hipotezlerin kurulması

Çalışmada içsel yetenekler; motivasyon, proaktivite ve bilişsel yaratıcılık alt faktörlerinin birleşimi ile değerlendirilmiştir. İçsel motivasyonun doğuştan geldiği ifade edilse de özgürlük, esneklik, artan kaynaklar, tanınma, iletişim gibi unsurların çalışanların motivasyonunu artırdığı ve artan motivasyonun yaratıcılığa ve yenilikçiliğe olumlu yönde katkıda bulunduğu ifade edilmektedir (Ruan, Hong ve Jin, 2010). Yeniliğin, yeni fikirler üretmek ve uygulamak için meydana gelen davranışlar şeklinde ifade edilmesi; kişinin kendisini ya da çevresini değiştirmek için tasarlanmış eyleme yönelik davranışlar dizisi olarak ifade edilen proaktivite tanımına çok yaklaşıttır. Bu doğrultuda proaktivitenin inovasyondan daha geniş bir tanım olduğu ve inovasyon yapılmasına katkı sağladığı ifade edilebilir (Unsworth ve Parker, 2003). Bu bilgiler ışığında içsel yetenekler ile inovasyon kapasitesi arasında oluşturulan H1a hipotezi aşağıdadır.

H1a: İçsel yeteneklerin inovasyon kapasitesi üzerinde anlamlı ve olumlu yönde bir etkisi bulunmaktadır.

İşletme ve endüstri mühendisliği bölümlerinde eğitime devam eden bireylerin aldıkları teknik eğitimin yanı sıra hassas becerilerinin de geliştirilmesi hem istihdam edilebilmelerini hem de toplum için değerli kalmalarını sağlamaktadır (Deveci ve Nunn, 2018). İçsel yeteneklerden olan motivasyon faktörünün bireylerin eğitime olumlu katkıları olduğu bilinmektedir (Tohidi ve Jabbari, 2012). Yaratıcılık, başarı, rekabet gibi motivatörler bireylerin aldıkları işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi almalarına ve alınan eğitimin başarılı bir şekilde tamamlanmasına etki edecektir. İçsel yetenekler içerisinde değerlendirilen alt faktörlerin, işletme ve endüstri mühendisliği bölümlerinde eğitim alan, gelecekte karar verici pozisyonunda olacak bireylere olumlu yönde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda oluşturulan H2 hipotezi aşağıdadır.

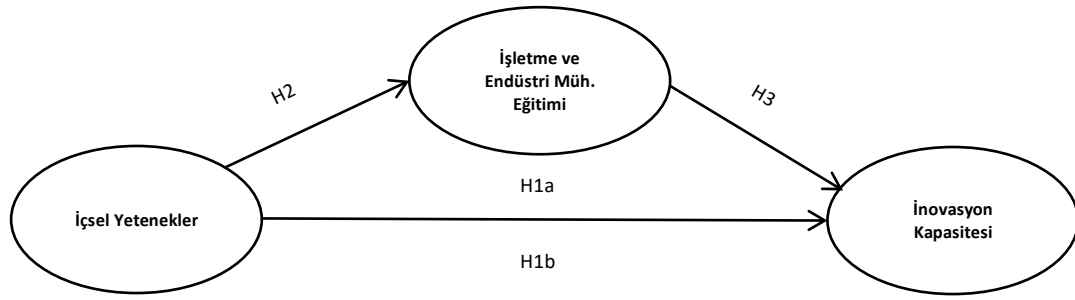
H2: İçsel yeteneklerin işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi üzerinde anlamlı ve olumlu yönde bir etkisi vardır.

İnovasyon yeteneği, tasarımları ve üretimleri de dahil olmak üzere kullanışlı sistem, ürün ve hizmetlerin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu yeteneğin kazanılması için bireylerin araştırma, analiz etme, problem çözme, fikir geliştirme becerilerine sahip olması gerekmektedir (Bordogna, Fromm ve Ernst, 1993). Bu konuda yöneylem araştırması, üretim planlama, üretim yönetimi, teknoloji ve yenilik yönetimi, tedarik zinciri yönetimi gibi ilgili dersleri işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi ile alan bireyler inovasyon yeteneklerini artırarak inovasyon kapasitelerini yükseltebilecektir. Bu bilgiler ışığında işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi ile inovasyon kapasitesi arasında oluşturulan H3 hipotezi aşağıdadır.

H3: İşletme ve endüstri mühendisliği eğitiminin inovasyon kapasitesi üzerinde anlamlı ve olumlu yönde bir etkisi vardır.

Selznick ve Mayhew (2018) inovasyona etki eden faktörler arasında içsel yetenekleri göstermektedir. Ancak içsel yetenekler bireylerin inovasyon yeteneklerini etkileyen tek faktör değildir. Ayrıca içsel yeteneklerin farklı faktörler üzerinden bireylerin inovasyon kapasitesine etkisi daha önce bir çalışmaya konu olmadığından incelenmesinin ilgili literatürün zenginleşmesini sağlayacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda çalışmada aracı değişken olarak işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi belirlenmiştir. Günay ve Çalık (2019) inovasyonu iş fikrinin ticarileştirilmesi olarak tanımlamıştır. Temel bilimlerde yapılan çalışmalarla buluşlar gerçekleştirilse de buluşlar ticarileştirilmesi ile inovasyon halini almaktadır. Helikopterin ilk çizimlerinin Leonardo da Vinci'ye ait olduğu bilirse de ticarileştirilmesi Igor Ivanovich Sikorsky ile gerçekleştirilmiştir (Betz, 2003). İşletme ve endüstri mühendisliği de temel bilimlerin gerçekleştirmiş oldukları buluşların ticarileştirilmesinde uzmanlık bilgisinin alındığı önemli iki bölümdür. Bu bilgiler ışığında H1b hipotezi oluşturulmuş ve aşağıda gösterilmiştir.

H1b: İçsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi üzerinden anlamlı ve olumlu yönde bir etkisi vardır



Şekil 1. Araştırma Modeli

Araştırma modeli Selznick ve Mayhew (2018)'in çalışmasından faydalanılarak oluşturulmuştur. Yapılan çalışmadan farklı olarak işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi faktörü bu çalışmaya eklenerek aracılık rolü incelenmektedir.

4. Yöntem

Çalışmada nicel araştırma yöntemlerinden olan anket metodu kullanılarak veriler elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan içsel yetenekler ve inovasyon kapasitesine ilişkin ölçekler Selznick ve Mayhew (2018)'in çalışmasından alınmıştır. Yazardan alınan izne müteakip çalışmanın etik kurul izni alınmıştır. Selznick ve Mayhew (2018) çalışmasını konuya ilişkin ölçek geliştirme aşaması ile tamamlamıştır. Yapılan bu çalışmada ise faktörler arasındaki ilişkiler ve işletme eğitiminin bu ilişkideki aracı rolü araştırılmaktadır. Çevrimiçi araçlar kullanılarak oluşturulan anket formu katılımcılara iletilmiştir. Basit rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak katılımcılara ulaşılmaya çalışılmıştır. Anket formunda soruların hepsi doldurulması zorunlu tutulduğundan elde edilen formlarda cevaplanmamış soru bulunmamaktadır. Gözle kontrol aşamasında beş anketin mükerrer geldiği tespit edilmiş ve son haliyle 402 anket ile analiz aşamasına geçilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle katılımcılara ilişkin tanımlayıcı istatistikler frekans analizi yoluyla gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ölçeklerin güvenilirlik analizi yapılmıştır. Sonrasında açıklayıcı faktör analizi ve doğrulayıcı faktör analizi ile geçerlik analizi sonuçları paylaşılmıştır. Açıklayıcı faktör analizi SPSS 23, doğrulayıcı faktör analizi ise LISREL 9.1 paket programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aracılık etkisinin olup olmadığının tespiti için ise SPSS Hayes eklentisi kullanılarak bootstrap analizi yapılmıştır. Çalışma evreninin bir milyon kişi olarak belirlendiği durumlarda çalışmanın 402 katılımcı ile gerçekleştirilmesi gerekli olan 384 örneklem büyüklüğü yeterliliğinin sağlandığını göstermektedir (Neuman, 2010).

5. Bulgular

5.1 Tanımlayıcı istatistikler

Çalışmada öncelikle katılımcılara ilişkin tanımlayıcı istatistikler frekans analizi gerçekleştirilerek sunulmuştur. Katılımcılar Türkiye'nin farklı bölgelerinden 19 farklı üniversitede eğitim-öğretim faaliyetlerine devam ettiklerini ifade etmiştir. Cevaplayıcıların 260'ı (% 64,7) lisans, 117'si (% 29,1) yüksek lisans ve 25'i (% 6,2) doktora seviyesinde eğitim-öğretimlerine devam ettiklerini belirtmiştir. Katılımcıların yaşları, cinsiyetleri, ailenin geliri, anne ve babalarının eğitim seviyelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Tanımlayıcı İstatistikler

Yaş	Sıklık	Yüzde	Annenizin eğitimi	Sıklık	Yüzde
17-22	179	44,5	İlköğretim	188	46,8
23-28	117	29,1	Lise	111	27,6
29-34	59	14,7	Lisans	86	21,4
35 ve üzeri	47	11,7	Lisansüstü	17	4,2
Eğitim Seviyesi			Babanızın eğitimi		
Lisans	260	64,7	İlköğretim	129	32,1
Yüksek Lisans	117	29,1	Lise	103	25,6
Doktora	25	6,2	Lisans	148	36,8
Ailenizin Geliri			Lisansüstü	22	5,5
0-3000	75	18,7	Cinsiyet		
3001-6000	128	31,8	Erkek	165	41
6001-9000	106	26,4	Kadın	237	59
9001 ve üzeri	93	23,1			

5.2 Güvenirlik ve geçerlik analizleri

Çalışmada içsel yetenekler faktörü motivasyon, proaktivite ve öz yaratıcılık alt faktörlerinden oluşmaktadır. İnovasyon kapasitesi faktörünü ise bilişsel yaratıcılık, yenilik yaratma niyeti ve risk alma/tolerans alt faktörleri oluşturmaktadır. Her alt faktörün güvenirlilik katsayısı ve tüm ölçeğin güvenirliliği çalışmada hesaplanmış olup; motivasyon 0,73, proaktivite 0,69, öz yaratıcılık 0,80, bilişsel yaratıcılık 0,82, yenilik yaratma niyeti 0,85, risk alma/tolerans 0,65, eğitim 0,91 cronbach alpha değerine sahiptir. Tüm ölçek maddelerinin dahil edildiği güvenirlilik analizi sonucunda ise 0,92 değeri elde edilmiştir. Sonuçların güvenilir kabul edilmesi için ulaşılan cronbach alpha değerinin 0,6'nın üzerinde olması istenmektedir (Sevüktekin, Nargeleçekenler ve Çetin, 2012). Bu bilgilerle ölçeğin güvenilir olduğu ifade edilebilir. Geçerlilik analizleri kapsamında çalışmada öncelikle açıklayıcı faktör analizi yapılmıştır. Açıklayıcı faktör analizi sonucunda döndürülmüş bileşen matrisi Tablo 2'de görülmektedir. Örneklem yeterliliği için Keiser-Meyer-Olkin (KMO) değerinin 0,7'nin üzerinde olması istenmektedir. Açıklayıcı faktör analizi ile KMO değeri 0,91 bulunmuş ve örneklem yeterliliğinin sağlandığı kabul edilmiştir. Sosyal bilim çalışmalarında oluşan yapının açıklanan varyans oranının 0,5'in üzerinde olması beklenmektedir. Yapılan faktör analizi sonucunda açıklanan varyans oranının 0,63 olduğu görülmüş ve yapının açıklama gücünün yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 2. Açıklayıcı Faktör Analizi

	Faktörler					
	1	2	3	4	5	6
Motivasyon1				,708		
Motivasyon2				,624		
Motivasyon3				,634		
Motivasyon4				,725		
Motivasyon5				,457		
Proaktivite1						,480
Proaktivite3						,749
Proaktivite4						,666
Özyaratıcılık1		,499				
Özyaratıcılık3		,520				
Özyaratıcılık5		,804				
Bilişselyarat1		,837				
Bilişselyarat3		,671				
Bilişselyarat4		,440				
Niyet1			,628			
Niyet2			,692			
Niyet3			,785			
Niyet4			,770			
Tolerans2					,635	
Tolerans3					,768	
Tolerans4					,703	
Tolerans6					,733	
Egitim1	,778					
Egitim2	,820					
Egitim3	,785					
Egitim4	,877					
Egitim5	,864					
Egitim6	,702					

Açıklayıcı faktör analizinde 0,30 ve altında değere sahip olan maddeler analiz dışına çıkarılmıştır (Doğan ve Başoçku, 2010). Motivasyon, niyet ve eğitim ölçeklerinde tüm madde yükleri istenilen alt sınırnın üzerinde olduğu için madde çıkarılmamıştır. Ancak proaktivite ölçeğinde 2., öz yaratıcılık ölçeğinde 2. ve 4., bilişsel yaratıcılıkta 2., tolerans ölçeğinde 1. ve 5. maddeler analizden çıkartılmıştır. Madde çıkarımı sonrası gerçekleştirilen açıklayıcı faktör analizi sonucunda motivasyon ölçeğindeki maddeler 0,45-0,70, proaktivite ölçeğindeki maddeler 0,48-0,74, niyet ölçeğindeki maddeler 0,62-0,78, tolerans ölçeğindeki maddeler 0,63-0,76, eğitim ölçeğindeki maddeler ise 0,70-0,87 arasında değerler almıştır. Öz yaratıcılık ve bilişsel yaratıcılık ölçeklerine ilişkin maddelerin aynı faktör altında birleştiği Tablo 2’de görülmektedir. Farklı ülkelerde gerçekleştirilen çalışmalarda kültürel, bilişsel ya da dilsel etkenlerle maddelerin farklı faktörlerle birleşimi görülmektedir. Bu doğrultuda maddeler tekrar gözden geçirilmiş, maddelerin anlamsal yakınlıklarının katılımcılar tarafından maddeler arasındaki farklılığın anlaşılmasına sebebiyet verdiği fark edilmiştir. Bu doğrultuda faktör “yaratıcı düşünce” şeklinde yeniden adlandırılmıştır. Açıklayıcı faktör analizi oluşan yapının doğrulanması amacıyla bir sonraki aşama olarak doğrulayıcı faktör analizi yapılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 3’te sunulmaktadır.

Tablo 3. Ölçüm Modeline İlişkin Doğrulayıcı Faktör Analizi Sonuçları

Faktörler ve Maddeler	Standart Değer	R ² Değerleri	Hata Varyansı	T Değerleri	AVE	CR
Motivasyon						
Motivasyon1	0,70	0,49	0,51	14,36	0,44	0,76
Motivasyon2	0,64	0,41	0,59	12,89		
Motivasyon3	0,64	0,41	0,59	12,91		
Motivasyon4	0,68	0,46	0,54	13,86		
Proaktivite						
Proaktivite1	0,59	0,35	0,65	11,31	0,38	0,65
Proaktivite3	0,67	0,45	0,55	13,08		
Proaktivite4	0,60	0,36	0,64	11,64		
Yaratıcı Düşünce						
Yaratıcı Düşünce1	0,65	0,42	0,58	13,82	0,47	0,84
Yaratıcı Düşünce 2	0,64	0,41	0,59	13,58		
Yaratıcı Düşünce 3	0,75	0,57	0,43	16,85		
Yaratıcı Düşünce 4	0,78	0,61	0,39	17,83		
Yaratıcı Düşünce 5	0,69	0,48	0,52	15,01		
Yaratıcı Düşünce 6	0,62	0,38	0,62	13,04		
Niyet						
Niyet1	0,79	0,63	0,37	18,17	0,60	0,85
Niyet2	0,81	0,65	0,35	18,61		
Niyet3	0,73	0,53	0,47	16,11		
Niyet4	0,78	0,60	0,40	17,65		
Tolerans/Risk Alma						
Tolerans2	0,72	0,51	0,49	17,77	0,44	0,76
Tolerans3	0,50	0,25	0,75	9,55		
Tolerans4	0,66	0,43	0,57	13,27		
Tolerans6	0,77	0,59	0,41	16,17		
Eğitim						
Eğitim1	0,77	0,59	0,41	17,74	0,64	0,91
Eğitim2	0,84	0,71	0,29	20,55		
Eğitim3	0,78	0,61	0,39	18,30		
Eğitim4	0,85	0,73	0,27	20,98		
Eğitim5	0,87	0,75	0,25	21,38		
Eğitim6	0,69	0,48	0,52	15,46		

Doğrulatoryı faktör analizi aşamasında madde faktör yüklerinin 0,5'in üzerinde olması istenmektedir. Bu nedenle ölçek maddeleri incelenmiş ve 0,43 madde faktör yükü ile bu koşulu sağlamayan tek madde olan Motivasyon5 maddesi analiz dışına çıkarılmıştır. Motivasyon5 maddesinin çıkarılması sonrası ölçekteki diğer maddelerin faktör yükleri, R^2 değerleri, hata varyansları Tablo 3'te görülmektedir. Maddelerin $<0,05$ seviyesinde anlamlı olabilmesi için t değerlerinin 1,96'dan yüksek olması beklenmektedir. Doğrulatoryı faktör analizi sonucu elde edilen t değerleri incelendiğinde tüm maddelerin $p<0,05$ seviyesinde anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca doğrulatoryı faktör analizi sonucu ölçme modelinin ki kare/serbestlik derecesinin 2,70, RMSEA değerinin 0,065 ve NFI değerinin 0,94 ile iyi uyuma sahip olduğu görülmüştür. Ölçeğin yakınsama geçerliliğine sahip olup olmadığının tespiti için AVE ve CR değerleri incelenmiştir. Ölçeğin yakınsama geçerliliğine sahip olabilmesi için AVE değerinin 0,5'in üzerinde olması istenmektedir. Bununla birlikte AVE değerinin 0,5'in altında olduğu durumlarda CR değeri 0,6'nın üzerinde ise ölçeğin yakınsama geçerliliğine sahip olduğu kabul edilmektedir (Fornell ve Larcker, 1981). Bu bilgilerle yapılan değerlendirme sonrası tüm faktörlerin yakınsama geçerliliğine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

5.3 Araştırma modelinin test edilmesi

Araştırma modelinde (1) bağımsız değişkenin bağımlı değişken (2) bağımsız değişkenin aracı değişken (3) aracı değişkenin bağımlı değişken (4) bağımsız değişkenin aracı değişken üzerinden bağımlı değişken üzerindeki etkisi test edilerek aracılık rolü açıklanmaya çalışılmaktadır.

İçsel yeteneklerin bağımsız inovasyon kapasitesinin bağımlı değişken olduğu regresyon modeli Tablo 4'te görülmektedir. İçsel yeteneklerin inovasyon kapasitesini 0,664 katsayısı ile $p<0,01$ seviyesinde olumlu yönde etkilediği anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın ilk hipotezi olan "H1a: İçsel yeteneklerin inovasyon kapasitesi üzerinde anlamlı ve olumlu bir yönde etkisi vardır" hipotezi doğrulanmıştır.

Tablo 4. İçsel Yeteneklerin İnovasyon Kapasitesi Üzerine Etkisi (H1a)

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	F	B	T	p	R^2
İnovasyon Kapasitesi	İçsel Yetenekler	315,32	0,664	17,757	,000	0,441

Eğitimin bağımsız inovasyon kapasitesinin bağımlı değişken olduğu regresyon modeli Tablo 5'te görülmektedir. Eğitimin inovasyon kapasitesini 0,400 katsayısı ile $p<0,01$ seviyesinde olumlu yönde etkilediği anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın ilk hipotezi olan "H2: Eğitimin inovasyon kapasitesi üzerinde anlamlı ve olumlu bir yönde etkisi vardır" hipotezi doğrulanmıştır.

Tablo 5. Eğitimin İnovasyon Kapasitesi Üzerine Etkisi (H2)

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	F	B	T	p	R^2
İnovasyon Kapasitesi	Eğitim	76,23	0,400	8,731	,000	0,160

İçsel yeteneklerin bağımsız eğitimin bağımlı değişken olduğu regresyon modeli Tablo 6'da görülmektedir. İçsel yeteneklerin eğitimi 0,687 katsayısı ile $p<0,01$ seviyesinde olumlu yönde etkilediği anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın ilk hipotezi olan "H3: İçsel yeteneklerin eğitim üzerinde anlamlı ve olumlu bir yönde etkisi vardır" hipotezi doğrulanmıştır.

Tablo 6. İçsel Yeteneklerin Eğitim Üzerine Etkisi (H3)

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	F	B	T	p	R ²
Eğitim	İçsel Yetenekler	91,84	0,687	9,583	,000	0,186

H1, H2 ve H3 hipotezlerinin test edilmesi ile aracılık rolünün incelenmesi için tüm koşulların yerine getirildiği söylenebilir. Tablo 6’da içsel yeteneklerin inovasyon kapasitesi üzerindeki doğrudan etkisinin 0,664 iken Tablo 7’de verildiği gibi, aracı değişkenin modele eklenmesi ile bu değer 0,616’ya düştüğü görülmektedir. Ulaşılan sonuçlar dikkate alındığında eğitim faktörünün kısmi aracılık rolüne sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 7. İçsel Yeteneklerin İnovasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisinde Eğitimin Aracılık Rolünün İncelenmesi (H1b)

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	F	B	T	p	R ²
İnovasyon Kapasitesi	İçsel Yetenekler	167,610	0,616	14,754	,000	0,456
İnovasyon Kapasitesi	Eğitim	167,610	0,089	3,401	,000	0,456

İçsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine etkisinde eğitim aracı rolünün araştırılmasında kullanılan bootstrap analiz sonuçları Tablo 8’de görülmektedir. Modelin p değerinin <0,05 olması ve CI değerlerinin sıfırı içermemesi hipotezin doğrulandığını belirtmektedir. Ulaşılan sonuçlar dikkate alındığında doğrudan etkinin incelendiği H1a ve H2 ile dolaylı etkinin incelendiği H1b hipotezlerinin doğrulandığı görülmektedir.

Tablo 8. Bootstrap Analiz Sonuçları

Hiptezler	Yol	SH	LLCI	ULCI
H1a	İY → İK	0,0418	0,5345	0,6989
H2	E → İK	0,0263	0,0377	0,1410
H1b	İY → E → İK	0,0229	0,0216	0,1099

6. Sonuç

Hızla değişen pazar ortamında işletmelerin hayatta kalabilmesi, inovasyon yapma kabiliyetleri ile doğrudan ilişkilidir. İnovasyon yüzyıllardır ekonominin itici gücü olarak kabul edilmektedir. Bu doğrultuda işletmelerin sürekli olarak inovasyon yapma kabiliyetlerini geliştirmek ve bunu sağlayan unsurları iyileştirmek için çaba sarf ettiği bilinmektedir. İşletmelerin inovasyon yapabilmeleri fiziksel ve fiziksel olmayan kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmalarına bağlıdır. Bununla birlikte işletmelerin sahip olduğu fiziksel varlıklar ancak bir araç olarak inovasyon yapmalarına katkı sağlamaktadır. İşletmelerin fiziksel olmayan varlıklarından, çalışma kapsamında insan kaynağından, etkili bir şekilde faydalanabilmesi inovasyon yapabilme yetisinin artırılmasına olumlu yönde etki etmektedir. İnovasyon kapasitesi yüksek insan kaynağına sahip işletmeler rakiplerine göre üstün rekabet avantajına sahiptir. Çalışanların inovasyon kapasitelerinin belirlenmesi ve inovasyon kapasitesine etki eden unsurların belirlenmesi işletme yöneticilerinin insan kaynağı planlama çalışmalarına katkı sağlayacaktır. Ayrıca inovasyon yeteneklerine etki eden faktörlerin belirlenmesi yeni girişimler kuracak üniversite öğrencilerinin gelecek planlarına etki edecektir. Bu kapsamda çalışma ile içsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine etkisinde işletme ve endüstri mühendisliği eğitiminin aracılık rolü araştırılmıştır.

İçsel yetenekler çalışmada bağımsız değişken olarak belirlenmiş olup; motivasyon, proaktivite ve öz yaratıcılıktan oluşan üç alt faktöre ayrılmaktadır. İnovasyon kapasitesi ise bağımlı değişken olarak belirlenmiş ve bilişsel yaratıcılık, niyet ve tolerans/risk alma alt faktörlerinden oluşmaktadır. Öz yaratıcılık ve bilişsel yaratıcılık maddeleri açıklayıcı faktör analizinde tek bir faktör olarak oluştuğundan maddeler tekrar incelenmiş ve yaratıcı

düşünce olarak yeniden adlandırılmıştır. Oluşturulan yeni faktör inovasyon kapasitesi içerisinde değerlendirilmiştir. Doğrulayıcı faktör analizi aşamasında da görüldüğü üzere içsel yetenekler iki ve inovasyon kapasitesi üç alt faktör ile çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmanın aracı değişkeni olarak ise çok sayıda benzer derse sahip olan işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi belirlenmiştir.

Motivasyon ve proaktivite alt faktörleri ile oluşan içsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine doğrudan etki ettiği çalışmada H1a hipotezi ile doğrulanarak tespit edilmiştir. Bu doğrultuda bireylerin kendi ve işletmelerin ise çalışanlarının motivasyonlarını artırabileceğini düşündükleri faaliyetleri ya da teşvik araçlarını kullanmaları inovasyon kapasitelerini artıracaktır. İşletme ve endüstri mühendisliği eğitiminin inovasyon kapasitesinin artırılmasına etki ettiğini ifade eden H2 hipotezi çalışmada doğrulanmıştır. İşletme ve endüstri mühendisliği bölümleri girişimcilik, üretim yönetimi, tedarik zinciri yönetimi, muhasebe gibi ortak birçok derse sahiptir. Wei, Liu ve Sha (2019) girişimcilik eğitimi alan öğrencilerin inovasyon yapabilme yeteneklerinin yükseldiği sonucuna ulaşmıştır. Junge, Severgnini ve Sørensen (2012) teknik eğitimin bireylerin alanlarıyla ilişkili her türlü inovasyonu yapabilme yetisini geliştirdiğini ifade etmekte iken sosyal bilimlerde alınan eğitimin ürün, örgütsel ve pazarlama inovasyonu etkilediğini ifade etmiştir. Bu doğrultuda elde edilen sonuçların Junge ve diğ. (2012)'nin ve Wei ve diğ. (2019)'nin çalışmalarıyla uyumlu olduğu ifade edilebilir. Literatüre katkı sağlayacağı düşünülen bu çalışmada H1b hipotezi ile içsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine etkisinde işletme ve endüstri mühendisliği eğitiminin rolü test edilmiş ve doğrulanmıştır. Bu doğrultuda işletme ve endüstri mühendisliğinin kısmi aracılık etkisine sahip olduğu bootstrap analizi ile tespit edilmiştir. İçsel yeteneklere sahip bireylerin inovasyon kapasitelerinin artırılmasında işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi almış olmalarının rolü olduğu ifade edilebilir. Böylece içsel yeteneklerin inovasyon kapasitesine doğrudan etkisinin yanı sıra işletme ve endüstri mühendisliği üzerinden de etkide bulunduğu elde edilen bulgular ışığında söylenebilir. İşletme ve endüstri mühendisliğinin müfredatları incelendiğinde bu etkinin oluşmasına teknoloji ve yenilik yönetimi, yeni ürün geliştirme konu başlıklarında alınan derslerin katkı sağladığı ifade edilebilir.

Elde edilen sonuçlarla işletme yöneticilerine geliştirecekleri uygulamalar ile çalışanlarının içsel yeteneklerini artırabildikleri takdirde inovasyon kapasitelerinin artacağı bilgisi verilebilir. Geliştirilmiş içsel yeteneklere sahip işletme ve endüstri mühendisliği eğitimi almış bireylerin ürün ve süreç inovasyonu yaparak çalıştıkları işletmelere rekabet avantajı kazandırabileceği düşünülmektedir. Ayrıca işletmeler bazında yaşanan rekabetin ülkeler bazında da yaşandığı dikkate alındığında, eğitim politikalarına yön verenlerin işletme ve endüstri mühendisliği eğitimine önem vermeleri ülkenin inovasyon kapasitesinin artırılmasında elzemdir. Bu doğrultuda ülkelerin gayri safi milli hasıladan Ar-Ge'ye ayırdıkları oranın maddi bir ölçüt olarak değerlendirildiği günümüzde maddi olmayan bir ölçüt olarak inovasyon kapasitesine sahip insan kaynağına olan sahiplik ülkelerin rekabette önde olmalarını sağlayacaktır. Her ne kadar çalışma içerisinde 19 üniversiteden katılımcı bulunsa da maliyet ve zaman kısıtı nedeniyle işletme ve endüstri mühendisliği bölümü olan tüm üniversiteler çalışmaya dahil edilememiştir. Gelecek çalışmalarda tüm üniversiteleri dahil edebilecek bir örneklem ile çalışılabilir. Araştırma modeline farklı aracı ya da düzenleyici değişkenler eklenerek ilişkiler test edilebilir. Zaman ve maliyet boyutları dikkate alınarak farklı bölümler ve farklı ülkeler ile karşılaştırmalar yapılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Erdiñ KOÇ, anketin oluşturulması, anketin uygulanması, verilerin toplanması ve düzenlenmesi, analizlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların yorumlanması; Beste DESTİCİOĞLU bilimsel yayın araştırması, kullanılan yöntemlerin araştırılması ve makalenin oluşturulması; Hatice ÇALIPINAR ve Bahar ÖZYÖRÜK bilimsel yayın araştırması yeterliliğinin incelenmesi, analizlerin incelenmesi, sonuçların incelenmesi ve genel makale incelemesi; konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması meydana gelmemiştir.

Kaynaklar

Akyüz, K., Yıldırım, İ., ve Gürsoy, K. (2020). Örgüt Kültürünün Çalışanlarda İnovatif Düşünce Geliştirme İş Tatmini ve Örgüt Bağlılığına Etkisi (Lif Levha Sanayi Örneği). *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (2), 1216-1226. doi: <https://doi.org/10.29130/dubited.664709>

Antonelli, C., Crespi, F. ve Scellato, G. (2013). Internal and external factors in innovation persistence. *Economics of Innovation and New Technology*, 22(3), 256-280. doi: [10.1080/10438599.2012.708135](https://doi.org/10.1080/10438599.2012.708135)

Arıkan, C., Aksoy, M., Durgut, M. ve Göker, A. (2003); Ulusal İnovasyon Sistemi Kavramsal Çerçeve, Türkiye İncelemesi ve Ülke Örnekleri, Yayın No: TÜSİAD-T/2003/10/362, İstanbul. Erişim adresi: <https://tusiad.org/tr/tum/item/3579-turkiyede-ulusal-inovasyon-sistemi--kavramsal-cerceve--turkiye-incelemesi-ve-ulke-ornekleri-raporu-ozet-bulgulari>

- Atalan, B. (2006). Bir rekabet stratejisi olarak inovasyon (yenilikçilik) ve internet bankacılığı örneği. *Active Dergisi*, 49, 18-32.
- Babalola, O.O., Amiolemen, S.O., Adegbite, S.A. ve Ojo-Emmanuel, G. (2015). Evaluation of factors influencing technological innovations of small and medium enterprises in Nigerian industrial estates. *International Journal of Innovation Science*, 7(1), 39-53. doi: <https://doi.org/10.1260/1757-2223.7.1.39>
- Barışık, S. (2001). Yenilik, yenilik oluşumunda devletin rolü. *Verimlilik Dergisi*, 4, 7-24.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120. Doi: <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Betz, F. (2003). *Managing Technological Innovation-Competitive Advantage from Change*, John Wiley & Sons. Inc.
- Biçimveren L. ve Koç, F. (2016). Pazarlama İnovasyonu, Müşteri Odaklılık ve Rekabet Odaklılığın Uluslararası Pazar Performansı Üzerindeki Etkisi, *Conference: International Academic Research Congress (INES)*, Vol.1., 3881-3891, Antalya.
- Bordogna, J., Fromm, E. ve Ernst, E. W. (1993). Engineering Education: Innovation Through Integration. *Journal of Engineering Education*, 3-8. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1993.tb00065.x>
- Ceylan, U., ve Karaman, S. (2017). Kurumsal İtibar Oluşturma Sürecine Müşteri Şikâyet Yönetimi, İnovasyon ve Öğrenmenin Etkisi: Seyahat Acentaları Üzerine Bir Araştırma. *Uluslararası Global Turizm Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 85-106. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/389420>
- Chou, C. M., Shen, C. H., Hsiao, H. C. ve Shen, T. C. (2019). Factors influencing teachers' innovative teaching behaviour with information and communication technology (ICT): the mediator role of organisational innovation climate. *Educational Psychology*, 39(1), 65-85. Doi: <https://doi.org/10.1080/01443410.2018.1520201>
- Cormican, K., ve O'Sullıvan, D. (2004). Auditing Best Practice for Effective Product Innovation Management, *Technovation*. 24, 819-829. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(03\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(03)00013-0)
- Çakın, E., ve Özdemir, A. (2018). Kobi'lerde İnovasyon Performansını Etkileyen Faktörlerin Bulanık Dematel Tabanlı Analitik Ağ Süreci (BDANP) Yöntemiyle Analizi ve Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(4), 559-586. Doi: <https://doi.org/10.16953/deusosbil.293170>
- Çalıpınar, H., ve Baç, U. (2007). KOBİ'lerde inovasyon yapmayı etkileyen faktörler ve bir alan araştırması. *Ege Academic Review*, 7(2), 445-458. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/557064>
- Çetin, K., ve Gedik, H. (2017a). İşletmelerde inovasyona etki eden faktörler: Karaman ili örneği. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(13), 160-172. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijmeb/issue/54601/744455>
- Çetin, K. ve Gedik, H. (2017b). İnovasyon Ve İhracat Performansı İlişkisi: Karaman Örneği. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 22. UPK Ahmet Hamdi İSLAMOĞLU Special Issue, 109-126. Doi: <https://doi.org/10.18092/ulikidince.346605>
- Damanpour, F. (1991). Organizational innovation: A meta-analysis of effects of determinants and moderators. *Academy of Management Journal*, 34(3), 555-590. Doi: <https://doi.org/10.5465/256406>
- Deveci, T. ve Nunn, R. (2018). Intrapersonal communication as a lifelong learning skill in engineering education. *Yükseköğretim Dergisi*, 8(1), 68-77. Doi: <https://doi.org/10.2399/yod.17.009>
- Doğan, N. ve Başokçu, T. O. (2010). İstatistik tutum ölçeği için faktör analizi ve aşamalı kümeleme analizi sonuçlarının karşılaştırılması, *Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi*, 1(2), 65-71. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/epod/issue/5807/77240>
- Drucker, P. F. (1985). The discipline of innovation. *Harvard business review*, 63(3), 67-72. Erişim adresi: <https://iimagineservicedesign.com/wp-content/uploads/2015/06/The-Discipline-of-Innovation.pdf>
- Drucker, P.F. (2003). Yenilikçilik İçerisinde Yenilikçilik Disiplini, Çeviren: Ahmet Kardam, Mess Yayınları, İstanbul.
- Drucker, P. (2014). *Innovation and entrepreneurship*. Routledge.
- Elçi, Ş. (2007). İnovasyon: Kalkınmanın ve Rekabetin Anahtarı, (1.Baskı). İnomer Kalkınma ve Rekabet, 1-37. Erişim adresi: <https://inomer.org/wp-content/uploads/2018/05/İnovasyon-SirinElci.pdf>

- Ferraris, A., Belyaeva, Z. ve Bresciani, S. (2020). The role of universities in the Smart City innovation: Multistakeholder integration and engagement perspectives. *Journal of Business Research*, 119, 163-171. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.12.010>
- Fornell, C. ve Larcker, D. F. 1981. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50. Doi: <https://doi.org/10.2307/3151312>
- Görker, N., ve Erdil, O. (2018). İnovasyon Sürecinde Örgütü Girişimsel ve Öğrenme Odaklılığa Yönlendirmede Dönüştürücü Liderlik Tarzının Etkisi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 19(2), 115-129. Erişim adresi: <http://journal.dogus.edu.tr/index.php/duj/article/download/1092/pdf>
- Gümüşlüoğlu, L. (2009). İnovasyon ve liderlik. *Savunma Sanayii Gündemi Dergisi*, 3, 37-42. Erişim adresi: <https://doku.tips/edoc/novasyon-ve-liderlik.html>
- Günay, D. ve Çalık, A. (2019). İnovasyon, icat, teknoloji ve bilim kavramları üzerine. *Üniversite Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 1-11. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/uad/issue/44899/549654>
- Halász, G. (2018). Measuring innovation in education: The outcomes of a national education sector innovation survey. *European Journal of Education*, 53(4), 557-573. Doi: <https://doi.org/10.1111/ejed.12299>
- Haryani, S. ve Gupta, V.B. (2016). Factors affecting innovation capability of Indian software firms (with special reference to Indore city). *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(12), 1213-1219. Erişim adresi: <https://www.irjet.net/archives/V3/i12/IRJET-V3I12274.pdf>
- Higgins, J. M. (1996). Innovate or Evaporate: Creative Techniques for Strategist, *Long Range Planning*, 29(3), 370-380. Doi: [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(96\)00023-4](https://doi.org/10.1016/0024-6301(96)00023-4)
- Huang, S. P. (2018). Effects of innovative education on innovation capability and organizational performance in high-tech industry. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(3), 777-784. Doi: <https://doi.org/10.12973/ejmste/80127>
- James, O. ve Alexander, N. (2017). Factors affecting startup innovations and growth. *International Journal of Business Management and Leadership*, 8(1), 11-21. Doi: [10.18178/ijoams.6.1.34-38](https://doi.org/10.18178/ijoams.6.1.34-38)
- Junge, M., Severgnini, B. ve Sørensen, A. (2012). Evidence on the Impact of Education on Innovation and Productivity. Department of Economics. Copenhagen Business School. Working Paper / Department of Economics. Copenhagen Business School No. 2-2012. Erişim adresi: <https://www.econstor.eu/handle/10419/208570>
- Kalay, F., ve Kızıldere, C. (2015). Türk İşletmelerinin İnovasyon Performansını Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma. *Odü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (Odüsobiad)*, 5(13), 36-63. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/odusobiad/issue/27561/289981>
- Koç, K., ve Mente, A. (2007). İnovasyon Kavramı Ve Üniversite-Sanayi-Devlet İşbirliğinde Üçlü Sarmal Modeli. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar Dergisi*, 1-18. Erişim adresi: <http://www.sdergi.hacettepe.edu.tr/makaleler/kkahm.pdf>
- Kılıç, H. A. ve Erdem, İ. (2018). Çift Yetenekli Liderliğin Çalışanların İnovatif Davranışları Üzerindeki Etkisi. *International Journal of Management and Administration*, 2(4), 81-90. Doi: <https://doi.org/10.29064/ijma.448366>
- Kılıç, S. ve Yörükoğlu, Ö. (2020). Pazar ve İnovasyon Yönelimliliğinin İhracat İşletmelerinin İnovasyon Ve İhracat Performansına Etkileri, *BMIJ*, (2020), 8(1): 45-81. Doi: <https://doi.org/10.15295/bmij.v8i1.1408>
- Mardani, A., Nikoosokhan, S., Moradi, M. ve Doustar, M. (2018). The relationship between knowledge management and innovation performance. *The Journal of High Technology Management Research*, 29(1), 12-26. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2018.04.002>
- Nagy, A. ve Băbăiță, C. (2016). Factors influencing the orientation towards innovation in the hospitality industry – The case of romanian hotels. *Annals of the University of Oradea, Economic Science Series*, 25(1), 584-595. Erişim adresi: <https://ideas.repec.org/a/ora/journal/v1y2016i1p584-595.html>
- Neuman, W. L. (2010). Toplumsal Araştırma Yöntemleri I-II, Çev. Özge, S. Yayın Odası Yayınları, İstanbul.
- OECD, EUROSTAT. (2006). Oslo Kılavuzu: Yenilik Verilerinin Toplanması ve Yorumlanması İçin İlkeler. Çev.: TÜBİTAK, Ankara: TÜBİTAK Yayın. Erişim adresi: https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/BTYPD/kilavuzlar/Oslo_3_TR.pdf

- Oturakçı, M. (2018). İşletmelerde İnovasyon Faaliyetlerini Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi ve Önceliklendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 1-8. Doi: <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.508075>
- Özdemir, L. ve Sönmez, R. V. (2018). Örgütsel Kültürün Ürün İnovasyonu Üzerinde Etkisine Yönelik Bir Araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 9(21), 14-26. Doi: <https://doi.org/10.21076/vizyoner.397624>
- Özgüner, M., ve Özgüner, Z. (2018). Tedarikçi İlişkilerinin İnovasyona Etkisi: Gaziantep Organize Sanayi Bölgesi'nde Bir Araştırma. *Manas Journal of Social Studies*, 7(3), 442-454. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mjss/issue/43001/520564>
- Porter, M. E. (1990). The competitive advantage of nations. *Competitive Intelligence Review*, 1(1), 1-14. Erişim adresi: http://www.economie.ens.fr/IMG/pdf/porter_1990_-_the_competitive_advantage_of_nations.pdf
- Ruan, A., Hong, W. ve Jin, J. (2010). The impact of motivation on employee innovative behaviour and the disparity analysis: An empirical study of Zhejiang Province in China. *IEEE International Conference on Management of Innovation & Technology*, 652-657. Doi: [10.1109/ICMIT.2010.5492741](https://doi.org/10.1109/ICMIT.2010.5492741)
- Satı, Z. E. ve Işık, Ö. (2011). İnovasyon Ve Stratejik Yönetim Sinerjisi: Stratejik İnovasyon. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 538-559. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/cbayarsos/issue/4067/53705>
- Selznick, B. S. ve Mayhew, M. J. (2018). Measuring undergraduates' innovation capacities. *Research in Higher Education*, 59(6), 744-764. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11162-017-9486-7>
- Sevüktekin, M., Nargeleçekenler, M. ve Çetin, I. (2012). Uludağ Üniversitesi Öğrencilerinin Sosyo-Ekonomik Profil Araştırması. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2, 99-128. Erişim adresi: <https://kutuphane.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php?pdf=0018129&lng=1>
- Şimşek, H. (2019). Pazar yönlülük ve inovasyonun performans üzerindeki etkisi: Antalya'da bir araştırma. *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 3(6), 107-128. Erişim adresi: http://www.uludag.edu.tr/dosyalar/iubfdergi/genel-dokuman/2012_2/ASL06.pdf
- Taş, S. (2017). İnovasyon, eğitim ve küresel inovasyon endeksi. *Bilge Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 1(1), 99-123. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/busad/issue/31102/336639>
- Taşkın, E., ve Kahraman, H. (2016). Kobi'lerdeki İnovasyonu Arttırmada Pazar Yönlülük, Girişimci Yönlülük ve İşletmeler Arası İşbirliğinin Bütünsel Etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 535-555. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/dpusbe/issue/27228/342408>
- Timmerman, J. C. (2009). A systematic approach for making innovation a core competency. *The Journal for Quality and Participation*, 31(4), 4-10.
- Trott, P. (1998). Innovation Management & New Product Development, *Financial Times*, Pitman Publishing.
- Türk Dil Kurumu (2021). Erişim adresi: <https://sozluk.gov.tr/>
- Unger, M. ve Polt, W. (2017). The Knowledge Triangle between Research, Education and Innovation—A Conceptual Discussion. *Foresight and STI Governance*, 11(2), 10-26. Doi: [10.17323/2500-2597.2017.2.10.26](https://doi.org/10.17323/2500-2597.2017.2.10.26)
- Unsworth, K. L. ve Parker, S. (2003) *Proactivity and Innovation: Promoting a New Workforce for the New Workplace*. In: Holman, David and Wall, Toby D. and Clegg, Chris W. and Sparrow, Paul and Howard, Ann, (eds.) *The New Workplace: A Guide to the Human Impact of Modern Working Practices*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 175-196.
- Wei X., Liu X. ve Sha, J. (2019) How Does the Entrepreneurship Education Influence the Students' Innovation? Testing on the Multiple Mediation Model. *Frontiers in Psychology*. 10:1557. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01557>
- Yılmaz, O. (2020). İnovasyon Yönetimi, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Yüksel, A., Uçkun, G., Dinçel, G., ve Demir, B. (2013). İnovasyon Yeteneğinin Artırılmasında Üniversite Sanayi İşbirliği ve Meslek Yüksekokullarının Rolü. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 3(4), 21-28. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejovoc/issue/5389/73082>
- Zhou, G. ve Luo, S. (2018). Higher education input, technological innovation, and economic growth in China. *Sustainability*, 10(8), 1-15. Doi: <https://doi.org/10.3390/su10082615>



Journal of Turkish Operations Management

Güvenilirlik ve kullanılabilirliğe dayalı sürdürülebilir sistem tasarımı: yeni bir yaklaşım

Merve Uzuner Şahin^{1*}, Orhan Dengiz², Berna Dengiz³

¹ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: muzuner@baskent.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5660-739>

² Endüstri Mühendisliği Bölümü, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: orhan.dengiz@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0814-2463>

³ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: bdengiz@baskent.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2806-3308>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 04.04.2021
Revize: 26.04.2021
Kabul: 19.05.2021

Anahtar Kelimeler:

Sistem Güvenilirliği,
Yaşam İmzası,
Görelî Önem İndeksi,
Kullanılabilirlik

Özet

Günümüz rekabet koşullarında üretim sistemlerinde sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla sistem güvenilirliğinin ve kullanılabilirliğinin artırılması için farklı yöntem arayışları araştırmacıların üzerinde çalıştığı önemli bir konudur. Sistem performansının analizi ve iyileştirilmesinde kullanılan en önemli kriterlerden birinin sistem güvenilirliği olduğu bilinmektedir. Güvenilirlik değeri yüksek olması istenen bir kriter olup sistemde üretilen ürün miktarını doğrudan etkiler. Sistem güvenilirliğinin hesaplanması amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan yapı fonksiyonuna dayalı güvenilirlik hesabı problemin karmaşıklığını artırmaktadır. Bu nedenle, sistem güvenilirlik hesabının daha kolay ve daha kısa sürede yapılabilmesini sağlamak amacıyla alternatif yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla literatürde önerilen yeni bir yöntem ‘yaşam imzası’ yöntemidir. Bir sistemin güvenilirliğinin artırılması için sistem güvenilirliği üzerinde en yüksek etkiye sahip olan bileşenin belirlenmesi, güvenilirlik artışını sağlayan tasarımın elde edilmesinde önemli bilgi sağlamaktadır. ‘Görelî bileşen önem indeksi’ bu amaçla kullanılan bir belirleyicidir. Bu çalışmada, her iki yöntem birlikte kullanılarak sistem güvenilirliği ve dolayısıyla kullanılabilirliği artırılmıştır. Böylece, önceden belirlenen dönemler için sistemin üretim miktarı istenilen düzeyde tutabilmektedir. Önerilen bu yaklaşım bir akü üretim hattında uygulanarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Sustainable system design based on reliability and availability: a new approach

Article Info

Article History:

Received: 04.04.2021
Revised: 26.04.2021
Accepted: 19.05.2021

Keywords:

System Reliability,
Survival Signature,
Relative Importance Index,
Availability

Abstract

Different methods for increasing system reliability and availability is an important issue researchers are working on, in order to ensure sustainability in production systems within today's competitive conditions. One of the most important criteria known and used in analysis and improvement of system performance is system reliability. The high reliability value of a system is a desired criterion that directly affects the amount of goods produced in the system. A widely used system reliability calculation; ‘reliability computation based on structure function’ contributes to the problem complexity, therefore it is necessary to develop alternative methods for system reliability computation. One of these methods is the survival signature method. Determining the component which affects system reliability most provides important information in obtaining the design that provides the increase of the reliability of a system. The relative component importance index is used for this purpose. In this study, both methods were used together in order to increase system reliability and thus productivity. The production amount of the system can be kept at the desired level for predetermined periods. Furthermore, this proposed approach is applied in a battery production line and the results are discussed.

1. Giriş

Günümüzde teknolojiye yaşanan hızlı gelişmeler, başta üretim sistemleri olmak üzere çoğu sektörde büyük değişimlerin yaşanmasına sebep olmuştur. Üretim sistemlerinin karmaşık yapısı ve üretim süreçlerini iyileştirerek kullanılabilirliği artırma gereği, üretim süreçlerinin daha etkin bir şekilde değerlendirilmesinin önemini artırmıştır. Karmaşık sistemlerde bileşen sayısı arttıkça, örneğin istasyonlarda paralel ve seri bağlı makinelerin sayısı, ilişkilerin kontrolü zorlaşmaktadır. Örneğin, akü üretim hatlarında, uzun süreli kimyasal işlemlerin yanı sıra mekanik ve elektronik işlemlerin bulunması ve bu işlemlerin bulunduğu istasyonlarda paralel ve seri bağlı yapılara gereksinim duyulması durumunda sistemin incelenmesi ve performans artışı sağlayabilecek yeni tasarımların elde edilmesi için farklı yöntemlere gereksinim duyulmaktadır. Literatürde birçok farklı performans ölçütü vardır. Yaygın olarak kullanılan performans ölçütlerinden biri sistem güvenilirliğidir. Güvenilirlik çalışmalarının başlangıcı, II. Dünya Savaşı'nda kullanılan ve hasar gören uçakların, görevden döndükten sonra hasarlı bölümlerinin incelenerek daha dayanıklı hale getirilmesi üzerinde yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Güvenilirlik teorisinde, 1950'lerin başında önemli ilerlemeler yaşanmış olsa da güvenilirlik teorisinin geliştirilmesindeki asıl ilerleme, Boeing'de istatistiksel bir araştırma ekibinin kurulmasıyla gerçekleşmiştir. 1960'ların başında büyüyen bu ekip, Boeing'de on yıl boyunca, modern Güvenilirlik Teorisinin temel kavramlarını, modellerini ve yöntemlerini geliştirmiştir (Samaniego, 2007). Güvenilirlik iletişim, ulaşım, elektrik güç sistemlerinin tasarımı gibi çoğu gerçek hayat probleminde yaygın olarak kullanılmakta olup bir ürün veya bir sistemin amacına uygun olarak çalışmasını ifade eder.

Literatürde üretim alanında makine ve hat bazında güvenilirlik ve kullanılabilirlik analizlerinin yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Elsayed (Elsayed, 1996), bir paketli gıda üretim hattının sistem güvenilirliği ve kullanılabilirliğini incelemiş ve makinelerin arıza oranları kullanılarak performans iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Gupta ve diğ. (2007), bir plastik boru üretim tesisinin güvenilirlik ve kullanılabilirlik analizini; Gupta ve diğ. (2008), bir kauçuk tüp üretim sisteminin kullanılabilirlik analizini gerçekleştirmiştir. Görkemli ve Kapan Ulusoy (2009, 2010), bir üretim sisteminin güvenilirlik ve kullanılabilirliğinin analiz edilmesi amacıyla bulanık bayesgil bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşım kapsamında makinelerin arıza ve bakım süreçlerindeki belirsizlikler dikkate alınmıştır. Garg ve diğ. (2010), otomobil endüstrisinde bir yağ karteri üretim sisteminin kullanılabilirliğini uygun bakım planlaması kullanılarak artırmıştır. Tsarouhas (2011), dört pizza üretim hattının arıza verilerini kullanarak hatların karşılaştırmalı performans analizini gerçekleştirmiştir. Tsarouhas (2012), bir yiyecek üretim hattında güvenilirlik, kullanılabilirlik ve bakım analizi üzerine çalışmıştır. Loganathan ve diğ. (2016), arızalanma ve tamir oranı ile üretim sistemi kullanılabilirliğini değerlendirmek için bir yöntem önermiş ve bir otomotiv üretim tesisinde uygulamıştır. Koçak ve İşçioğlu, (2018), bir meyve suyu dolmuş hattında güvenilirlik analizi yapmış ve üretim hatlarında arızalanan makineler için bakım faaliyetlerine ait alt yapının kurulmasını amaçlamışlardır. Literatürdeki bu çalışmalarda güvenilirlik genellikle tamir bakım politikaları için kullanılmıştır. Uzuner Şahin, Dengiz ve Atalay (2020), makine arıza ve tamir sürelerinin bulanık olduğu durum için sistemin performansını (güvenilirlik değerini) klasik yöntem olan yapı fonksiyonu ve bulanık kullanılabilirlik yaklaşımı ile analiz etmiş ve daha yüksek performansa sahip yeni bir sistem tasarımı önermişlerdir.

Sistem güvenilirliği, uzun yıllardır bileşenlerin durumları ve sistem içerisindeki konumlarının dikkate alınmasına dayalı olan *Yapı Fonksiyonu* kullanılarak hesaplanmaktadır. Yapı fonksiyonuna dayalı güvenilirliğin temel teorisi ve araçlarının gelişmesine Birnbaum, Esary ve Saunders tarafından 1961'de yayınlanan çalışma öncülük etmiştir (Birnbaum, Esary ve Saunders, 1961). Bu çalışmada, bir sistemin performansı ile sistemi oluşturan bileşenlerin performansı arasındaki temel bağlantıyı incelemek için bir yapı fonksiyonu oluşturulmuştur. n bileşenden oluşan bir sistemin tüm olası durum vektör uzayı $\{0,1\}^n$ ve sistemin durumu, yapı fonksiyonu $\phi: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$ ile gösterilir. Yani, n bileşenden oluşan bir sistem için toplamda 2^n farklı bileşen durumu (kombinasyonu) mevcuttur. Bu yöntem karmaşık sistem tasarımları için hesaplaması neredeyse imkansız bir karmaşıklık oluşturmaktadır (Samaniego, 2007). Bu nedenle, daha kolay uygulanabilir ve makul sürede hesaplanabilir yeni güvenilirlik hesaplama yöntemleri araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Samaniego (Samaniego, 1985), sistem güvenilirlik hesaplamasının sistem tasarımından bağımsız olarak yapılabileceğini araştırmış ve *Sistem İmzası* kavramını geliştirmiştir. Sistem güvenilirliğinin, bileşenlerinin sistem içerisinde buldukları konumdan bağımsız olarak hesaplanması, sistem tasarımında yapılan değişikliklerin etkilerinin daha hızlı ve kolay şekilde görülebilmesini sağlamaktadır. Bulut ve Yaman (2013, 2014), aynı ve farklı boyutlu tutarlı sistemlerin *sistem imzası* ile nasıl karşılaştırdıklarını incelemiştir. Sistem imzası, bileşenlerin özdeş özellikte olduğu sistemlerde kullanılmakta olup sisteme özgü bir vektördür. Dolayısıyla, sistem imzası kavramında, bileşenlerin özdeş olduğu (homojen bileşenler) durum, diğer bir deyişle sistemde tek bir bileşen türü olduğu varsayımı kullanılmaktadır. Diğer yandan, her bir alt sistemde aynı tür bileşenin bulunduğu durumda da sistem imzası her bir alt sistem için ayrı ayrı kullanılabilir. Ancak, gerçek hayat problemlerinin çoğunda sistem veya alt sistemler içerisinde özdeş

bileşenler yerine farklı özelliklere sahip bileşenler (heterojen bileşenler) kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu tür bileşenlerin kullanıldığı sistemlerin güvenilirliklerinin hesaplanması için sistem imzası kavramı temeline dayanan ve *Yaşam İmzası (Yİ)* adı verilen yeni bir hesaplama yöntemi 2012 yılında Coolen ve Coolen-Maturi tarafından önerilmiştir (Coolen ve Coolen-Maturi, 2012). *Yİ*, sistem tasarımındaki değişikliklerin etkisinin hızlı ve kolay şekilde görülebilmesini sağlar ve birden çok bileşen türünün olduğu sistemler için kullanılabilir (Feng, Patelli, Beer ve Coolen, 2016).

Sistemler genellikle sistem performansı üzerinde farklı derecede önemi olan bileşenlerden oluşmaktadır (Kuo ve Zhu, 2012). Sistem güvenilirlik analizinde, *Bileşen Önemi (Component Importance)* ölçütü, sistemin tasarım, iyileştirme ve kontrol aşamaları için oldukça kullanışlıdır. Bileşen önemi yüksek olan bir bileşenin güvenilirliğinin yüksek veya düşük olması sistem güvenilirliği üzerinde yüksek etkiye sahiptir. Amaca bağlı olarak, literatürde birçok farklı önem ölçütü tanımlanmıştır. Bileşen önemi ölçütü, sistem bileşenlerinin önem düzeylerinin ölçülmesine ve sistemdeki en "*kritik*" bileşenin belirlenmesine olanak sağlar. Sistemdeki her bir bileşenin arızalanma durumlarının sistem üzerindeki etkileri incelenir ve sistem içerisindeki zayıf noktalar tespit edilir. Bileşen önemi ölçütü kavramı ilk olarak Birnbaum tarafından 1968 yılında tanımlanmış ve yapısal, güvenilirlik ve yaşam süresi önem ölçütleri olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır (Birnbaum, 1968). Literatürde önerilen bileşen önemi ölçütlerinden bazıları, yapı önemi ölçütü (Borgonovo, 2007), Fussell-Vesely önemi ölçütü (Fussell, 1975; Vesely, 1970), kısmi önem ölçütü (Borgonovo ve Apostolakis, 2001) ve arıza kritiklik indeksidir (Wang, Loman ve Vassiliou, 2004). Kuo ve Zhu (2012) güvenilirlik önem ölçümlerini incelemiştir. Dutuit ve Rauzy tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, literatürde yer alan önem ölçülerinin matematiksel ve algoritmik temellerine değinilmiş ve hangi önem ölçütünün hangi özellikteki sistemler için uygun olduğu belirtilmiştir (Dutuit ve Rauzy, 2014). Feng ve diğ. (2016), bileşenlerin arızalanma sürelerinde belirsizlik olduğu durum için *Yİ* kullanarak sistem güvenilirliğini hesaplamış ve yeni bir bileşen önem ölçütü önermiştir. Li, Coolen, Zhu ve Tan (2020), bileşen güvenilirlik ölçütünün sistem güvenilirliğinin en iyilenmesi ve optimum bakım politikaları geliştirme amacıyla kullanımının önemine değinmiştir. Feng ve diğ. (2016), bileşen arızalanma sürelerindeki belirsizliği dikkate alarak sistem güvenilirliğinin hangi aralık içerisinde değer aldığını ve sistemin kritik bileşenini belirlemiştir. Ancak, mühendislik alanında yapılan çalışmalarda kritik bileşenin belirlenmesinin yanısıra sistemin güvenilirliğini arttırmak amacıyla yeni bir tasarım önerisi gerekli olmaktadır.

Yukarıda yer alan çalışmalarda olduğu gibi literatürde güvenilirlik, genel olarak klasik yaklaşımla, *Yapı Fonksiyonuna* dayalı olarak, hesaplanmaktadır. Literatürde yer alan bu çalışmalarda güvenilirlik, sistemlerin bakım onarım çalışmalarına temel oluşturmak veya sistem performansının incelenmesi amacıyla hesaplanmaktadır. Bizim çalışmamızda önerilen yaklaşımın amacı; sistemin zaman içinde yıpranmaya bağlı olarak değişen güvenilirlik ve dolayısıyla kullanılabilirlik değerlerinin önceden hesaplanarak sistemin üretebileceği ürün sayısının zamana bağlı izlenmesini sağlamak ve böylece gerekli zamanlarda sistemde iyileştirme yapmaktır.

Sistemlerin iyileştirilmesi amacıyla yeni tasarımlar benzetim modeli kullanılarak darboğaz analizleri ile de elde edilebilmektedir. Bilindiği üzere benzetim modelinin kurulması ve çalıştırılması zahmetli, zaman isteyen ve dolayısıyla maliyetli bir yöntemdir. Sistem içindeki tüm stokastik (olasılıklı) proseslerle ilgili veri toplanması ve bu verilere uygun dağılım modellerinin belirlenmesi benzetim modelinin temel girdilerini elde etmek için gerekli ve önemli bir adımdır. Çoğu zaman veri toplanmasında problemler yaşanmakta yada uzun zamanlar almaktadır. İmalat sektöründe sağlıklı veriye erişim zorluğu en çok karşılaşılan problemlerden biridir. Öte yandan güvenilirliğin ve kullanılabilirliğin uzun dönemler için benzetim modeli ile izlenmesi benzetim modelinin karmaşıklığını ve dolayısıyla çalışma zamanını çok artırmaktadır. Dolayısıyla veri gereksinimini azaltacak, daha basit ve hızlı bir yöntem arayışı bu çalışmanın motivasyonunu oluşturmuştur. Önerilen yaklaşımda sadece arızalanma dağılımları ve tamir oranlarının bilinmesi yeterli olmaktadır. Bu yönüyle bu çalışmada ilk defa önerilen bu yaklaşım üretim sistemlerinin tasarımında etkin bir şekilde kullanılabilir olacaktır.

Bu çalışmada, istenen güvenilirlik değerini sağlayan bir sistem tasarımı elde etmek amacıyla bileşen önem ölçütü olarak *Görelî Önem İndeksi (GÖİ)* ile sistemdeki en kritik bileşen belirlenmiş mevcut sistem güvenilirliği *Yİ* yöntemiyle hesaplanmıştır. Buradan hareketle sistemin güvenilirliğini arttırmak amacıyla yeni bir sistem tasarımı önerilmiştir. Daha yüksek güvenilirliğe sahip yeni bir sistem tasarımı elde ederek üretim artışını sağlamak için *Yİ* yöntemi ve bileşen önem ölçütü bildiğimiz kadarıyla ilk kez bu çalışmada birlikte kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda bu amaçla ne birlikte ne de ayrı ayrı kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde önerilen yöntem ile ilgili açıklamalar verilmiştir. Üçüncü bölümde, bir gerçek hayat problemi ele alınarak daha yüksek güvenilirliğe sahip yeni sistem tasarımı önerilen yöntemle elde edilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

2. Sistem güvenilirliğinin artırılması için bir yaklaşım

Güvenilirliği yüksek yeni bir sistem tasarımı elde etmek için bu çalışmada yeni bir yaklaşım önerilmektedir. YI ve $GÖİ$ 'nin birlikte kullanıldığı bu yöntemde öncelikle sistemde arızaların ortaya çıktığı bileşenler belirlenir. Sistem güvenilirliği Bölüm 2.1'de açıklandığı şekilde YI ile hesaplanır. Ardından her bir bileşenin $GÖİ$ 'si hesaplanarak güvenilirlik üzerinde etkisi en yüksek olan bileşen belirlenir ve paralel bağlı yapı içerisinde, varsa sistemin kısıtları dikkate alınarak, ilgili bileşen sayısı artırılır. Böylece daha yüksek güvenilirliğe sahip yeni sistem tasarımı elde edilir. $GÖİ$ 'si en yüksek olan birden fazla bileşen varsa bu durumda arızalanma oranlarına bakılarak arızalanma oranı en yüksek olandan başlanarak sistemin güvenilirliği istenilen düzeye ulaşana dek işlemlere devam edilir. Önerilen yaklaşım için kullanılacak yöntemler sırasıyla açıklanmıştır.

2.1 Yaşam imzası

Son yıllarda giderek ilgi gösterilen bir yöntem olan yaşam imzası, farklı türdeki bileşenlerin bile sistem güvenilirlik hesabını kolaylaştırmaktadır. Bu yeni hesaplama yöntemi, birden fazla türde bileşenden oluşan karmaşık sistemleri analiz etmek için ilk kez 2012 yılında Coolen ve Coolen-Maturi tarafından önerilmiştir (Coolen ve Coolen-Maturi, 2012). Ardından, yaşam imzasının farklı özellikteki sistemler için uygulamaları yapılmıştır (Aslett, Coolen ve Wilson, 2015; Coolen, Coolen-Maturi ve Al-Nefaiee, 2014; Coolen ve Coolen-Maturi, 2015).

n adet bileşenden oluşan tutarlı bir sistemde i 'inci bileşenin durumu x_i ile gösterilir ve bileşen çalışır durumda ise $x_i = 1$; değilse $x_i = 0$ olarak tanımlanır. Bu durumda, sistemde yer alan bileşenlerinin durum vektörü, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \{0, 1\}^n$ olarak gösterilir. Sistem durumu, bileşen durum vektörüne dayalı olarak $\phi = \phi(x): \{0, 1\}^n \rightarrow \{0, 1\}$ şeklinde tanımlanır. Burada, $\phi(x)$ sistemin yapı fonksiyonu olmak üzere sistemin durumu, sistem çalışır durumda ise $\phi = 1$; değilse $\phi = 0$ değerini alır. Toplam n adet bileşenden oluşan ve $K \geq 2$ tür bileşen bulunan bir sistemde n_k her bir bileşen türüne ait toplam bileşen sayısını gösterir ve $n = \sum_{k=1}^K n_k$ 'dir. Sistemde yer alan aynı türdeki bileşenlerin arızalanma zamanlarının bağımsız ve özdeş olarak dağıldığı veya değişebilir olduğu varsayılmaktadır. Durum vektöründe bileşen sıralamasının rastgele yapılması sayesinde aynı tür bileşenler birlikte gruplanabilir. Böylelikle, i 'inci tür bileşenlerin durumları $\underline{x}^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_{n_k}^k)$ olarak gruplandığında, durum vektörü $\underline{x} = (\underline{x}^1, \underline{x}^2, \dots, \underline{x}^K)$ şeklinde yazılır. Coolen ve Coolen-Maturi (2012) tarafından tanımlanan YI , $l_k = 0, 1, \dots, n_k$ ve $k = 1, 2, \dots, K$ olduğu durum için $\Phi(l_1, l_2, \dots, l_K)$ şeklinde gösterilir ve her bir k tür bileşen için n_k adet içerisinde l_k tanesi çalışır durumdayken sistemin çalışma olasılığını ifade eder ($k \in \{1, 2, \dots, K\}$). l_k bileşen içerisinde $x_i^k = 1$ olduğu toplam $\binom{n_k}{l_k}$ adet \underline{x}^k vardır, böylece $\sum_{i=1}^{n_k} x_i^k = l_k$ ($k = 1, 2, \dots, K$) olur ve S_{l_1, l_2, \dots, l_K} , sistemin tamamı için mümkün tüm durum vektörlerinin kümesini gösterir.

Farklı türlerdeki bileşenlerin rassal arıza sürelerinin tamamen bağımsız olduğunu ve ayrıca aynı tür bileşenlerin birbirleri arasında değiştirilebilir olduğu varsayımı altında, YI aşağıdaki şekilde yazılmaktadır:

$$\Phi(l_1, l_2, \dots, l_K) = \left[\prod_{k=1}^K \binom{n_k}{l_k} \right]^{-1} \times \sum_{\underline{x} \in S_{l_1, l_2, \dots, l_K}} \phi(\underline{x}) \quad (1)$$

$C_k(t) \in \{1, 2, \dots, n_k\}$, t anında çalışır durumda olan k 'inci tür bileşen sayısını gösterir. Aynı türdeki bileşenlerin birikimli olasılık yoğunluk fonksiyonu bilindiği ve k 'inci tür bileşenler için $F_k(t)$ olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, farklı türdeki bileşenlerin arızalanma zamanlarının birbirinden bağımsız olduğu varsayımı ile,

$$\begin{aligned}
P\left(\bigcap_{k=1}^K \{C_k(t) = l_k\}\right) &= \prod_{k=1}^K P(C_k(t) = l_k) \\
&= \prod_{k=1}^K \binom{n_k}{l_k} \{F_k(t)\}^{n_k-l_k} \{1-F_k(t)\}^{l_k}
\end{aligned} \tag{2}$$

olur ve K tür bileşenin bulunduğu sistemin güvenilirlik fonksiyonu Eş. 3'de verilmektedir.

$$P(T_S > t) = \sum_{l_1=0}^{n_1} \dots \sum_{l_K=0}^{n_K} \left[\Phi(l_1, \dots, l_K) \prod_{k=1}^K \binom{n_k}{l_k} \{F_k(t)\}^{n_k-l_k} \{1-F_k(t)\}^{l_k} \right] \tag{3}$$

Eş. 3'te görüldüğü üzere, YI , sistemin yapısından bağımsız olarak yalnızca bir kez hesaplanır (Coolen ve Coolen-Maturi, 2012). Bu nedenle bu eşitlik NP-zor olan problemler için çözüm zamanı açısından büyük avantaj sağlamaktadır.

2.2 Görelî önem indeksi

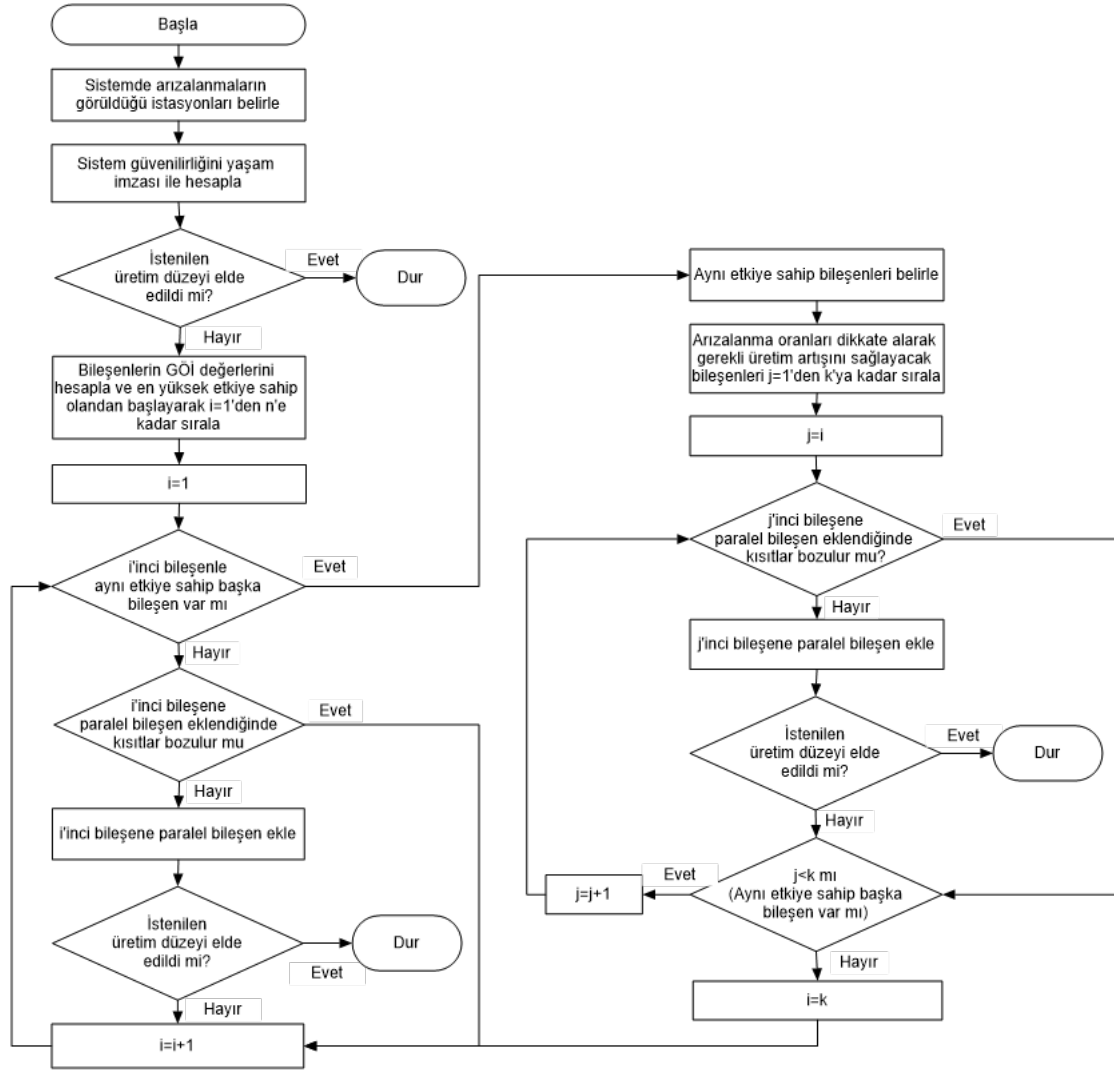
Sistem güvenilirliği üzerinde en yüksek etkiye sahip olan bileşenin (en önemli/kritik bileşen(ler)) belirlenmesi işlemi sistem güvenilirliğinin artırılmasında önemli bir yer tutar. Bu bileşen/lere paralel bir bileşen eklenerek güvenilirlik artışı sağlanabilir. Bu nedenle, sistem güvenilirliğinde kritik öneme sahip bileşen(ler)in belirlenmesi için literatürde çok sayıda önem ölçütü önerilmiştir (Borgonovo, 2007; Borgonovo ve Apostolakis, 2001; Fussell, 1975; Vesely, 1970). Önem ölçütleri, sistemde hangi bileşenlerin sistemin arızası üzerinde daha etkili olduğunu veya sistem güvenilirliğinin artırılması için daha önemli olduğunu gösteren sayısal bir sıralama sağlar. Bu çalışmada, Feng ve diğ. (2016) tarafından önerilen $GÖİ$ kullanılmıştır. $GÖİ$, herhangi bir i 'inci bileşen çalışır durumda iken sistemin çalışma olasılığı ile aynı i 'inci bileşen arızalı durumda iken sistemin çalışma olasılığı arasındaki fark olarak hesaplanır (Eş. 4):

$$GÖİ_i = P(T_S > t | T_i > t) - P(T_S > t | T_i \leq t) \tag{4}$$

$GÖİ_i$, her bir bileşenin sistem güvenilirliği üzerindeki etkisini ölçen bir değerdir. Örneğin, $GÖİ_i$ değeri büyük olan bileşen, belirli bir t anında sistem güvenilirliği üzerinde büyük etkiye sahiptir. t zamanında, en büyük $GÖİ_i$ değerine sahip bileşen en "kritik" bileşendir. Kritik bileşenin belirlenmesi, tamir-bakım süreçlerinin ve yeni bileşen alımlarının planlanmasında, sistemin yaşam ömrünün hesaplanmasında önemlidir.

2.3 Önerilen yaklaşımın akış diyagramı

Bu çalışmada önerilen ve YI ve $GÖİ$ 'nin birlikte kullanıldığı yöntem ile ilgili akış diyagramı Şekil 1'de verilmektedir. Bu kapsamda öncelikle sistemde arızaların ortaya çıktığı bileşenler belirlenir. Ardından, sistem güvenilirliği YI ile hesaplanır. Daha sonra her bir bileşenin $GÖİ$ 'si hesaplanarak güvenilirlik üzerinde etkisi en yüksek olan bileşen belirlenir ve paralel bağlı yapı içerisinde ilgili bileşen sayısı artırılarak daha yüksek güvenilirliğe sahip yeni sistem tasarımı elde edilir. $GÖİ$ 'si en yüksek olan birden fazla bileşenin olduğu arızalanma oranlarına bakılarak üretim miktarı istenilen düzeye ulaşana dek Şekil 1'de de görüldüğü gibi işlemlere devam edilir.



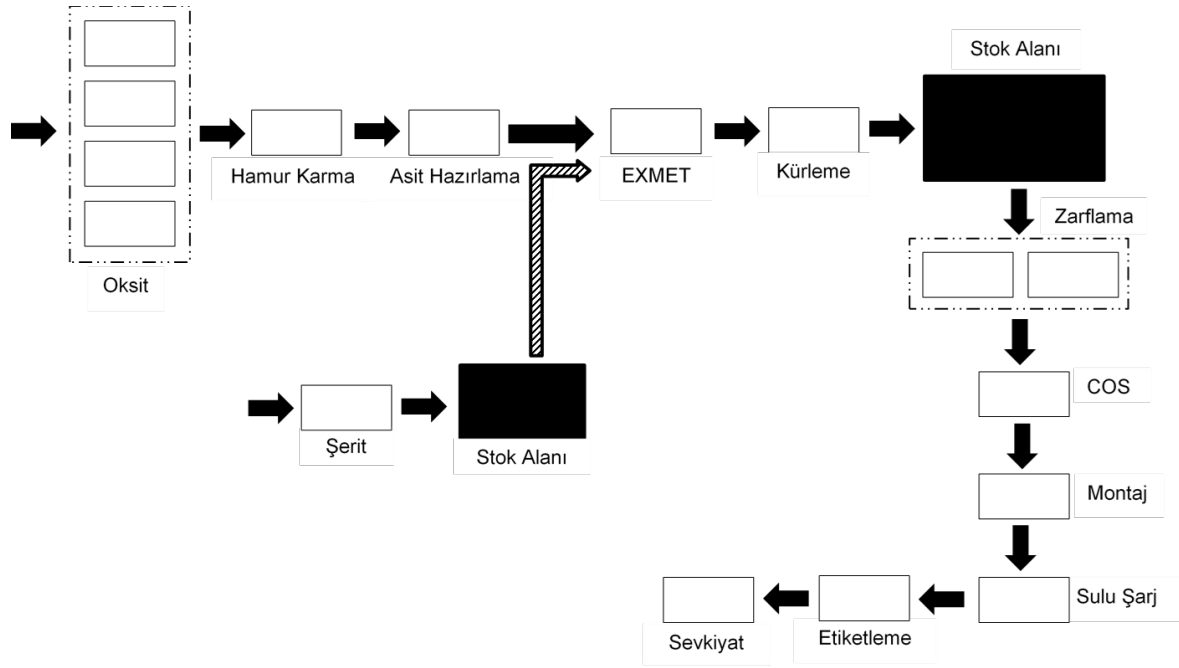
Şekil 1. Sürdürülebilir üretime sahip sistem tasarımı elde etmek için önerilen yaklaşımın akış diyagramı

3. Uygulama

Bu bölümde, bir akü üretim sistemi dikkate alınmıştır. Bu makalede önerilen yaklaşım kullanılarak, karmaşık bir yapıya sahip bir sistem olan bu akü üretim hattında güvenilirlik analizi ve daha yüksek güvenilirliğe sahip yeni sistem tasarımı elde edilebilmiştir. Böylece, sistemin yıpranma ve bozulmalarından kaynaklanan aylık üretim miktarındaki azalma dönemleri önceden izlenerek, belli bir plan dahilinde gerekli önlemler alınabilecektir.

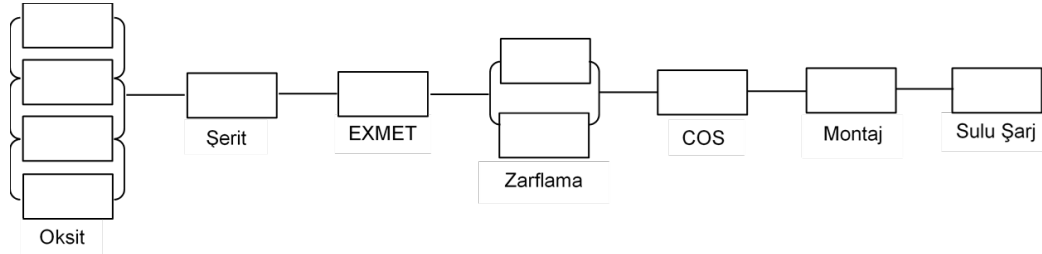
3.1 Problem tanımı: akü üretim hattı

Akü üretimi yapan bu firmada aylık ürün çıktısının en az 7000 adet olması istenmektedir (Uzuner, 2015). On iki iş istasyonundan oluşan bu akü üretim hattının şematik gösterimi Şekil 2’de verilmektedir. Oksit biriminde saf kurşun külçeleri eritilmekte ve oksidi giderilmektedir. Hamur karma biriminde, gelen kurşun oksit hamur formuna getirilmektedir. Asit hazırlama istasyonuna gelen hamurlar asit çözeltisiyle kaplanmaktadır. Şerit istasyonunda alışımlı kurşun külçelere çeşitli alışımlar eklenmektedir. Asit hazırlama ve şerit istasyonundan gelen asit kaplanmış hamurlar EXMET biriminde birleştirilerek fırınlanmaktadır. Fırınlanan plakalar kürlenmek için kür odalarına alınır. Kür odalarında belirli süre bırakılan plakalar sırasıyla zarflama, COS (Cost-On-Strap) ve montaj birimlerine uğrayarak hizalama ve görsel kontrol işlemleri gerçekleştirilmektedir. Sulu şarj istasyonunda, aküler sulu şarj edilerek asit seviyeleri kontrol edilmektedir. Kontrolenden geçen aküler etiket biriminde etiketlenerek depoya gönderilmektedir. Firma, mevcut üretim hattı ile aylık akü üretimi hedefine ulaşamamaktadır. Bu nedenle, ilgili dönemlerde sistem güvenilirliği artırılarak elde edilen yeni tasarım ile istenen üretim miktarına ulaşılması amaçlanmaktadır.



Şekil 2. Akü üretim hattının şematik gösterimi (Kaynak: (Uzuner, 2015))

Ele alınan bu üretim hattı bundan böyle sistem olarak geçecektir. Bu sistemde iş istasyonlarındaki makineler bileşen olarak adlandırılmıştır. Sistemde arızalanmaların görüldüğü istasyonlar Şekil 3'te verilmektedir. Sistem bileşenlerinin arızalanma dağılımları üstel dağılıma uygundur. Bu veriler gerçek sistem kayıtlarından elde edilen veriler olup, Uzuner (2015)' den alınmıştır. Her bir bileşen için dağılım parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Sistemde arızalanmaların ortaya çıktığı istasyonlar (Kaynak: (Uzuner, 2015))

Tablo 1. Arızalanma dağılım (üstel dağılım) parametreleri

Bileşen Adı	Sayısı (m_k)	Dağılım Parametresi (λ)
Oksit	4	0,000022
Şerit	1	0,000091
EXMET	1	0,000265
Zarflama	2	0,000342
COS	1	0,000548
Montaj	1	0,000851
Sulu Şarj	1	0,000182

Tablo 1'de yer alan bileşenler sırasıyla $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$ ve l_7 ile gösterilerek imza vektörü oluşturulmuştur. R paket programında *ReliabilityTheory* paketi kullanılarak sistemin YI 'si kolaylıkla hesaplanabilmektedir (Aslett, 2012;

Huang, Aslett ve Coolen, 2019). Sistemin arızalı olduğu durumlar $(\Phi(l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7) = 0)$ hariç sistemin YI 'si Tablo 2'de verilmektedir.

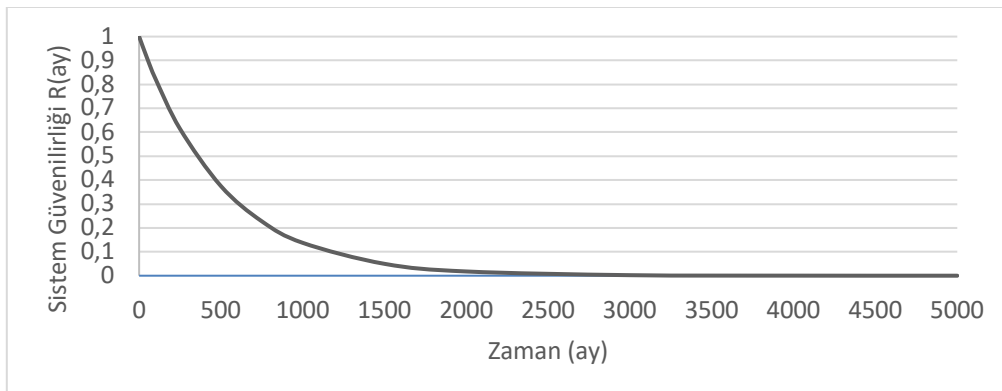
Tablo 2. Sistemin yaşam imzası

l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	$\Phi(l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7)$
1	1	1	1	1	1	1	1,00
1	1	1	2	1	1	1	1,00
2	1	1	1	1	1	1	1,00
2	1	1	2	1	1	1	1,00
3	1	1	1	1	1	1	1,00
3	1	1	2	1	1	1	1,00
4	1	1	1	1	1	1	1,00
4	1	1	2	1	1	1	1,00

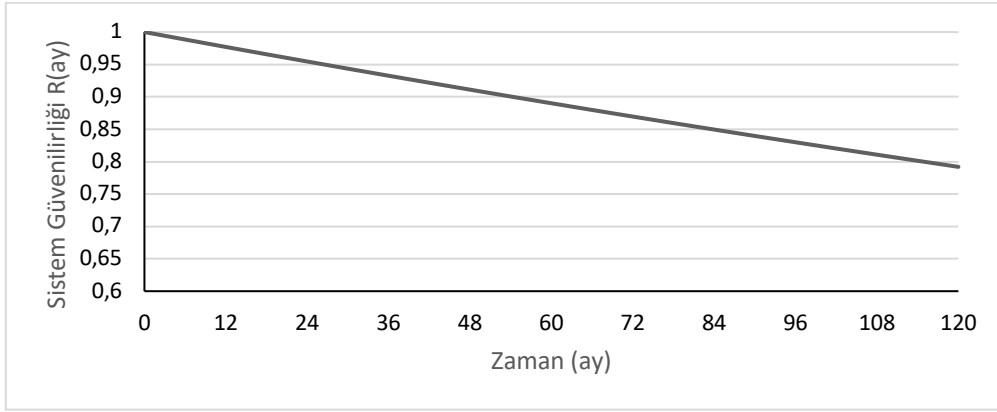
Sistemde mevcut bileşen sayıları $m_1 = 4, m_2 = 1, m_3 = 1, m_4 = 2, m_5 = 1, m_6 = 1$ ve $m_7 = 1$ 'dir. Sistemin YI 'si $l_1 \in \{0, 1, 2, 3, 4\}, l_2, l_3, l_5, l_6, l_7 \in \{0, 1\}$ ve $l_4 \in \{0, 1, 2\}$ için tüm olası kombinasyonlar dikkate alınarak hesaplanır ve durum vektörü $\underline{x} = (x_1^1, x_2^1, x_3^1, x_4^1, x_1^2, x_1^3, x_1^4, x_2^4, x_1^5, x_1^6, x_1^7)$. Örneğin, $\Phi(2, 1, 1, 2, 1, 1, 1)$ değeri hesaplanırken $x_1^1 + x_2^1 + x_3^1 + x_4^1 = 2, x_1^2 = 1, x_1^3 = 1, x_1^4 + x_2^4 = 2, x_1^5 = 1, x_1^6 = 1, x_1^7 = 1$ olan tüm olası \underline{x} vektörleri dikkate alınır. Bu özellikleri sağlayan toplam 6 olası durum vektörü tanımlanır ve bunların tamamında sistem çalışır durumdadır. Aynı türdeki bileşenlerin arızalanma dağılımlarının bağımsız ve özdeş olduğu ve farklı türde bileşenlerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımı nedeniyle bu 6 vektörün görülme olasılığı eşittir. Dolayısıyla, $\Phi(2, 1, 1, 2, 1, 1, 1) = 6/6 = 1$. Eş. 3'e göre elde edilen sistem güvenilirliği fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$P(T_S > t) = \sum_{l_1=0}^4 \sum_{l_2=0}^1 \sum_{l_3=0}^1 \sum_{l_4=0}^2 \sum_{l_5=0}^1 \sum_{l_6=0}^1 \sum_{l_7=0}^1 \left[\Phi(l_1, \dots, l_7) \prod_{k=1}^7 \binom{m_k}{l_k} \{F_k(t)\}^{m_k-l_k} \{1-F_k(t)\}^{l_k} \right] \quad (5)$$

Burada $F_k(t)$, bileşenin kümülatif yaşam zamanı dağılımı yani başka bir deyişle arızalanma olasılığı olarak ifade edilir. Sistem güvenilirliği fonksiyonunun genel formu Şekil 4'te; 120 aylık kısmı ise Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4. Güvenilirlik fonksiyonunun genel formu



Şekil 5. Güvenilirlik fonksiyonunun 120 aylık bölümü

Üretim miktarı, sistemin üretim kapasitesi ve kullanılabilirliği dikkate alınarak elde edilebilmektedir (Elsayed, 1996). Kullanılabilirlik, bir sistemin veya sistemde yer alan bileşenin, belirli bir zamanda veya belirli bir zaman dilimi içinde, işlevine uygun şekilde çalışma olasılığıdır (Verma, Srividya ve Prabhu Gaonkar, 2007) ve sistemin başarısızlık oranı ($h(t)$) ve tamir oranı (μ) kullanılarak Eş 8'e göre hesaplanır (Elsayed, 1996). Sistemin arıza olasılık fonksiyonu, sistem güvenilirlik fonksiyonun türevi ile Eş 6'ya göre elde edilir. Sistemin başarısızlık oranı ise arıza olasılık fonksiyonu ve güvenilirlik fonksiyonu kullanılarak Eş 7'ye göre hesaplanır.

$$f(t) = \frac{-dR(t)}{dt} \quad (6)$$

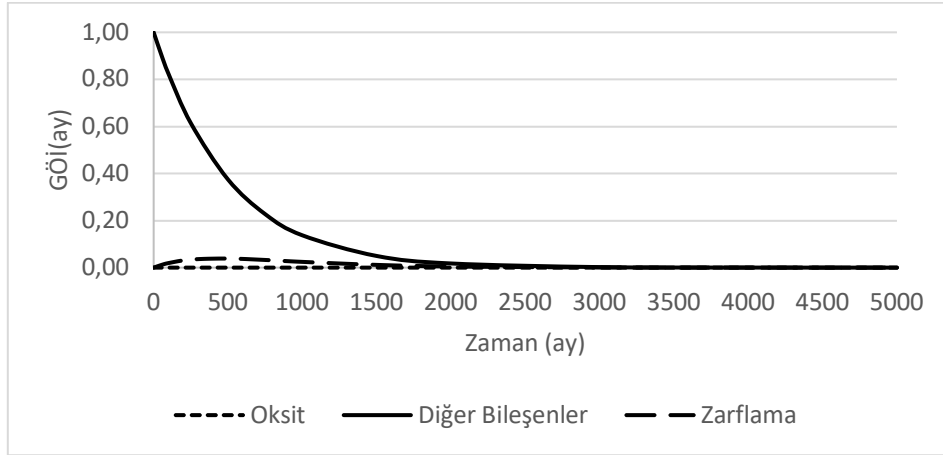
$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (7)$$

$$A(t) = 1 - \frac{h(t)}{h(t) + \mu} \quad (8)$$

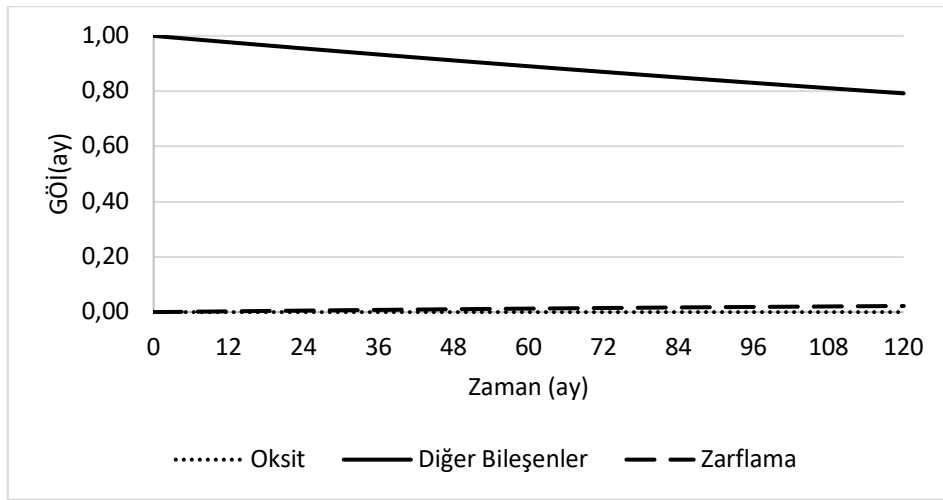
Mevcut sistem tasarımı ile sistem güvenilirliğine bağlı olarak sistem kullanılabilirliği ve üretilen ürün miktarının firmanın beklentisini karşılayıp karşılamadığı incelenir. Firmadan alınan bilgiye göre bu üretim hattının aylık akü üretim kapasitesi 7500 akü/ay'dır. Üretim miktarı, kullanılabilirlik ve sistemin üretim kapasitesinin çarpımıyla elde edilir (Elsayed, 1996). Mevcut sistem tasarımının $t=1$ zamanı için güvenilirliği 0,9980 ve sistem kullanılabilirliği 0,8920 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda $t=1$ zamanı için üretim miktarı, $0,8920 \times 7500 = 6690$ akü olup firma beklentisinin altında bir değerdir. Firmanın üretim beklentisini karşılayabilmesi için bir sistem iyileştirme çalışmasına ihtiyaç duyduğu açıkça görülmektedir.

Birinci iyileştirme çalışması:

Çalışmanın bu kısmında sistem güvenilirliği üzerinde en yüksek etkiye sahip olan bileşen bulunarak sistemde güvenilirlik artışı sağlayacak yeni tasarım Şekil 1'de verilen akış şemasına göre elde edilecektir. Bu amaçla her bir bileşenin $G\ddot{O}I$ değeri fonksiyonu genel olarak 5000 ay için Şekil 6'da, 120 ay için ise Şekil 7'de gösterilmiştir.

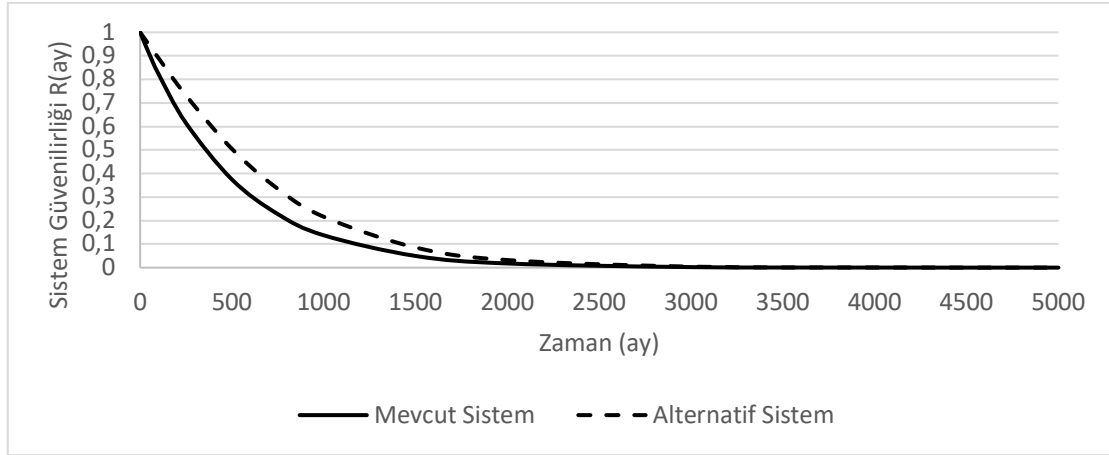


Şekil 6. GÖİ fonksiyonları

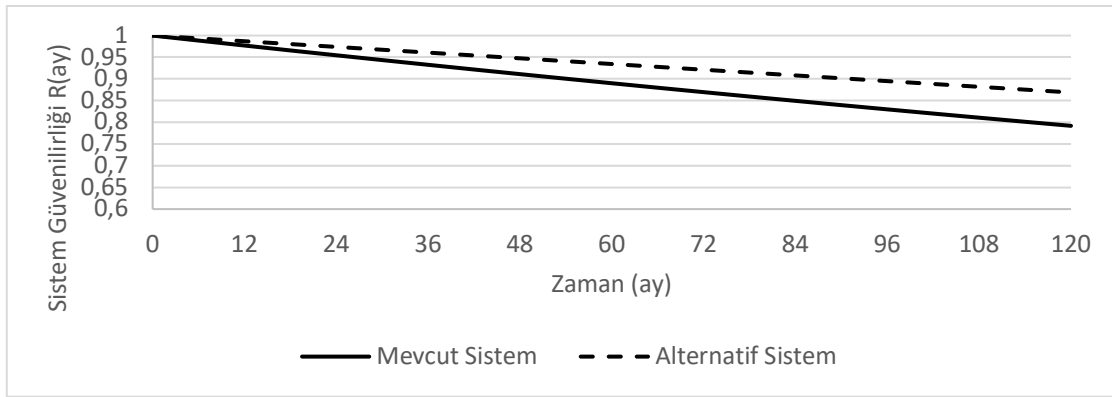


Şekil 7. 120 aylık GÖİ fonksiyonları

Şekil 7 incelendiğinde, Oksit bileşeninin $GÖİ$ değeri 0 değerinden başlayıp 0,000000014 değerine doğru giderken, Zarflama bileşeninin $GÖİ$ değeri ise 0 değerinden başlayıp 0,022210839 değerine doğru gitmektedir. Sistemde seri bağlı olarak yer alan Şerit, EXMET, COS, Montaj ve Sulu Şarj bileşenlerinin $GÖİ$ değeri eşit değerde ve diğerlerine göre çok yüksek olup aynı azalma eğilimine sahiptir (Şekil 6 ve Şekil 7'de diğer bileşenler adıyla gösterilmiştir). Bu bileşenlerin herhangi birinin arızalanması sistem güvenilirliğini en yüksek şekilde etkiler. Bu durumda, en yüksek $GÖİ$ değerine sahip diğer bileşenler olarak adlandırılan bileşenler arasından sistem için farklı zayıflık noktası oluşturan -örneğin arızalanma oranları- bilgileri kullanılarak sistem tasarımında iyileştirme sağlanabilir. Bu nedenle, diğer bileşenler arasında en yüksek arızalanma oranına sahip olan Montaj bileşeninin öncelikle ele alınması gereken bileşen olduğuna karar verilmiştir. Bu durumda, montaj bileşenine paralel bir bileşenin eklenip eklenemeyeceği kararı sistem kısıtlarına uygunluğu dikkate alınarak verilir. Uygun olması durumunda paralel bileşen eklenmesiyle sistemde sağlanacak güvenilirlik artışı hesaplanarak yeterli iyileşmenin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Mevcut duruma göre sistem güvenilirliğinde elde edilen iyileşme (alternatif durum) genel olarak 5000 ay için Şekil 8'de, özel durumda 120 ay için Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 8. Mevcut ve alternatif sistem için sistem güvenilirlik fonksiyonları



Şekil 9. 120 aylık mevcut ve alternatif sistem güvenilirlik fonksiyonları

Şekil 8 ve Şekil 9'da görüldüğü üzere, önerilen alternatif sistemin güvenilirliği mevcut sisteme göre daha düşük bir azalış eğilimine sahiptir. Dolayısıyla sistem güvenilirliğinde elde edilen bu iyileşme ilgili üretim hattında üretilen akü sayısında artış sağlayacaktır. Daha önce açıklanan Eş 6-8 kullanılarak önerilen alternatif sistem için hesaplanan kullanılabilirlik değeri sistemin üretim kapasitesi ile çarpılarak üretim miktarı hesaplanmıştır. Böylece, önerilen alternatif sistem tasarımının $t=1$ zamanı için güvenilirliği 0,9989 ve sistem kullanılabilirliği 0,9363 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda $t=1$ zamanı için üretim miktarı, $0,9363 \times 7500 = 7022$ akü olup firma beklentisinin üstünde bir değerdir. Bu değer firmanın üretim beklentisini karşılayabilecek bir değer olup bu alternatif sisteme göre tasarım yapıldığında; zaman içinde bozulmalara bağlı olarak değişen sistem güvenilirliği ve ona bağlı hesaplanan kullanılabilirlik ile (Bkz. Şekil 12) elde edilen akü üretim sayıları Tablo 3'te verilmiştir. Örneğin, $t=1$ için üretim miktarı, $0,9363 \times 7500 = 7022$ iken $t=6$ için $0,9359 \times 7500 = 7019$ akü olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. Alternatif sistem tasarımı ile üretilebilecek akü sayıları

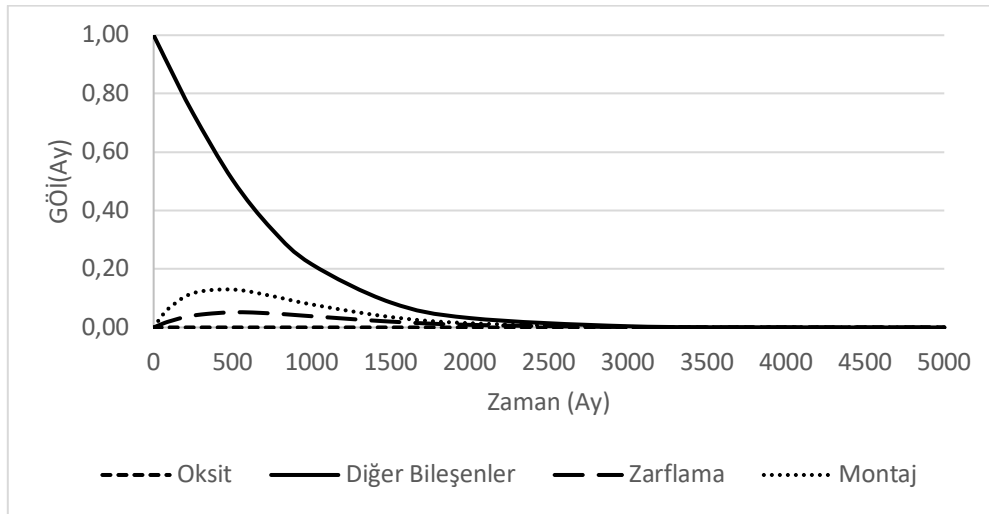
t (Ay)	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretim Miktarı	t (Ay)	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretim Miktarı
1	0,9989138	0,936353392	7022	20	0,9782123	0,934764516	7010
2	0,9978272	0,936267817	7022	21	0,9771199	0,934683006	7010
3	0,9967403	0,936182463	7022	22	0,9760273	0,934601702	7009
4	0,995653	0,93609733	7021	23	0,9749344	0,934520602	7008
5	0,9945653	0,936012416	7020	24	0,9738413	0,934439707	7008
6	0,9934773	0,935927722	7020	25	0,972748	0,934359016	7007
7	0,9923889	0,935843245	7019	26	0,9716545	0,934278528	7007
8	0,9913002	0,935758986	7018	27	0,9705608	0,934198241	7006
9	0,9902112	0,935674943	7018	28	0,9694669	0,934118156	7005

10	0,9891219	0,935591115	7017	29	0,9683728	0,934038271	7005
11	0,9880322	0,935507503	7016	30	0,9672785	0,933958586	7004
12	0,9869422	0,935424104	7016	31	0,9661841	0,9338791	7004
13	0,985852	0,935340918	7015	32	0,9650895	0,933799813	7003
14	0,9847614	0,935257945	7015	33	0,9639947	0,933720722	7002
15	0,9836706	0,935175183	7014	34	0,9628998	0,933641829	7002
16	0,9825794	0,935092631	7013	35	0,9618047	0,933563132	7001
17	0,981488	0,93501029	7013	36	0,9607095	0,933484629	7001
18	0,9803964	0,934928157	7012	37	0,9596141	0,933406322	7000
19	0,9793045	0,934846233	7011	38	0,9585187	0,933328208	6999

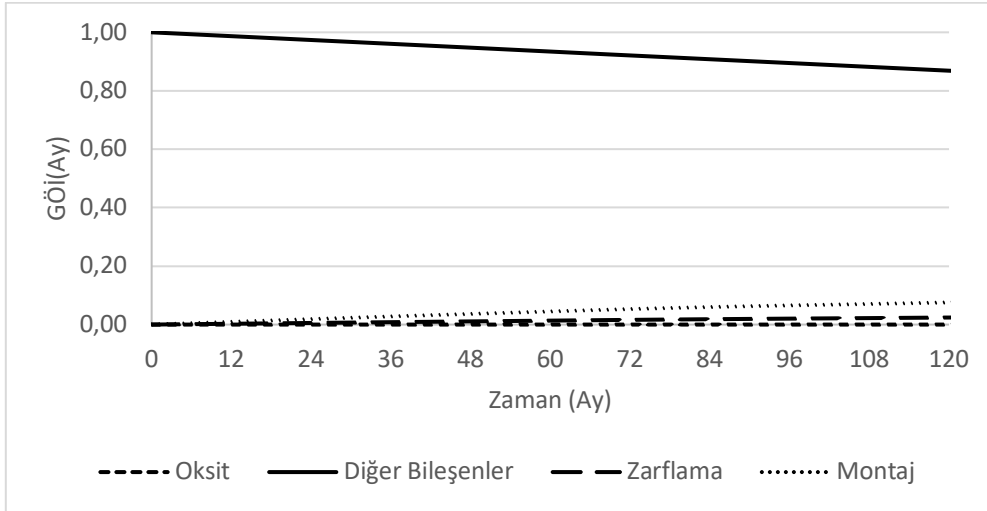
Önerilen alternatif sistemin güvenilirlik fonksiyonuna göre (Şekil 9) firmanın, gelecek 3 yıl boyunca hedeflediği 7000 akü miktarının altına düşmeyeceği görülmüştür (Bknz. Tablo 3). Ancak bu tabloda görüldüğü gibi firmada 3. yıldan itibaren ayda 7000 akü üretilemeyecektir. Üretimin aynı düzeyde sürdürülebilir olması için yeni bir iyileştirme çalışmasına daha ihtiyaç duyulacağı bu tabloda açıkça görülmektedir.

İkinci iyileştirme çalışması:

Yeni bir iyileştirme ihtiyacının ortaya çıktığı bu durumda, Şekil 1’de verilen akış diyagramını uyarınca sistem güvenilirliği üzerinde en yüksek etkiye sahip olan bileşen bulunarak sistemde güvenilirlik artışı sağlayacak yeni sistem tasarımı elde edilecektir. Bu amaçla her bir bileşenin *GÖİ* değeri fonksiyonu genel olarak 5000 ay için Şekil 10’da, 120 ay için ise Şekil 11’de gösterilmiştir.



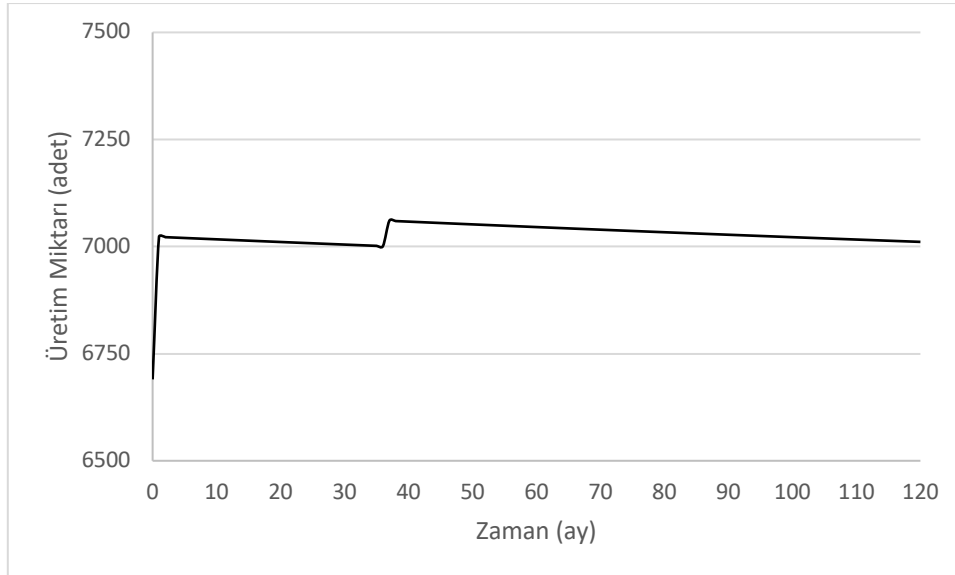
Şekil 10. *GÖİ* fonksiyonları



Şekil 11. 120 aylık $GÖİ$ fonksiyonları

Şekil 10 ve Şekil 11'de yer alan $GÖİ$ değerleri dikkate alınarak, diğer bileşenler olarak adlandırılan ve sistemde seri bağlı olarak yer alan Şerit, EXMET, COS ve Sulu Şarj bileşenlerinin arasından sistem kısıtlarına uygunluğu nedeniyle Şerit bileşenine paralel bileşen eklenmesine karar verilmiştir. Bu aşamada sistemde sağlanacak güvenilirlik artışı yeniden hesaplanarak yeterli üretim miktarına ulaşıp ulaşılmadığına bakılır. Yapılan hesaplamalara göre yeni sistem tasarımı ile firmanın 7 sene daha aylık en az 7000 akü üretebileceği gözlemlenmiştir (Bknz. Şekil 12). Önerilen alternatif sistemler sayesinde toplamda 10 yıllık süre boyunca hedeflenen üretim miktarının altına düşülmediği Şekil 12'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada önerilen yaklaşım ile bozulmaların dikkate alındığı durumlarda $Yİ$ ve $GÖİ$ birlikte kullanılarak sistem güvenilirliği ve kullanılabilirlik ile istenilen düzeyde üretimin elde edilebileceği alternatif tasarımların hangi dönemlerde devreye alınacağı ve sağlayacağı üretim artışı hesaplanabilmektedir. Böylece, gerekli iyileştirmeler yönetim tarafından planlanarak zamanında yapılabilecek, aylık üretim miktarı sürdürülebilir şekilde dengede tutulabilecektir.



Şekil 12. Önerilen yaklaşım ile elde edilen iyileştirmelere bağlı üretilen akü miktarları

4. Sonuç

Bir sistemin güvenilirliğinin hesaplanmasına sistemlerin performans analizinde veya sistemlerin iyileştirilmesi çalışmalarında ihtiyaç duyulur. Genellikle artan piyasa taleplerini karşılamak ya da zamanla ortaya çıkan

yıpranmaya bağlı olarak düşen üretim miktarlarını artırmak için firmalar sistemlerinde iyileştirme yapma çabası içinde olurlar. Bu çalışmada, bu amaçla, sistem performans ölçütü olarak dikkate alınan sistem güvenilirliği için *Yİ* ve sistem güvenilirliği üzerinde en yüksek etkiye sahip olan bileşenin belirlenmesi için *GÖİ* ilk defa birlikte kullanılmıştır. Önerilen bu yaklaşımla sistem güvenilirliği, sistem yapısından etkilenmeyen *Yİ* yöntemiyle hesaplanmış, sistem güvenilirliği üzerinde en yüksek etkiye sahip bileşen ise *GÖİ* ile belirlenmiş ve bu bilgi güvenilirliğin artırılmasını sağlayacak alternatif sistem tasarımını elde etmek üzere kullanılmıştır. Örnek bir uygulama olarak Uzuner (2015) çalışmasındaki gerçek sistem ele alınmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Çalışma kapsamında önerilen bu yaklaşımla, sistemin uzun dönem boyunca aylık üretim miktarı izlenebilmekte ve üretimin istenen miktarın altına inmemesi için önlem alınması gereken kritik dönemlerin önceden tespit edilmesi de sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, önerilen bu yaklaşım ve uygulama adımları detaylı bir şekilde verilmiş, önerilen alternatif sistem üzerinde elde edilen iyileştirmeler grafik ve tablolarla sunulmuştur.

Ele alınan akü üretim hattında sistem güvenilirliği, önerilen alternatif sistem tasarımlarıyla ilgili dönemlerde yükseltilmiş ve güvenilirlikte dolayısıyla kullanılabilirlikte elde edilen artışlar ile aylık üretim miktarı önce 6690'dan 7022'ye, ikinci iyileştirme döneminde ise 7060'a çıkarılarak sırasıyla %5 ve %5,53 oranında iyileştirmeler sağlanmıştır. Sonuç olarak bozulmalardan kaynaklı aylık üretim miktarındaki azalmalar önceden izlenebilmiş, belirli bir plan dahilinde gerekli önlemler alınabilmiş ve sistemde istenilen üretim düzeyinin sürdürülebilirliğini sağlayacak öneriler yapılmıştır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Merve Uzuner Şahin, gerçek sistemle ilgili araştırmalar, literatür tarama, gerekli hesaplamalar ve makale yazımında; Orhan Dengiz, güvenilirlik ve kullanılabilirlik teorik temelinde ve hesaplamalarında ve makale yazımında; Berna Dengiz sistem tasarımı ve alternatif sistem tasarımlarının incelenmesi ve genel makale yazımında v.b. konularda katkı sağlamışlardır.

Teşekkür

Makalenin daha iyi bir hale gelmesine katkı sunan hakemlere teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Aslett, L. J. M. (2012). ReliabilityTheory: Tools for structural reliability analysis. R package, Erişim adresi: <https://www.louisaslett.com/>

Aslett, L. J. M., Coolen, F. P. A. ve Wilson, S. P. (2015). Bayesian inference for reliability of systems and networks using the survival signature. *Risk Analysis*, 35(9), 1640–1651. doi: 10.1111/risa.12228

Birnbaum, Z. W. (1968). On the importance of different components in a multicomponent system (Teknik rapor) Erişim adresi: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD0670563>

Birnbaum, Z. W., Esary, J. D. ve Saunders, S. C. (1961). Multi-component systems and structures and their reliability. *Technometrics*, 3(1), 55–77. doi:10.1080/00401706.1961.10489927

Borgonovo, E. (2007). A new uncertainty importance measure. *Reliability Engineering and System Safety*, 92, 771–784. doi: 10.1016/j.ress.2006.04.015

Borgonovo, E. ve Apostolakis, G. E. (2001). A new importance measure for risk-informed decision making. *Reliability Engineering and System Safety*, 72, 193–212. doi: 10.1016/S0951-8320(00)00108-3

Bulut, Y. ve Yaman, H. (2013). Farklı boyutlu tutarlı sistemlerin sistem imzası ile karşılaştırılması. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6, 85–102. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/311619>

Bulut, Y. ve Yaman, H. (2014). Aynı boyutlu tutarlı sistemlerin sistem imzası ile karşılaştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(4), 300–307. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/236064>

Coolen, F. P. A. ve Coolen-Maturi, T. (2012). Generalizing the signature to systems with multiple types of components. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, 170 AISC, 115–130. doi:10.1007/978-3-642-30662-4-8

Coolen, F. P. A. ve Coolen-Maturi, T. (2015). Predictive inference for system reliability after common-cause component failures. *Reliability Engineering and System Safety*, 135, 27–33. doi: 10.1016/j.ress.2014.11.005

Coolen, F. P. A., Coolen-Maturi, T. ve Al-Nefaiee, A. H. (2014). Nonparametric predictive inference for system reliability using the survival signature. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 228(5), 437–448. doi: 10.1177/1748006X14526390

Dutuit, Y. ve Rauzy, A. (2014). Importance factors of coherent systems: A review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 228(3), 313–323. doi: 10.1177/1748006X13512296

Elsayed, E. A. (1996). *Reliability engineering*. Massachusetts, USA: Addison Wesley Longman, Inc.

Feng, G., Patelli, E., Beer, M. ve Coolen, F. P. A. (2016). Imprecise system reliability and component importance based on survival signature. *Reliability Engineering and System Safety*, 150, 116–125. doi:10.1016/j.ress.2016.01.019

Fussell, J. B. (1975). How to hand-calculate system reliability and safety characteristics. *IEEE Transactions on Reliability*, R-24(3), 169–174. doi:10.1109/TR.1975.5215142

Garg, S., Singh, J. ve Singh, D. V. (2010). Availability analysis of crank-case manufacturing in a two-wheeler automobile industry. *Applied Mathematical Modelling*, 34(6), 1672–1683. doi:10.1016/j.apm.2009.09.016

Görkemli, L. ve Kapan Ulusoy, S. (2009). *Üretim süreçlerinin güvenilirliğinin bulanık bayesgil yöntemi ile belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, YÖK tez veri tabanından erişildi. (Tez No. 246158)

Görkemli, L. ve Kapan Ulusoy, S. (2010). Fuzzy bayesian reliability and availability analysis of production systems. *Computers and Industrial Engineering*, 59(4), 690–696. doi:10.1016/j.cie.2010.07.020

Gupta P., Jayant, A. ve Goyal, A. (2008). Availability analysis of rubber preparation system a subsystem of a tube manufacturing plant availability analysis of rubber preparation system a subsystem of a tube manufacturing plant under preemptive resume priority repair under preemptive resume priority repair. *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 506–511. doi:10.1109/IEEM.2008.4737920

Gupta, P., Lal, A. K., Sharma, R. K. ve Singh, J. (2007). Analysis of reliability and availability of serial processes of plastic-pipe manufacturing plant: A case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24(4), 404–419. doi:10.1108/MBE-09-2016-0047

Huang, X., Aslett, L. J. M. ve Coolen, F. P. A. (2019). Reliability analysis of general phased mission systems with a new survival signature. *Reliability Engineering and System Safety*, 189, 416–422. doi:10.1016/j.ress.2019.04.019

Koçak, A. ve İşçioğlu, F. (2018). Meyve suyu dolun hatlarında güvenilirlik analizi. *Journal of Yasar University*, 13(50), 185–196. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/486721>

Kuo, W. ve Zhu, X. (2012). *Importance measures in reliability, risk, and optimization*. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.

Li, Y., Coolen, F. P. A., Zhu, C. ve Tan, J. (2020). Reliability assessment of the hydraulic system of wind turbines based on load-sharing using survival signature. *Renewable Energy*, 153, 766–776. doi:10.1016/j.renene.2020.02.017

- Loganathan, M. K., Kumar, G. ve Gandhi, O. P. (2016). Availability evaluation of manufacturing systems using Semi-Markov model. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(7), 720–735. doi:10.1080/0951192X.2015.1068454
- Samaniego, F. J. (1985). On closure of the IFR class under formation of coherent systems. *IEEE Transactions on Reliability*, R-34(1), 69–72. doi:10.1109/TR.1985.5221935
- Samaniego, F. J. (2007). *System signatures and their applications in engineering reliability*. Stanford, CA, USA: Springer Science & Business Media.
- Tsarouhas, P. (2012). Reliability, availability and maintainability analysis in food production lines: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(11), 2243–2251. doi:10.1111/j.1365-2621.2012.03073.x
- Tsarouhas, P. H. (2011). A comparative study of performance evaluation based on field failure data for food production lines. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(1), 26–39. doi:10.1108/13552511111116231
- Uzuner, M. (2015). *Bir işletmede güvenilirlik analizine dayalı sistem tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, YÖK tez veri tabanından erişildi. (Tez No. 382325)
- Uzuner Sahin, M., Dengiz, B. ve Atalay, K. D. (2020). Performance enhancement of production systems using fuzzy-based availability analysis and simulation method. *European Journal of Industrial Engineering*, 14(5), 632–648. doi:10.1504/EJIE.2020.109914
- Verma, A. K., Srividya, A. ve Prabhu Gaonkar, R. S. (2007). *Fuzzy-reliability engineering : concepts and applications*. Mumbai, India: Narosa Publishing House Pvt. Ltd.
- Vesely, W. E. (1970). A time-dependent methodology for fault tree evaluation. *Nuclear Engineering and Design*, 13(2), 337–360. doi:10.1016/0029-5493(70)90167-6
- Wang, W., Loman, J. ve Vassiliou, P. (2004). Reliability importance of components in a complex system. *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 6–11. doi:10.1109/rams.2004.1285415



Journal of Turkish Operations Management

A course timetabling formulation under circumstances of online education

Ahmet Bahadır Şimşek

Sağlık Yönetimi Bölümü, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane
e-mail: abahadirsimsek@gumushane.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7276-2376>

Article Info

Article History:

Received: 15.04.2021
Revised: 18.05.2021
Accepted: 20.05.2021

Keywords:

Course Timetable,
Online Education,
Multi-Objective Mathematical Model,
Minimax Approach,
Balanced Distribution

Abstract

This study addresses the adaptation of the course timetabling problem to the online education system mandated by the Covid-19 pandemic. The seating capacity constraint loses its validity in online education conditions. It is replaced by a bandwidth constraint that restricts the number of instantaneous connections. Overlapping courses in the same time slot increase the number of instant connections and excessive connections cause technical problems. Bandwidth constraint requires the distribution of total connection in a day over all time slots. However, while this is achieved, the time slots should be allocated fairly to the departments.

In this study, a multi-objective mathematical model is proposed that distributes the courses fairly on the day and time slot axis and distributes the total number of connections to time slots in each day as equally possible. The model adopts the maximum difference minimizing approach and requires solving the objectives sequentially according to the order of them.

The model was tested with the real data of the 2020-2021 fall semester of a 7 department faculty. The model has 12084 decision variables and 15567 constraints and an optimal solution gets in approximately 28 minutes.

Results were compared with a decentralized and manually prepared timetable. The comparison shows that the model is superior to the manual timetable in the distribution of courses across the day and time slot. Also, the model can reduce the number of students in the peak time slot by 22% compared to manual scheduling.

1. Introduction

The Covid-19 virus spread to many countries in a short time from Wuhan city in China. With the World Health Organization declaring the pandemic on March 11, 2020, countries tried to prevent the spread by closing borders, stopping international flights, and curfews. The education system has suffered from the measures taken, and most governments have decided to temporarily close schools (United Nations Educational, 2020). Countries with sufficient infrastructure to provide continuity of education activated online options that allow social distancing and self-isolation. Most institutions have transformed their campus-based education model to a synchronous private online format (Kaplan & Haenlein, 2016). Also, administrative tasks such as course and exam timetables have been reconfigured to comply with the circumstances of online education. In this context, the base constraint of "Classroom capacity can not be less than the number of students of the event to which the classroom is allocated" is no longer valid because the restrictive factor is not the seating capacity, but the bandwidth. The bandwidth limits the number of instantaneous connected students. Since this number can be affected by many factors such as network load and broadcast quality, it is difficult to define the instantaneous capacity with a certain number as the seating capacity. Hence, the number of simultaneous connections rises as a new constraint on timetabling for large institutions with tens of programs and thousands of students in the circumstances of online education.

Especially in decentralized planning, it is possible that many events belonging to different departments to which numerous students will be connected overlap at the same time. The excessive connection can result in a variety of technical issues, including failed connection, disconnection, and audio or video stream delay. The simplest solution is to distribute events throughout the day rather than overlapping them in a limited time slot. However, this solution raises the question of how time slots are allocated between departments, due to the different attractiveness of time slots. The allocation of time slots becomes a matter of fairness in decentralized planning across departments. It

seems that central planning is required to tackle bandwidth-related issues in the circumstances of online education. On the other hand, a balanced distribution of the courses of a grade of a department on the axis of day and time slot supports fair understanding.

In this study, we handle the above-mentioned problem of the course timetabling that appears in online education conditions. This paper proposes a multi-objective integer model that aims to distribute students across time slots, allocating days and time slots fairly to each grade of each department. The model adopts a minimax approach to reach both objectives. For example, minimizing the difference between the maximum and the minimum number of students in time slots ensures that the total number of students per day is distributed as evenly as possible over time slots and prevents accumulation at any given time slot. We tested our model with medium size real data. We compared the results with the course timetable prepared manually in a decentralized manner.

The highlights of the study are as follows; i) It deals with the adaptation of the education system to the pandemic, ii) It offers an automated course timetabling model with a central perspective to the real-world problem, iii) It adopts the minimax approach in modeling, iv) It contains the balanced distribution of all connections throughout time slots and allocating days and time slots fairly to each grade of each department.

The remaining part of the paper proceeds as follows: related studies are introduced in Section 2. Case details and mathematical formulation are presented in Section 3. Section 4 covers computational results. Finally, concluding remarks are presented in Section 5.

2. Literature Reviews

Within the scope of the university timetabling, various sub-problems appear such as *Course Timetabling*, *Class-Teacher Timetabling*, *Student Scheduling*, *Teacher Assignment*, and *Classroom Assignment* (Carter & Laporte, 1998). Course timetabling problems focus on the planning of a set of teaching events into a decision matrix consisting of days, time, and classrooms with satisfying the hard and soft constraints. The course timetabling problem which is NP-Hard (Thepphakorn & Pongcharoen, 2019), has a wide range of solution approaches. Various meta-heuristics such as Genetic Algorithm (Akkan & Gülcü, 2018), Simulated Annealing (Goh et al., 2019), are suggested for large size problems in the literature. For relatively medium and smaller size problems, exact solution approaches are suggested (Daskalaki & Birbas, 2005; Dimopoulou & Miliotis, 2001).

The literature introduces various variants of the course timetabling model that differ from one institution to another in terms of specific constraints (Schaerf, 1999). Babaei et. al. (2015) reviewed the hard and soft common constraints in the literature, as shown below.

Hard Constraints

- H1- A teacher can not be assigned to more than one classroom in the same time slot.
- H2- A classroom can not be allocated to more than one course in the same time slot.
- H3- A teacher teaches only one course in one classroom in the same time slot.
- H4- One classroom can only be allocated to a group of students and a teacher in the same time slot.
- H5- Some predefined courses are scheduled in a given timeslot.
- H6- The capacity of the classroom cannot be less than the number of students for the course to which it is allocated.

Soft Constraints

- S1- The teacher can suggest a day or time slot priority for the courses which she/he will teach.
- S2- A teacher can request a special classroom for a specific course.
- S3- The timetable should be adjusted in a way that the empty time slots of both teacher and student to be minimized.
- S4- Timetabling should be conducted taking into account the attractiveness of time zones as much as possible.
- S5- The lunch break is either 12–13 or 13–14, usually.
- S6- Time slots start at 8 am and end at 20:30, usually.
- S7- The maximum teaching/ learning hours for teachers/students in a classroom are 4 h.

Hard constraints must be satisfied for a feasible solution whilst soft constraints should be satisfied as much as possible for a quality solution. These constraints may vary depending on the case. For example, in some cases, simultaneous courses are taken into account where H2 is violated (Yoshikawa et al., 1996). Similarly, in the online education setting, S4, S5, and S6 remain whilst H6 loses its validity.

The balanced distribution issue, which stands out in our study, appears in the literature in several ways. Some studies take into account the balanced distribution of students to the sections of courses to minimize the conflicts that may occur (Ramon Alvarez-Valdes et al., 2002; Aubin & Ferland, 1989; Carter, 2001; Palma & Bornhardt, 2020). Some studies have taken into account the balanced distribution of courses throughout the week (Akı, 2020; R. Alvarez-Valdes et al., 1996; Birbas et al., 2009; Colorni et al., 1998; Wright, 1996). The balanced distribution

of courses throughout time slots is shown among the soft constraints by Hosny (2019). Dandashi and Al-Mouhamed (2010) propose a heuristic aimed at balancing the course load for time slots. Arratia-Martinez et. al. (2021) achieved a balanced course distribution by minimizing the difference between the maximum and the minimum number of courses in each time slot. Their modeling approach of the balanced course distribution in the study is inspiring for us.

The fair allocation of resources has been the subject of course timetabling problems (Matias et al., 2018; Mühlenthaler & Wanka, 2016). Wanka (2016) compared two approaches (MMF-Max-Min Fairness, JFI-Jain's Fairness Index) which are used to measure the fairness of course timetables. JFI takes a value in the range [0-1]. Approaching 1 indicates that resources are allocated equally among stakeholders, approaching 0 indicates that resources are allocated to a single stakeholder. On the other hand, MMF has an iterative structure. At each iteration, the most disadvantaged stakeholder tries to improve and a fair schedule is obtained at the end of iterations. In our study, with a similar approach to MMF, we aim to minimize the maximum resource use of departments and to allocate resources fairly. Dimopoulou & Miliotis (2004) adopted the fair allocation of resources to departments in central planning.

To the best of our knowledge, our study is the first to discuss the circumstances of online education in the course timetabling problem. In this respect, it has the feature of being the first in the literature.

3. Problem Description

To prevent the spread of the Covid-19 virus, Turkish higher education paused for 3 weeks on March 16, 2020 (Council of Higher Education, 2020). Universities with sufficient infrastructure shifted to a synchronous private online format, which is a paced format that is very similar to the campus-based education model, on March 23, 2020. In this context, the university, which provided data, chose Moodle (Moodle, 2018) which is an open-source education platform. The platform is integrated with the student information system, ensuring the synchronization of all required academic components such as courses, students, and teachers. The platform is private to registered students and courses take place synchronously and are recorded. Course timetables have been reconfigured to comply with the circumstances of online education. Before the pandemic, each department prepared its course timetable manually by using the classrooms allocated to it. With this habit, online course timetable was also prepared in a decentralized manner. This caused overlaps of the courses belonging to different departments, especially during the midday hours (13:00-14:00). The excessive connection request caused failure to connect, disconnection or delays in audio and video stream.

With the model proposed in this study, we aim to prevent the problems that arise with decentralized planning, taking into account the online conditions. We test the behavior of the model with real data of a faculty with 7 departments, 198 courses, and 1898 students. Time slots start 8:00 and end 17:00, lunch break is 12:00-13:00, each slot consists of 1 hour, and 8 slots in total are available. No preference is taken from students or teachers regarding course placement. The soft and hard constraints in the problem are as follows.

- | Hard Constraints | Soft Constraints |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • A teacher or student cannot attend more than one lesson in one time period. • A group of students can attend a maximum of two lessons per day. • Lunchtime (12–13) must be free. • The same group of students can not have more than two courses in a day. • The courses of the same group of students can not be consecutive in a day. | <ul style="list-style-type: none"> • The number of connected students in time slots should be as balanced as possible. • Days and time slots should be allocated to departments as fairly as possible. • Courses should be distributed throughout the week. |

3.1. Mathematical Model

Sets and Indices

T : Time Slots t : indices of T

t^f, t^l, t^m : refer to the first and last element of T , and lunchtime, respectively.

D : Planning Period d : indices of D

B : Departments b : indices of B

G : Grades g : indices of G

C : Courses c : indices of C

L : Lecturers l : indices of L

C^l : Courses of the lecturer l

C^b : Courses of the department b

$C^{b,g}$: Courses of the grade g of the department b

Parameters

H^c : Duration of the course c

E^c : The # of enrolled in course c

Decision Variables

x_{cdt} : 1 if course c is placed in time slot t at day d , 0 otherwise

xt_{ct} : 1 if course c is placed in time slot t , 0 otherwise

xd_{cd} : 1 if course c is placed at day d , 0 otherwise

bgd_{bg}^{max} : The maximum number of courses per day of the grade g of the department b

bgd_{bg}^{min} : The minimum number of courses per day of the grade g of the department b

$bg t_{bg}^{max}$: The maximum number of courses belonging to the department b placed in time slot t

$bg t_{bg}^{min}$: The minimum number of courses belonging to the department b placed in time slot t

con_d^{max} : The maximum number of connections in any time slot of day d

con_d^{min} : The minimum number of connections in any time slot of day d

Objective Function

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{b \in B} \sum_{g \in G} (bgd_{bg}^{max} - bgd_{bg}^{min}) \quad (1)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{b \in B} \sum_{g \in G} (bg t_{bg}^{max} - bg t_{bg}^{min}) \quad (2)$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_{d \in D} (con_d^{max} - con_d^{min}) \quad (3)$$

Our model has a multi-objective structure. Z_1 minimizes the difference between the maximum and the minimum number of courses in a day for each grade of each department. Z_2 minimizes the difference between the maximum and the minimum number of courses in a time slot for each grade of each department. Z_3 minimizes the difference between the maximum and the minimum number of connections in a time slot for each day. Z_1 and Z_2 are related to the balanced distribution of the courses on the axis of the day and time slot. In this way, students and departments can have a fair resource allocation. Z_3 is concerned with the distribution of the total number of daily connections over time slots. Technical problems can be minimized by distributing connection requests daily to all time slots.

Constraints

$$\sum_{d \in D} xd_{cd} = 1 \quad \forall c \in C \quad (4)$$

$$\sum_{t \in T} xt_{ct} = H^c \quad \forall c \in C \quad (5)$$

$$x_{cdt} = xd_{cd} * xt_{ct} \quad \forall c \in C, d \in D, t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{c \in C^{bg}} x_{cdt} \leq 1 \quad \forall b \in B, g \in G, d \in D, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{c \in C^l} x_{cdt} \leq 1 \quad \forall d \in D, t \in T, l \in L \quad (8)$$

$$\sum_{c \in C^{bg}} xd_{cd} \leq 2 \quad \forall b \in B, g \in G, d \in D \quad (9)$$

$$\sum_{c \in C} xt_{ct^m} = 0 \quad (10)$$

$$x_{cdt} + \sum_{c' \in C^{bg}: c' \neq c} x_{c'dt+1} \leq 1 \quad \forall b \in B, g \in G, c \in C^{bg}, d \in D, t \in T: t \neq t^l \quad (11)$$

$$xt_{ct^f} + xt_{ct^f+t'} \leq 0 \quad \forall c \in C, t' \in \{1 \dots H^c\}$$

$$-xt_{ct} + xt_{ct+1} - xt_{ct+t'} \leq 0 \quad \forall c \in C, t \in T \setminus \{t^f, t^l\}, t' \in \{1 \dots H^c\}: t + t' \leq t^l \quad (12)$$

$$xt_{ct^l} + xt_{ct^l-t'} \leq 0 \quad \forall c \in C, t' \in \{1 \dots H^c\}$$

$$\sum_{c \in C^{bg}} xd_{cd} \leq bgd_{bg}^{max} \quad \forall b \in B, g \in G, d \in D \quad (13)$$

$$\sum_{c \in C^{bg}} xd_{cd} \geq bgd_{bg}^{min}$$

$$\sum_{c \in C^{bg}} xt_{ct} \leq bgt_{bg}^{max} \quad \forall b \in B, g \in G, t \in T \quad (14)$$

$$\sum_{c \in C^{bg}} xt_{ct} \geq bgt_{bg}^{min}$$

$$\sum_{c \in C} E^c * x_{cdt} \leq con_d^{max} \quad \forall d \in D, t \in T: t \neq t^m \quad (15)$$

$$\sum_{c \in C} E^c * x_{cdt} \geq con_d^{min}$$

Constraint 4 provides courses to be placed in just one day. Constraint 5 makes sure courses occupy as many slots as needed. Constraint 6 relates the day and time slot decision given in constraints 4 and 5 for the courses with each other. Constraints 7 and 8 prevent a student group and teacher from having more than one course in one time slot, respectively. Constraint 9 avoids a group of students from having more than two courses in a day. Constraint 10 keeps the lunch break free. Constraint 11 avoids the courses of a student group from being consecutive in a day. Constraint group 12 allows courses that require more than one time slot to be placed consecutively. Constraint group 13 and 14 determine the maximum and the minimum number of courses of a student group on any given

day, and in any given time slot, respectively. Constraint group 15 defines the maximum and the minimum number of connections per day in any time slot. Constraint groups 13, 14, and 15 together with the objective functions gain the efficiency of bounding the solution.

4. Implementation

As a solution approach, we have adopted the lexicographic method, which includes solving the objectives sequentially in cases where the objectives can be ranked in the order of importance. The tasks of the objectives can be briefly summarized as follows. Z_1 and Z_2 determine how many courses will be on which day and in which time slot. On the other hand, Z_3 decides which course should be placed in which day and time slot taking into account the number of students of each course, to distribute the total number of students over time slots. In this case, Z_1 and Z_2 act as a guide for Z_3 . When the objectives are optimized simultaneously, Z_1 and Z_2 can not fulfill their guiding task, since Z_3 will dominate the Pareto optimal solution. Therefore, Z_1 and Z_2 are solved together due to they are on the same scale, and then Z_3 should be optimized as a single objective. It supports the ranking of objectives as $Z_1 = Z_2 > Z_3$. The relationship of the objectives can be observed in Figure 1. Point A represents the solution that occurs when all objectives are optimized simultaneously, whilst point B shows the solution formed by optimizing $Z_1 + Z_2$ first and then Z_3 .

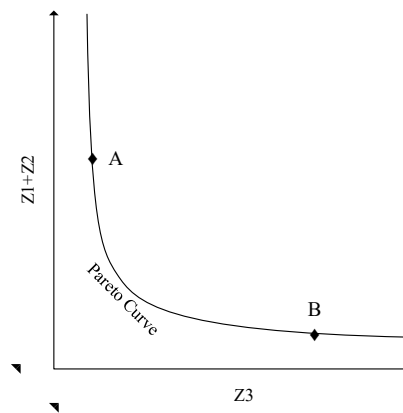


Figure 1. Positions of Objectives on the Pareto Curve

We run the model in the Python/Gurobi modeling environment on a 3,5 GHz i5-8250U processor and a 12 GB RAM. Our model includes 12084 decision variables and 15567 constraints. The solution of the model takes 1690 seconds (about 28 min). We benefited from two features of Gurobi in the implementation of the model. i) Ability to solve the objectives in multi-objective optimization models in the specified order. ii) Ability to handle quadratic constraints (see constraint 6).

We compared the automated timetable with the manual by two indicators: i) the distribution of the courses in the day and time slots, ii) the distribution of the number of students in the time slots. The base comparison metric is the standard deviation, and the smaller it means the better the distribution is.

Table 1. Distribution of Courses by Days

Dep.	Grade	Automated					Mean	Std. Dev.	Dep.	Grade	Manual					Mean	Std. Dev.
		1	2	3	4	5					1	2	3	4	5		
1	1	1	2	2	1	1	1,4	0,490	1	1	3	1	1	2	0	1,4	1,020
1	2	1	1	2	2	1	1,4	0,490	1	2	1	2	2	1	1	1,4	0,490
1	3	1	1	2	2	1	1,4	0,490	1	3	1	3	2	1	0	1,4	1,020
1	4	1	1	2	1	1	1,2	0,400	1	4	0	0	1	3	2	1,2	1,166
2	1	1	2	1	1	2	1,4	0,490	2	1	2	1	2	1	1	1,4	0,490
2	2	1	1	2	2	2	1,6	0,490	2	2	3	2	1	0	2	1,6	1,020
2	3	2	2	2	1	1	1,6	0,490	2	3	3	2	1	1	1	1,6	0,800
2	4	1	1	1	1	2	1,2	0,400	2	4	2	0	0	0	4	1,2	1,600
3	1	2	2	1	1	2	1,6	0,490	3	1	3	1	1	3	0	1,6	1,200

3	2	1	2	2	2	2	1,8	0,400	3	2	3	2	2	2	0	1,8	0,980
3	3	2	1	2	1	1	1,4	0,490	3	3	3	2	0	2	0	1,4	1,200
3	4	1	1	1	1	1	1	0,000	3	4	0	2	2	0	1	1	0,894
4	1	2	2	2	1	1	1,6	0,490	4	1	2	2	2	2	0	1,6	0,800
4	2	2	1	2	1	2	1,6	0,490	4	2	3	1	2	1	1	1,6	0,800
4	3	2	2	1	2	2	1,8	0,400	4	3	1	1	2	3	2	1,8	0,748
4	4	2	2	2	1	2	1,8	0,400	4	4	0	1	2	3	3	1,8	1,166
5	1	1	1	2	1	1	1,2	0,400	5	1	2	2	0	1	1	1,2	0,748
5	2	1	1	2	1	2	1,4	0,490	5	2	1	2	2	1	1	1,4	0,490
5	3	1	1	2	1	1	1,2	0,400	5	3	2	1	1	1	1	1,2	0,400
5	4	0	1	1	1	1	0,8	0,400	5	4	0	1	1	1	1	0,8	0,400
6	1	1	2	1	2	1	1,4	0,490	6	1	2	2	1	2	0	1,4	0,800
6	2	1	2	1	2	2	1,6	0,490	6	2	2	0	2	2	2	1,6	0,800
6	3	1	2	1	1	2	1,4	0,490	6	3	2	1	1	2	1	1,4	0,490
6	4	1	1	1	2	1	1,2	0,400	6	4	0	1	1	2	2	1,2	0,748
7	1	1	2	1	1	2	1,4	0,490	7	1	2	2	1	2	0	1,4	0,800
7	2	1	2	2	2	1	1,6	0,490	7	2	2	0	2	2	2	1,6	0,800
7	3	2	1	1	1	2	1,4	0,490	7	3	2	1	1	2	1	1,4	0,490
7	4	2	1	1	1	1	1,2	0,400	7	4	0	1	1	2	2	1,2	0,748
Mean 1,414 0,440									Mean 1,414 0,825								

Table 2. Distribution of Courses by Time Slots

Dep.	Grade	Automated Time Slots									Mean	Std. Dev.	Dep.	Grade	Manuel Time Slots									Mean	Std. Dev.
		1	2	3	4	6	7	8	9	1					2	3	4	6	7	8	9				
1	1	0	0	2	2	1	2	2	2	1,4	0,857	1	1	0	2	1	2	2	0	2	2	1,4	0,857		
1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1,5	0,500	1	2	0	0	2	2	2	2	2	2	1,5	0,866		
1	3	2	0	0	1	2	1	2	1	1,1	0,781	1	3	0	0	1	1	3	2	2	0	1,1	1,053		
1	4	1	1	1	1	1	1	1	0	0,9	0,331	1	4	0	2	1	1	0	1	2	0	0,9	0,781		
2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1,4	0,484	2	1	1	2	2	0	2	2	2	0	1,4	0,857		
2	2	1	1	1	2	0	1	2	2	1,3	0,661	2	2	0	1	2	2	0	0	3	2	1,3	1,090		
2	3	2	1	1	0	2	0	1	2	1,1	0,781	2	3	0	1	1	2	2	2	1	0	1,1	0,781		
2	4	1	1	1	1	0	1	0	1	0,8	0,433	2	4	0	2	0	2	0	1	0	1	0,8	0,829		
3	1	2	2	1	0	2	1	1	2	1,4	0,696	3	1	0	2	1	2	2	2	1	0	1,3	0,829		
3	2	1	1	2	0	1	1	2	1	1,1	0,599	3	2	1	1	2	0	0	1	2	2	1,1	0,781		
3	3	2	2	1	2	1	1	0	1	1,3	0,661	3	3	2	2	3	0	0	1	1	1	1,3	0,968		
3	4	1	0	1	1	1	1	1	1	0,9	0,331	3	4	1	0	1	1	1	1	1	1	0,9	0,331		
4	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1,4	0,484	4	1	0	2	2	1	2	2	2	0	1,4	0,857		
4	2	2	1	1	1	1	0	2	1	1,1	0,599	4	2	2	2	0	0	2	1	2	0	1,1	0,927		
4	3	1	1	2	2	2	2	0	1	1,4	0,696	4	3	0	2	2	2	2	2	0	1	1,4	0,857		
4	4	1	2	0	2	1	1	1	2	1,3	0,661	4	4	1	2	0	2	1	1	1	2	1,3	0,661		
5	1	1	1	2	1	0	1	2	1	1,1	0,599	5	1	2	0	2	0	0	2	2	1	1,1	0,927		
5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,000	5	2	1	2	0	1	1	1	2	0	1,0	0,707		
5	3	0	1	2	2	1	1	1	1	1,1	0,599	5	3	0	2	2	2	0	0	2	1	1,1	0,927		
5	4	1	0	0	1	1	1	0	0	0,5	0,500	5	4	2	0	0	0	1	1	0	0	0,5	0,707		

6	1	0	0	2	2	1	2	1	2	1,3	0,829	6	1	0	0	2	2	2	2	0	2	1,3	0,968
6	2	2	2	2	2	0	1	1	2	1,5	0,707	6	2	2	2	2	0	0	2	2	1,5	0,866	
6	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,000	6	3	1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,000	
6	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,000	6	4	1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,000	
7	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1,3	0,433	7	1	0	2	1	0	2	2	2	1	1,3	0,829
7	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1,5	0,500	7	2	1	2	2	2	2	1	2	0	1,5	0,707
7	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,000	7	3	0	1	2	1	1	0	2	1	1,0	0,707
7	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,000	7	4	1	1	1	0	0	1	2	2	1,0	0,707
Mean 1,156 0,490												Mean 1,152 0,763											

Table 3. Distribution of Time Slots Allocated to Departments

Dep.	Automated Time Slots									Mean	Std. Dev
	1	2	3	4	6	7	8	9			
1	4	3	5	5	6	5	6	5	4,9	0,927	
2	5	5	4	4	4	4	4	6	4,5	0,707	
3	6	5	5	3	5	4	4	5	4,6	0,857	
4	5	6	4	6	6	5	4	5	5,1	0,781	
5	3	3	5	5	3	4	4	3	3,8	0,829	
6	4	4	6	6	3	5	4	6	4,8	1,090	
7	4	5	5	5	5	5	5	4	4,8	0,433	
Mean	4,4	4,4	4,9	4,9	4,6	4,6	4,4	4,9			
Std. Dev	0,904	1,050	0,639	0,990	1,178	0,495	0,728	0,990			

Dep.	Manuel Time Slots									Mean	Std. Dev
	1	2	3	4	6	7	8	9			
1	0	4	5	6	7	5	8	4	4,9	2,260	
2	1	6	5	6	4	5	6	3	4,5	1,658	
3	4	5	7	3	3	5	5	4	4,5	1,225	
4	3	8	4	5	7	6	5	3	5,1	1,691	
5	5	4	4	3	2	4	6	2	3,8	1,299	
6	4	4	6	6	4	4	4	6	4,8	0,968	
7	2	6	6	3	5	4	8	4	4,8	1,785	
Mean	2,7	5,3	5,3	4,6	4,6	4,7	6,0	3,7			
Std. Dev	1,666	1,385	1,030	1,400	1,761	0,700	1,414	1,161			

Tables 1 and 2 present the distribution of the courses of each grade of each department in automated and manual timetabling by day and time slot. Table 3 shows the distribution of time slots allocated to the departments in automated and manual timetabling. When the rows in three tables are examined one by one, it is seen that generally, the automated timetable has a lower deviation, and a few of them show equal deviations. There is only one example where the manual timetable shows less deviation with a small margin, which is the distribution of time slots allocated to department 6 in table 3 (highlighted in gray). The finding from the comparison is that automated timetabling can distribute courses more equitably than manual timetabling. Achieving a similar result is difficult with a decentralized and manual approach. Optimization of Z1 and Z2 with a centralized approach realizes fair allocation of resources to stakeholders.

Table 4. Distribution of the # of Students by Days and Time Slots

		Automated Time Slots									
Days	1	2	3	4	6	7	8	9	Sum	Mean	Std. Dev.
1	390	400	390	400	395	400	390	390	3155	394,4	4,635
2	405	405	410	410	405	405	405	405	3250	406,3	2,165
3	470	470	475	465	466	480	465	480	3771	471,4	5,872
4	390	400	390	395	390	395	405	405	3170	396,3	5,995
5	375	375	375	376	380	375	380	380	3016	377,0	2,345
Sum	2030	2050	2040	2046	2036	2055	2045	2060	16362		
		Manuel Time Slots									
Days	1	2	3	4	6	7	8	9	Sum	Mean	Std. Dev.
1	276	538	541	437	456	484	613	338	3684	460,4	103,520
2	233	425	431	351	373	397	512	268	2992	374,0	84,409
3	223	454	484	365	417	409	514	273	3139	392,4	94,484
4	352	562	535	435	503	484	619	350	3840	480,0	89,989
5	205	395	359	321	342	342	437	305	2707	338,4	63,936
Sum	1290	2374	2350	1909	2092	2117	2695	1535	16362		

Table 4 shows the distribution of students by days and time slots. While the maximum number of students in a time slot is 480 in the automated timetable, it is 619 in the manual timetable (highlighted in yellow). Automation has reduced the connection load by 22% during the peak time slot. This means that the technical problems that may arise during the peak time slot are significantly reduced. On the other hand, the deviation in a time slot for each day is low in automated timetabling compared to manual timetabling. This also means that idle capacity is reduced and is making efficient use of bandwidth.

5. Conclusion

This study handles the adaptation of the education system, which has affected the Covid-19 pandemic, to new conditions. Institutions with sufficient infrastructure to ensure social distance and self-isolation and the continuity of education have switched to a synchronous private online. The course and exam timetabling, which is one of the important tasks of the education system, has also been adapted to online education conditions. The new conditions have introduced the "bandwidth" constraint that requires a central point of view. This constraint can be explained as follows. Overlapping of many events in the same time slot increases the number of instant connections and this causes many technical problems. Bandwidth, which is difficult to express with exact numbers such as seating capacity, limits the number of instantaneous connections. Events in a day should be spread over time slots to use the bandwidth effectively. However, while ensuring this, it is necessary to make sure that time slots are allocated fairly between departments.

In this study, we propose a multi-objective mathematical model, which adopts a min-max approach to the mentioned course-timetabling problem. Objectives can be addressed under two headings: the fair allocation of time slots to the departments and the distribution of the daily total connections over time slots. The ordered relationship between objectives requires solving the model sequentially. The model has been tested with the real data of a faculty for the fall semester 2020-2021. Results were compared with a decentralized and manually prepared timetable.

The findings show that automated timetabling can better distribute courses around the day and time slot axis than the manual timetable. In addition, the maximum load in the peak time slot was reduced by 22%. Centralized automated planning allows the institution to use its resources more effectively, minimize idle capacity, and minimize technical problems that may occur during events. Although the study deals with the course timetabling in online education conditions, the same approach can be adopted for the exam-timetabling problem. Overlapping exams that require numerous students to be online can cause many problems due to bandwidth, and undoubtedly connection problems can aggrieve many students. Again, with the effect of the pandemic, the planning of sessions in many online academic activities such as congresses and symposiums can be evaluated within this framework. The total number of connections in parallel sessions can be balanced by taking the session preferences they want to attend from the participants. On the other hand, the results can be compared by modeling the problem as goal programming. In this way, important outputs can be obtained that appeal to different managerial perspectives.

As the study's main limitation, it can be shown that the constraints such as student and teacher preferences that exist in the literature are not included. Due to the nature of our case, many constraints do not exist, but different

institutions may have more complex rules. In such cases, since the complexity of the mathematical model will increase, the optimal solution may not be obtained in a reasonable time. And also for relatively larger problems, it may be necessary to resort to heuristic solution methods.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Akı, O. (2020). University Course Timetabling Using Genetic Algorithms. *UNITECH 2020 International Scientific Conference*, 390–394. doi: <https://www.researchgate.net/publication/346969094>
- Akkan, C., & Gülcü, A. (2018). A bi-criteria hybrid Genetic Algorithm with robustness objective for the course timetabling problem. *Computers and Operations Research*, 90, 22–32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.09.007>
- Alvarez-Valdes, R., Martin, G., & Tamarit, J. M. (1996). Constructing good solutions for the spanish school timetabling problem. *Journal of the Operational Research Society*, 47(10), 1203–1215. doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1996.149>
- Alvarez-Valdes, Ramon, Crespo, E., & Tamarit, J. M. (2002). Design and implementation of a course scheduling system using Tabu Search. *European Journal of Operational Research*, 137(3), 512–523. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00091-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00091-1)
- Arratia-Martinez, N. M., Maya-Padron, C., & Avila-Torres, P. A. (2021). University Course Timetabling Problem with Professor Assignment. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021. doi: <https://doi.org/10.1155/2021/6617177>
- Aubin, J., & Ferland, J. A. (1989). A large scale timetabling problem. *Computers and Operations Research*, 16(1), 67–77. doi: [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(89\)90053-1](https://doi.org/10.1016/0305-0548(89)90053-1)
- Babaei, H., Karimpour, J., & Hadidi, A. (2015). A survey of approaches for university course timetabling problem. *Computers and Industrial Engineering*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.010>
- Birbas, T., Daskalaki, S., & Housos, E. (2009). School timetabling for quality student and teacher schedules. *Journal of Scheduling*, 12(2), 177–197. doi: <https://doi.org/10.1007/s10951-008-0088-2>
- Carter, M. W. (2001). A comprehensive course timetabling and student scheduling system at the University of Waterloo. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2079 LNCS, 64–82. doi: https://doi.org/10.1007/3-540-44629-x_5
- Carter, M. W., & Laporte, G. (1998). *Recent developments in practical course timetabling* (pp. 3–19). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: <https://doi.org/10.1007/BFb0055878>
- Colomi, A., Dorigo, M., & Maniezzo, V. (1998). Metaheuristics for high school timetabling. *Computational Optimization and Applications*, 9(3), 275–298. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1018354324992>
- Council of Higher Education. (2020). *YÖK Koronavirüs (Covid-19) Bilgilendirme Notu-1*. Retrieved from: https://www.yok.gov.tr/Sayfalar/Haberler/2020/coronavirus_bilgilendirme_1.aspx
- Dandashi, A., & Al-Mouhamed, M. (2010). Graph coloring for class scheduling. *2010 ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications, AICCSA 2010*. doi: <https://doi.org/10.1109/AICCSA.2010.5586963>
- Daskalaki, S., & Birbas, T. (2005). Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming. *European Journal of Operational Research*, 160(1), 106–120. doi: <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2003.06.023>
- Dimopoulou, M., & Miliotis, P. (2001). Implementation of a university course and examination timetabling system. *European Journal of Operational Research*, 130(1), 202–213. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00052-7)
- Dimopoulou, M., & Miliotis, P. (2004). An automated university course timetabling system developed in a distributed environment: A case study. *European Journal of Operational Research*, 153(1), 136–147. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00104-8)
- Goh, S. L., Kendall, G., & Sabar, N. R. (2019). Simulated annealing with improved reheating and learning for the post enrolment course timetabling problem. *Journal of the Operational Research Society*, 70(6), 873–888. doi:

<https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1468862>

Hosny, M. (2019). Metaheuristic approaches for solving university timetabling problems: A review and case studies from middle eastern universities. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 111, 10–20. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03577-8_2

Kaplan, A. M., & Haenlein, M. (2016). Higher education and the digital revolution: About MOOCs, SPOCs, social media, and the Cookie Monster. *Business Horizons*, 59(4), 441–450. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2016.03.008>

Matias, J. B., Fajardo, A. C., & Medina, R. M. (2018). A fair course timetabling using genetic algorithm with guided search technique. *Proceedings of 2018 5th International Conference on Business and Industrial Research: Smart Technology for Next Generation of Information, Engineering, Business and Social Science, ICBIR 2018*, 77–82. doi: <https://doi.org/10.1109/ICBIR.2018.8391170>

Moodle. (2018). *Moodle - Open-source learning platform | Moodle.org*. Moodle.Org. Retrieved from: <https://moodle.org/>

Mühlenthaler, M., & Wanka, R. (2016). Fairness in academic course timetabling. *Annals of Operations Research*, 239(1), 171–188. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1553-2>

Palma, C. D., & Bornhardt, P. (2020). Considering Section Balance in an Integer Optimization Model for the Curriculum-Based Course Timetabling Problem. *Mathematics*, 8(10), 1763. doi: <https://doi.org/10.3390/math8101763>

Schaerf, A. (1999). Survey of automated timetabling. *Artificial Intelligence Review*, 13(2), 87–127. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1006576209967>

Thepphakorn, T., & Pongcharoen, P. (2019). Variants and parameters investigations of particle swarm optimisation for solving course timetabling problems. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11655 LNCS, 177–187. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-26369-0_17

United Nations Educational, S. and C. O. (2020). *School closures caused by Coronavirus (Covid-19)*. Unesco. Retrieved from: <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse>

Wright, M. (1996). School timetabling using heuristic search. *Journal of the Operational Research Society*, 47(3), 347–357. doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1996.34>

Yoshikawa, M., Kaneko, K., Yamanouchi, T., & Watanabe, M. (1996). Constraint-based high school scheduling system. *IEEE Expert*, 11(1), 63–72. doi: <https://doi.org/10.1109/64.482960>



Journal of Turkish Operations Management

Bir kamu kurumundaki ofis çalışanlarının ergonomik riskler açısından değerlendirilmesi

Eda Ekin¹, Müge Uğur Özçelik², Nermin Avşar Özcan^{3*}

¹Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü İş Sağlığı Güvenliği ve Çevre Daire Başkanlığı, Ankara
e-mail: erg.edaekin@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7892-3265>

²Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü İş Sağlığı Güvenliği ve Çevre Daire Başkanlığı, Ankara
e-mail: mugeugur@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1865-3029>

³Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara
e-mail: nerminavsar.ozcan@euas.gov.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3754-9676>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 21.02.2021
Revize: 07.08.2021
Kabul: 16.08.2021

Anahtar Kelimeler:

Ofis Ergonomisi,
KİS Rahatsızlıkları,
Hızlı Ofis Zorlanma
Değerlendirmesi,
Cornell Kas İskelet
Rahatsızlığı Ölçeği

Özet

Bu çalışmada, bir kamu kurumunda çalışan 149 kişinin ofis ortamının koşulları ve bu kişilerin kas iskelet sistemi rahatsızlıkları analiz edilmiştir. Analiz kapsamında ROSA (Rapid Office Strain Assessment) ve CMDQ (Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaires) yöntemleri kullanılmıştır. Uygulanan yöntemlerle, sandalye, monitör, klavye, fare ve telefon gibi ofis ortamı bileşenlerinin kullanıcıya uygunluğu ergonomik açıdan değerlendirilerek, bu bileşenleri kullanırken çalışanların sergiledikleri duruşların hangi oranda rahatsızlık oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, ergonomik açıdan riskli bulunan ofislerde çalışanların yaşadıkları kas ağrısı, kronik sağlık problemleri ile ergonomi hakkındaki bilgi düzeyleri arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılarak tartışılmıştır. Temel olarak çalışanların ergonomi hakkında bilgi sahibi olmasının ofis ortamındaki riski azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Evaluation of the office workers in a public institution in terms of ergonomics risks

Article Info

Article History:

Received: 21.02.2021
Revised: 07.08.2021
Accepted: 16.08.2021

Keywords:

Office Ergonomics,
Musculoskeletal Disorders,
Rapid Office Strain Assessment,
Cornell Musculoskeletal, Discomfort
Questionnaires

Abstract

In this study, the conditions of the office environment and musculoskeletal disorders of 149 people working in a public institution were analyzed. For the study, the office environment conditions of 149 people working in a public institution and their musculoskeletal disorders were analyzed. ROSA (Rapid Office Strain Assessment) and CMDQ (Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaires) methods were used simultaneously for the analysis. Using these methods, the employee's environment and the suitability of equipment such as chairs, monitors, keyboards, mice, and phones to the user were evaluated with ergonomic scales and observed to what extent it causes discomfort in users' standing position. Accordingly, the variables related to whether the offices being ergonomically risky depends on the employees' muscle pain, chronic health problems, and their level of knowledge about ergonomics were examined and discussed in detail. Basically, it has been concluded that the employees' knowledge about ergonomics reduces the risk in the office environment.

1. Giriş

Ergonomi, kişinin fiziksel, anatomik, fizyolojik ve psikolojik özelliklerini dikkate alarak, işyeri, ekipman, araç-gereç ve çevrenin tasarımında dikkate alarak, çalışanların sağlığını ve güvenliğini güvence altına almak şartıyla işgücü verimliliğini artırmayı amaçlayan bir bilim dalıdır. Ergonomi, insanın çalıştığı ortamların uyumunu optimize etmeyi hedefler (Güler, 1988).

Ofis ergonomisi, iş verimliliğinin artırılmasını, iş ortamındaki olumsuz koşullardan kaynaklanabilecek sağlık problemlerinin giderilmesi için çalışma alanının uygun şekilde düzenlenmesini ve çalışanlar için en iyi ortam şartlarını sağlamayı hedeflemektedir (Özkan ve Kahya, 2017). Ergonomik prensiplere göre yapılan ofis tasarımlarında, bilgisayar ekipmanları, mobilyalar, gerçekleştirilen görevler ve çevre bir bütün olarak değerlendirilip, çalışanların ve özelde tek tek bireylerin gereksinimleri karşılanmalıdır (Güler, 2001, Sabancı, 1999).

Ofis ekipmanları, çalışanların vücut ölçülerine göre tasarlanmaya çalışılsa bile bu ekipmanların, çalışanların vücut ölçülerine tam olarak uyması beklenemez. Bundan dolayı, ekipmanda genişlik ve yükseklik seviyeleri ayarlanabilir biçimde olmalıdır. Fakat bu tür ekipmanların ekonomik yönden maliyetli olması, bütün çalışma ortamlarında bulunmasını engellemektedir. Ayrıca boyutları ve derinlikleri ayarlanabilen ekipmanlar bulunsada dahi, ofis çalışanlarının ekipmanın özellikleri hakkında bilgi eksikliklerinin olması ya da kendi pozisyonlarına uygun ayarlayamamaları ayrı bir sorundur. Ofisler, çalışanların uzun süre geçirdikleri ve çoğunlukla monitör, telefon, masa, oturma düzeni gibi ofis bileşenleri ile temas içinde oldukları alanlardır. Çalışma konforunu ve kişilerin verimlilik düzeyini üst seviyeye taşımak amacıyla bütün ofis elemanlarının ergonomik ilkelere uygun olarak tasarlanması önemlidir (Özkan ve Kahya, 2017).

Yeterince mola verilmeden çalışılan, mesai saatleri uzun olan ofislerde, farkında olmadan yanlış duruş sergilenmesi, yanlış fiziksel hareketlerde bulunulması akut ya da kronik kas iskelet sistemi (KİS) rahatsızlıklarına neden olmaktadır. KİS rahatsızlıkları, Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Komisyonunda, vücutta iskelet-kas sisteminde meydana gelen ve yapılan işin koşulları nedeniyle yaşanan rahatsızlıklar olarak tanımlanmıştır (Akay, Kurt ve Dağdeviren, 2003).

KİS rahatsızlıkları, çalışma ortamı koşullarının çalışana uygun olmaması, aşırı iş yükü, hızlı yinelenen hareketler, tehlikeli çalışma duruşları, yetersiz dinlenme araları, ergonomiyle ilgili yetersiz bilgi ve eğitim gibi sebeplerin sonucunda ortaya çıkabilir (Güler, 2004)

Bu çalışmanın amacı, ofis çalışanlarının ortamlarını bilimsel ölçekler kullanarak ergonomik bakış açısıyla incelemek aynı zamanda, ofislerdeki araçların kullanıcıya uygun olmaması, yanlış konumlandırılması, kişiye bağlı yanlış kullanımı sonucunda fiziksel problemlerin ortaya çıkıp çıkmadığını anket ve bilimsel ölçek kullanarak tespit etmektir.

Literatüre bakıldığında ofis ergonomisi ve çalışanlarda oluşan kas iskelet sistemi rahatsızlıkları konusunda yapılmış fazlaca çalışma mevcuttur. Ancak, çalışmalar genel olarak incelendiğinde hem gözlemcinin hem de gözlemlenen kişilerin bütüncü olarak katılımcısı olduğu çalışmaların sayısının çok az olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada Hızlı Ofis Zorlanma Değerlendirmesi (ROSA) yöntemi ile gözlemcinin ortamı inceleyerek puan vermesi, Cornell KİS Rahatsızlık Anketi (CMDQ) yöntemi ile çalışanların KİS rahatsızlıklarını kendilerine uygun seçeneklerle cevaplandırması sonucunda hem gözlemci hem çalışanlar için fayda sağlayacak veriler elde edilmiştir. Sonrasında, sonuçlar lojistik regresyon analiz yöntemi ile analiz edilerek çalışanların ofis istasyon ortamları ve KİS rahatsızlıkları arasında bir ilişki olup olmadığı detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, kullanılan yöntemler kullanım nedenleri ile sunulmuş, üçüncü bölümde çalışmanın uygulama detaylarına yer verilmiş ve dördüncü bölümde de sonuç ve öneriler kısmı ile çalışma tamamlanmıştır.

2. Bilimsel yazın taraması

Ofis ergonomisi ve ofis çalışanlarının maruz kalabilecekleri KİS rahatsızlıkları konusunda yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Malezya’da yürütülen bir çalışmada, ofis çalışanlarının ağrı düzeyleri bir anket yardımı ile incelenmiş ve ekran karşısında uzun saatler geçirenlerde, boyun ve sırt ağrılarında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir (Mahmud, Bahari ve Zaunidin, 2014).

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi’nde yapılan bir çalışmada, 92 idari ofiste ergonomik açıdan değerlendirme yapılmış ve ofis çalışanlarının omuz, boyun ve sırt bölgelerindeki ağrı artışının sebebinin, ofisin ergonomik tasarım problemlerinden kaynaklandığına dair istatistiksel açıdan anlamlı sonuçlar elde edilmiştir (Özkan ve Kahya, 2017).

Düzce Üniversitesi’nde yapılan bir çalışmada, idari personelin çalıştığı ofisler analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, katılımcıların %12,7’sinin ergonomik bilgisayar kullanımıyla ilgili bilgi sahibi olduğu, fakat %43’ünün bilgi sahibi olmadığı görülmüştür (Bekleviç ve Gedik, 2018).

Sen, Özcan, Karan ve Ketenci, (2004) tarafından, rastgele kontrollü bir çalışma yürütülmüş, bilgisayarla çalışan 50 kullanıcı araştırmaya dahil edilmiş ve KİS rahatsızlıklarından korunmada ergonomi eğitimi ve egzersiz programının etkinliği araştırılmıştır. Sonuç olarak, girişim grubunda, kontrol grubuna göre ağrı şiddeti, fonksiyonel durum, sakatlık, yorgunluk ve depresyon yönünden anlamlı iyileşme olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Van Den Heuvel, De Looze ve Hildebrandt, (2003) yaptığı rastgele kontrollü bir çalışmada, toplam 268 ekranlı araç kullanıcısında ergonomi bakış açısı ve yöntemiyle mola vermenin ve egzersiz yapmanın etkinliği araştırılmış ve sonuç olarak, çalışanların iş veriminde artış görülürken, işe gidememe oranlarında herhangi bir değişiklik bulunmamıştır.

Sık tekrarlı hareketler, klavye konumunun uygun olmaması, ön kolun yetersiz desteklenmesi, molaların yetersiz olması, ofis araçlarının uzun süre kullanımı, yanlış fare kullanımı, postür bozukluğu gibi etmenler, ekranlı araç kullanılmasına bağlı üst ekstremitedeki KİS rahatsızlıkları için risk olarak kabul edilmiştir (Lewis, Fogleman ve Deeb, 2001). Bir çağrı merkezinde, bilgisayar ile çalışanlarda yapılan rastgele kontrollü bir başka çalışmada, önkol desteğinin kullanımıyla ilgili uygulanan ergonomi eğitiminin üst ekstremitede bulunan bölgelerdeki ağrılara karşı korumada etkili olduğu görülmüştür (Rempel, Krause, Goldberg, Benner, Hudes ve Goldner, 2006).

Yapılan bir diğer çalışmada, bir otomotiv fabrikasında çalışanların KİS rahatsızlıkları incelenmiş ve bu rahatsızlıkların sıklık düzeylerinin, ergonomi eğitiminin verilmesi ve egzersiz önerilmesi sonucunda nasıl değişiklik göstereceği değerlendirilmiştir. Çalışmada, KİS rahatsızlıklarının işçilerde çok sık olarak görüldüğü ve bunlar için koruyucu önlemler alınması gerektiği sonucuna varılmıştır (Tanır, Güzel, İşsever ve Çalışkan Polat, 2013).

KİS rahatsızlıkları üzerine yapılan bu çalışmalara ek olarak literatürde son dönemde ergonomik risk faktörleri ve bu faktörlerin değerlendirilmesinde çok kriter karar verme yaklaşımlarını kullanan yenilikçi çalışmaların (Aksüt, Eren ve Tüfekçi, 2021a; Aksüt, Eren ve Tüfekçi, 2021b; Aksüt, Eren ve Tüfekçi, 2020), ofis ergonomisi ve ofis çalışanlarının maruz kalabilecekleri KİS rahatsızlıkları üzerine yürütülecek çalışmalara farklı bir perspektif sunması beklenmektedir.

2. Kullanılan yöntemler

Bu çalışmada, ofis çalışanlarında oluşan KİS rahatsızlıkları ve ofis ortamlarının ergonomik koşulları incelendiği için 2 farklı ölçek kullanılmıştır. İlk olarak, çalışanların KİS rahatsızlıklarını değerlendiren CMDQ yöntemi uygulanmıştır. İkinci olarak ta, çalışanların ofis ortamını ergonomik açıdan inceleyen, ROSA yöntemi kullanılmıştır. CMDQ yöntemi, çalışanların KİS rahatsızlıklarının detaylı bir şekilde belirlenip, varsa ağrı durumlarının ne düzeyde olduğunu kendilerinin derecelendirebilmelerini sağlayan pratik bir yöntemdir. Ortaya çıkan KİS rahatsızlıklarının, kişilerin işe başlama tarihinden önce mi, sonra mı oluştuğunun ve buna benzer önem arz edecek soru işaretlerinin giderilebilmesini sağlayan bir yöntemdir. Ayrıca kişi odaklı yaklaşımın fayda sağlayacağı düşünülerek, çalışanların sosyo demografik bilgilerini dolduracakları bir form (Ek-1) da çalışma kapsamında verilmiştir. ROSA ölçeği ise, ofis içindeki ekipmanların ergonomik standartlara uygunluklarının detaylı bir şekilde incelenmesi açısından güvenilir bir ölçektir. Kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçlar, birbirleri ile bağlantı kurularak detaylı bir şekilde incelenmiştir.

2.1. Cornell kas iskelet sistemi rahatsızlık anketi

Cornell anketi, çalışanların çalışma esnasındaki duruş bozukluklarından kaynaklanan KİS rahatsızlıklarını belirleyip tespitinin sağlanması için hazırlanmıştır. Daha sonra Türkçe'ye uyarlanmış, geçerlilik ve güvenilirliği test edilmiştir. CMDQ ölçeğiyle KİS rahatsızlıklarının görülme sıklığı, şiddeti ve iş performansına ile iş verimliliğine etkisi ölçülebilmektedir. Anketin oturur şekilde ve ayakta gerçekleştirilen görevler için farklı versiyonları mevcuttur. Bu çalışmada, ofis ortamındaki çalışanlar incelendiği için oturarak gerçekleştirilen görevlere ait versiyonu tercih edilmiştir. Anket içerisinde, 18 vücut bölgesindeki rahatsızlıkların, son bir hafta içindeki düzeyleri ve sıklıkları soruşturulmaktadır ve kişilerin kendilerine ait seçenekleri işaretlemeleri istenmektedir. Rahatsızlığın sıklığı sırasıyla; "Hiç hissetmedim", "Haftada 1-2 kere hissettim", "Haftada 3-4 kere hissettim", "Haftanın her günü bir defa hissettim", "Haftanın her günü birden çok defa hissettim" seçenekleri ile derecelendirilmiştir. Rahatsızlık şiddeti sırasıyla; "Hafif şiddetli", "Orta şiddetli", "Çok şiddetli" seçenekleri ile derecelendirilmiştir. Rahatsızlığın, işlerini yapmalarına engel olup olmadığı sırasıyla; "Hiç engellemedi", "Biraz engelledi", "Çok engelledi" seçenekleri ile derecelendirilmiştir. Örneğin; Kalça bölgesinde "Ağrı ve sızıyı haftanın her günü bir defa hissettim, orta şiddetliydi, işimi yapmamı çok engelledi" seçenekleri işaretlenirse, risk puanı $5 \times 2 \times 3 = 30$ olarak bulunur (Boydan, 2017). Uygulanan CMDQ formu Ek-2'de sunulmuştur.

2.2. Hızlı ofis rahatsızlık değerlendirmesi

ROSA, çalışanların ofis ortamındaki risklere ne kadar maruz kaldığını ölçmek için tasarlanmış, görsel destekli bir ölçektir. ROSA ölçeği, ofis ortamlarındaki ekipmanları kontrol, gözlem ve tarama odaklıdır. Hızlı bir şekilde, ofis ortamıyla ilişkili riskleri ölçerek, kullanıcıya bilgi verebilecek niteliktedir. Ortamın hızlı bir şekilde

değerlendirilebilmesi, ofis ortamında yapılan çalışmalarla ilgili rahatsızlık raporlarına yönelik anlamlı bir değişim için gereklidir (Sonne, Villalta ve Andrews, 2012). Çalışmada, Cornell anketinden sonra, iş görenlerin çalışma ortamlarını incelemek için ROSA ölçeği kullanılmıştır. Ofis çalışanının kullanmış olduğu ekipmanlarla geçirmiş olduğu süre, kullanılan araç ve gereçlerin yükseklik, genişlik ayarlanabilirliğini özelliklerini de değerlendirerek puanlanmıştır. Sırasıyla monitör, telefon, fare, klavye, sandalye kolçakları, sandalye sırt desteği, sandalye yüksekliği, sandalye oturma yüzeyi derinliğiyle alakalı skorlamalardan sonra, her birinin birbiriyle ilişkisine bakılarak final puanı hesaplanmıştır. Risk değeri, “5 ve üzeri” sonucu çıkarsa, "yüksek risk vardır" şeklinde değerlendirilmektedir ve ilgili ofis ortamı için “Düzenleme gerekli görülmektedir” şeklinde yorumlanır. ROSA Ölçeği Ek-3’te, ROSA genel risk skorunun hesaplama tablosu Ek-4’te sunulmuştur.

2.3. Lojistik regresyon analizi

Regresyon yöntemleri, bir yanıt (bağımlı) değişken ile bir veya daha fazla açıklayıcı (bağımsız) değişken arasındaki ilişkiyi tanımlayan herhangi bir veri analizinin ayrılmaz bir bileşeni haline gelmiştir. Genellikle, sonuç değişkeninin iki veya daha fazla olası değer alarak kesikli olması söz konusudur. Bu tip durumlarla ilgili analizlerde lojistik regresyon modeli, son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir metot haline almıştır. Bunda etkili olan unsurlardan önemlisi, regresyon modellerine göre lojistik regresyon modellerinin esnek olmasıdır (Hosmer ve Lemoshov, 2000).

Binary (iki durumlu) lojistik regresyon modellerinde, bağımsız değişken ile ilgili bir şart bulunmazken, bağımlı değişken, kategorik (iki kategorili) ve isimsel (var-yok, kadın-erkek, evet-hayır vb.) olmalıdır (Çelik, 2019). Binary lojistik regresyon modelin genel özellikleri aşağıda özetlenmiştir (Çelik, 2019; Liao, 1994).

$$y \in (0,1)$$

$$P(y = 1|x_i) = \pi_i, \quad i = 1,2, \dots, n \quad (1)$$

y_1, y_2, \dots, y_n değerleri istatistiksel olarak bağımsızdır.

x_i değişkenleri birbirinden bağımsızdır.

Binary lojistik modeli, Bernoulli dağılımına sahiptir. Modelde, bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkenin kategorilerinin beklenen değerlerinin olasılıkları hesaplanır. Bağımlı değişkene ait bir gözlem, $y = E(Y|x) + e$ şeklinde gösterilebilir. e hata terimi olarak isimlendirilir ve gözlemin koşullu olasılıktan ne kadar saptığını gösterir (Stack, Ostrom ve Wilhelmsen, 2016).

Binary lojistik modelinde, bağımlı değişken $y = \pi(x) + e$ ile hesaplanır. $y = 1$ için, $\pi(x)$ olasılıkla $e = 1 - \pi(x)$ değerini alır. $y = 0$ için ise, $1 - \pi(x)$ olasılıkla $e = -\pi(x)$ olur. Böylece e , sıfır ortalamalı ve $\pi(x)[1 - \pi(x)]$ 'e eşit varyanslı binom dağılım gösterir (Hosmer ve Lemoshov, 2000).

Lojistik regresyon modellerinde $\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)}$ oranı odds değeri olarak tanımlanır. Kısaca, araştırmaya konu olan olgunun gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranıdır. Bu değer, 0 ile $+\infty$ arasında değişmektedir (Çelik, 2019).

3. Uygulama

Bu çalışmada, 149 kişinin ofis ortamı incelenmiş ve ofis ortamının risk düzeyini ifade eden ROSA değişkeni, 1-10 arasında değerler almıştır. Riskin olmadığı durumlarda, 1-4 arası değerler “0”, riskin olduğu durumlarda, 5-10 arasındaki değerler “1” olarak kodlanmıştır. Çalışmanın istatistiksel analizleri için Statistical Package for Social Sciences 26 (SPSS) kullanılmıştır. Binary lojistik regresyon analizi ile ROSA değerlerinin yaş, cinsiyet, kronik sağlık problemi durumu, gün içinde bilgisayar kullanım süresi, kas ağrısı ve ergonomi hakkındaki bilgi düzeyi ile istatistiksel açıdan anlamlı ilişkisi olup olmadığı incelenmiştir. Bu analiz ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Burada, birinci bağımsız değişken (yaş) nicel olmakla birlikte, diğer bağımsız değişkenler kategoriktir. Ayrıca, regresyon modeline Cornell Anketi’nde yer alan vücut bölümleri için gözlem yolu ile elde edilen değerler de dahil edilmiştir. Bu değerler, 0-19 arası ağrı değerleri için “tehlike yok (0)”, 20-90 arası ağrı değerleri için ise “tehlike var (1)” olacak şekilde, modele kategorik değişken olarak dahil edilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların özellikleri

Cinsiyet	<i>Kadın</i>	<i>Erkek</i>	
		42	107
Kronik sağlık problemi durumu	<i>Var</i>	<i>Yok</i>	
		46	103
ROSA değeri	<i>1-4</i>	<i>5+</i>	
		118	31
Ergonomi hakkında bilgi düzeyi	<i>Evet</i>	<i>Hayır</i>	
		117	32
Kas ağrısı	<i>İşe başladıktan sonra</i>	<i>İşe başlamadan önce</i>	<i>Yok</i>
		85	14
Günlük bilgisayar kullanım süresi	<i>1 saatten az</i>	<i>1-3 saat</i>	<i>3 saatten fazla</i>
		4	17

Tablo 2. CMDQ sonuçları

	1-19	20-90		1-19	20-90
Boyun	136	13	El Bileği Sol	149	0
Omuz Sağ	142	7	Kalça	146	3
Omuz Sol	146	3	Üst Bacak Sağ	146	3
Sırt	138	11	Üst Bacak Sol	148	1
Üst Kol Sağ	147	2	Diz Sağ	146	3
Üst Kol Sol	148	1	Diz Sol	147	2
Bel	139	10	Alt Bacak Sağ	149	0
Ön Kol Sağ	147	2	Alt Bacak Sol	148	1
Ön Kol Sol	149	0	Ayak Sağ	143	6
El Bileği Sağ	146	3	Ayak Sol	145	4

Bir veri kümesinde açıklanan varyansın, genel olarak açıklanamayan varyanstan önemli ölçüde daha büyük olup olmadığına ilişkin yapılan Omnibus test sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 3. Model katsayılarının Omnibus testleri

		Chi-square	df	Sig.
Step 1	Step	45,283	23	0,004
	Block	45,283	23	0,004
	Model	45,283	23	0,004

Lojistik regresyon modelinin bağımlı değişkeni olan ROSA değişkeninde, risksiz durumlar için "0" değeri referans alınmıştır. Tablo 3'de Ki-Kare 45,283 olarak hesaplanmış olup, açıklayıcı değişkenlerin olmadığı sadece sabit katsayının yer aldığı başlangıç modeli ile açıklayıcı değişkenlerin yer aldığı model arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$).

Tablo 4. Model özeti

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	109,738	0,262	0,405

Nagelkerke R kare istatistiği, bağımlı değişkendeki varyansın 0,405'inin regresyon modeli ile açıklandığını ifade etmektedir.

Tablo 5. Hosmer - Lemeshow testi

Step	Chi-square	df	Sig.
1	13,298	8	0,102

Hosmer - Lemeshow Uyum iyiliği testi, gerçekleşen değerler ile kestirilen değerler arasındaki farkların incelenmesidir. Test, lojistik regresyon modelinin uyumunu değerlendirir. Hosmer Lemeshow test istatistiği 0,102 değeri ($p>0,05$) ile lojistik regresyon modelinde tahmin edilen oran ile gerçekleşen oran arasında fark olmadığını, başka bir ifade ile modelin veriye uyumunun yeterli düzeyde olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 6. Sınıflandırma tablosu

		Predicted			
		ROSA		Percentage Correct	
Observed		yok	var	Sig.	
Step 1	ROSA	yok	112	5	95,7
		var	21	11	34,4
	Overall Percentage				82,6

Tüm bağımsız değişkenlerin aynı anda dahil edildiği regresyon modeli ile 149 adet yapılan tahminlerden 123 adedinde ROSA ile elde edilen ofis ortamı risk düzeyi doğru sınıflandırılmıştır. Tahmine ilişkin genel yüzde 82,6 olarak hesaplanmıştır.

Buna göre, ROSA ile elde edilen ofis ortamı risk düzeyi, çalışanların ergonomi hakkında bilgi sahibi olmaları, kas ağrısı değişkenlerine göre değişmektedir. Ayrıca bel ağrısı da ROSA ile elde edilen ofis ortamı risk düzeyini etkilemektedir. Birbirinden bağımsız değişkenlerden, modelde anlamlı bulunan ergonomi hakkında bilgi sahibi olmaları 3,93 kat, kas ağrısı 0,22 kat ve bel ağrısı da 26,74 kat bağımlı değişken olarak modelde yer alan ROSA ile elde edilen ofis ortamı risk düzeyi üzerinde odds oranına sahiptir. Bir başka ifadeyle çalışanın ergonomi hakkında bilgi sahibi olup olmaması ofisin risk durumunu 3,93 kat etkilemektedir. Buna göre ergonomi hakkında bilgi sahibi değilse 3,93 kat risk düzeyi artacaktır. Aynı şekilde bel ağrısı da 26,74 kat etkilemektedir.

Bu çalışma, bir kamu kurumunun toplam 9 ayrı başkanlığında uygulanmıştır. Çalışmaya, yaşları 23-64 aralığında değişen ve yaş ortalaması 40,27 olan 107 (%71,8) erkek, 42 (%28,2) kadın olmak üzere toplamda, 149 kişi katılım sağlamıştır. Katılım, kişilerin gönüllülük esasına dayanmaktadır. Toplamda, 14 (%9,4) katılımcı kas ağrılarının işe başlamadan önceki dönemde başladığını belirtmiştir. 85 (%57) katılımcı kas ağrılarının işe başladıktan sonra oluştuğunu belirtmiştir. 50 (%33,6) kişi ise, hiçbir kas ağrısına sahip olmadığını belirtmiştir.

Bağımlı değişken ROSA değeri ile cinsiyet, yaş, kronik sağlık problemi, kas ağrısı durumu, günlük bilgisayar kullanım süresi, ergonomi hakkında bilgi sahipliği düzeyi ve CMDQ değerlendirme ölçeği ile elde edilen veriler bağımsız değişken olarak regresyon modeline dahil edilmiştir. Analiz sonucunda; regresyon modelinde yer alması istatistiksel açıdan anlamlı bulunan bağımsız değişkenler Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Regresyon modelindeki değişkenler

		B	Sig.	Exp(B)
Step 1	Kas ağrısı (2)	-1,520	0,017	0,219
	Ergonomi hakkında bilgi düzeyi	1,368	0,019	3,928
	CMDQ (bel)	3,286	0,022	26,741

4. Sonuç ve öneriler

Kamu adına elektrik üretim santrallerinin işletme ve bakımı ile sorumlu olan Türkiye'nin en büyük elektrik üretim şirketi Elektrik Üretim A.Ş.'de yapılmış olan bu çalışmada, kurumun bazı başkanlıklarındaki ofislerin, ROSA ve CMDQ değerlendirme ölçekleri ile ofis ortamlarının ergonomik koşulları ve kas iskelet sistemi rahatsızlıkları değerlendirilmiştir. ROSA ve CMDQ yöntemlerinin eş zamanlı olarak uygulanmasıyla, çalışanların kendi doldurmuş oldukları CMDQ anketinde belirtmiş oldukları kas ağrılarının, gözlemci tarafından uygulanan ROSA ölçeği ile hesaplanan ofis ortamı risk düzeyi sonucunda, risk teşkil eden ofis ekipmanlarıyla ilişkili olup olmadığı karşılaştırılmıştır.

SPSS sonuçlarına göre;

- “Çalışanların ergonomi hakkında bilgi sahibi olması ofis ortamındaki riski azaltır.”
- “Kas ağrısı rahatsızlığı işe başladıktan sonra başlayan çalışanların ofis ortamı risklidir.”
- “Cornell Anketi kapsamındaki vücut bölümleri değerlendirmesine göre, bel ağrısı yaşayan çalışanların ofis ortamı risklidir.”

sonuçlarına ulaşılmıştır.

ROSA ve CMDQ sonuçlarına göre;

- Kurum çalışanlarında, istatistiksel olarak en çok ağrı hissedilen vücut bölgelerinin bel, boyun ve sırt bölgeleri olduğu gözlemlenmiştir. Bahsedilen bölgelerde ağrıya sebep olan faktörlerden biri oturma pozisyonlarındaki yanlışlıklardır.

Kötü bir oturma pozisyonu bel, boyun ve omuz kaslarında ağrı ve yorgunluğa bağlı problemlere neden olur. Nötral postür, stresi en aza indirmek, gücü ve kontrolü en iyi şekilde sağlamak için en uygun olan; sinir, tendon, kas, eklem ve omurga diskleri üzerinde minimum gerginlik veya basınç oluşturan vücut pozisyonudur. Aynı zamanda, kas boyları dinlenim halindeki uzunluğunda olduğundan -böylece ne kasılmış ne de gerilmiş pozisyonda oldukları için- maksimum kuvvetin en verimli şekilde sağlandığı ve korunabildiği pozisyonudur. Sabit pozisyonda uzun süre kalmaktan kaçınılması gerekir (Stack ve diğ., 2016). Uzun süre sabit pozisyonda çalışmak kan dolaşımını azaltır, kasın uzun süreli kontraksiyonu metabolik atıkların birikmesine ve yorgunluğa sebep olur. Herhangi bir aktivite sırasında iyi bir biyomekanik pozisyon şarttır, ancak herhangi bir pozisyonda uzun süre sabit bir şekilde kalınmamalıdır (Scaffa ve Reitz, 2001).

- ROSA değeri 5 ve üzeri (riskli) sonucu elde edilen çalışanlarda, en riskli puan alan ekipmanların sırasıyla; “sandalye”, “fare” ve “monitör” olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışanların mevcut durumdaki sandalyelerinde ayarlanabilir kolçaklar olmadığı, bel desteği ve boyun desteği olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışanların çoğunun kullandığı farelerde bilek destekli fare altlığı olmadığı görülmüştür. Mevcut durumda riskli çıkan monitörlerin çoğunun ekranında parlama sorunu görülmüştür ve monitörlerini masalarında uygun pozisyonda konumlandırmadıkları görülmüştür.

Ofiste kullanılan en önemli araçlardan biri de sandalyedir. Masanın altında, uyluk açıklığı için 2 inç (5 cm) boşluk olmalıdır. Sandalyenin ön kenarı ile popliteal bölge arasında da 2 inç boşluk olmalıdır, bu boşluk fazla olduğunda uyluklar tam olarak desteklenemez, bu durumda sandalye kullanıcı için fazla küçük demektir. Öte yandan popliteal bölge sandalyenin önüne çarpacak kadar az boşluk kaldığında ise, sandalye kullanıcı için fazla büyük demektir. Bel desteği, sırtın bel bölgesini destekleyecek şekilde konumlandırılmalıdır (Stack ve diğ., 2016).

Fare doğrudan klavyeye bitişik ve kişi oturma pozisyonunda iken farenin yüksekliği dirsek yüksekliğinde olmalıdır. Bilekler, mümkün olduğunca nötral pozisyonda olmalıdır. Monitör yüksekliği, oturan kişinin göz yüksekliğine eşit veya 20 derece altında olmalıdır. Gözler, doğal olarak aşağı bakabileceği için, göz yüksekliğinin altında olan yazılar kolaylıkla okunabilir. Göz yüksekliğinin üzerindeki herhangi bir şeyi okumaya çalışmak, kişinin boynunu öne uzatarak, başın tilt (eğim) yapmasını gerektirir. Çalışma ortamında, sürekli veya tekrarlanan başın öne doğru tilt hareketi ve gövdenin öne eğilmesi, omurga bozukluklarının oluşma riskini artırır (Yücel, 2020).

Çalışanların büyük bir kısmının sandalyelerinde bel desteği, boyun desteği, ayarlanabilir kolçaklar olmadığı gözlemlenmiştir.

Çalışma duruşunu etkileyen diğer bir unsur olan, ayakların altında bulunması gereken destek aparatının çoğu çalışmada bulunmadığı görülmüştür.

Ayak desteğinin faydalarından biri, sandalyeye göre boyu kısa olanların sandalyelerini masaya göre ayarladıkları zaman ayaklarının havada kalmamasıdır. Ayak altındaki destek, bacaklardaki baskıyı azaltarak kan dolaşımını kolaylaştırır ve derin ven trombozu oluşmasının önüne geçmesidir (Human solution, 2020).

Çalışanların çoğunda fare kullanırken el bileğini destekleyecek el/bilek destekli fare altlığı olmadığı gözlemlenmiştir.

Fareyi kullanırken, bilekler mümkün olduğunca nötral pozisyonda olmalıdır. El/bilek ağrısının önlenmesi ve daha büyük kompresyonlara sebebiyet vermemesi açısından fareyle beraber el/bilek desteği sağlayan fare altlığının da kullanılması büyük önem teşkil etmektedir. Ancak bazen, yanlış kullanıldıklarından önerilmez. Bilek desteklerini dinlenme yeri olarak kullanmak yerine, bilekler için park yeri olarak kullanıp sabitlemek bileklere daha fazla zarar vermektedir. Bilek destekleri kullanılıyorsa, uygun kullanım konusunda eğitim verilmelidir. Sert plastik tipte olanlar yerine yumuşak jel tipi olanlar tercih edilmelidir. Çok yüksek seviyede konumlandırılan bir fare boyun, omuz ve kolda rahatsızlığa sebep olabilir (Stack ve diğ., 2016). Klavyenin de yüksekliği en fazla 2-2,5 cm arasında olmalıdır (Bayrakçıoğlu, 2018).

Çoğu çalışanın kullandığı bilgisayar ekranının parlama yaptığı gözlemlenmiştir.

Göz sağlığının korunabilmesi amacıyla monitör ekranının mat olması, gözü rahatsız etmemesi, ortam aydınlatması ile uyumlu parlaklığa sahip olması önemlidir. Ortam aydınlatması, bir odanın genel aydınlatmasıdır (Stack ve diğ., 2016). Parlama dikkat dağıtan bir unsurdur, irisin kontraksiyonuna bağlı olarak göze giren ışık miktarında azalmaya ve göz yorgunluğuna neden olur (Grandjean ve Kroemer, 1997). Monitörü pencerelelere dik açıda yerleştirmek, perde ve benzeri yardımcıları ile gölgelendirme yapma, monitörün üstünde ışığın ekrana çarpmasını önleyen bir başlık veya monitör filtresi kullanmak parlamayı önleyebilir (Stack ve diğ., 2016).

Kurumun sosyal şartlar açısından geniş imkanlara sahip olduğu görülmüştür. Çay ve kahve içme alanları, yemekhaneleri, bahçede geniş yürüyüş ve veranda gibi oturma alanları, çalışanların yorulduklarında bu alanlardan yararlanabilmesi için yeterli görülmüştür. Bu da, çalışanların ruh hallerine olumlu etkide bulunup, genel anlamda iyi olma hallerinin artmasına sebebiyet vermekte ve verimliliğe olumlu etkide bulunacağı değerlendirilmektedir.

Çalışanlar, kendilerini rahat hissettikleri çalışma ortamlarında daha güvenli hissederler. Çalışma ortamının koşulları kötü olursa, bu durum psikolojik olarak da olumsuz bir etki yaratır ve çalışanların işyerindeki verimliliğini ve üretkenliğini düşürür (Üçüncü, Taşdemir ve Aydın, 2009).

Bu çalışma kamu kurumunda yapıldığı için elde edilen sonuçlar, diğer kamu kurumları ve içerisinde ofis barındıran bütün iş yerlerinde kullanılabilir. Çalışmada uygulanan yöntemler, ofis ortamına sahip farklı iş yerlerindeki ergonomik risklerin değerlendirilmesinde uygulanabilir.

Daha ileri bir çalışma olarak, uygulama daha geniş kitleler için gerçekleştirilebilir. Bu sayede, elde edilecek sonuçlarla daha sağlıklı bir ofis ortamında, hem kamu hem de özel sektörde işgücü verimliliği artırılabilir.

Araştırmacıların katkısı

Bu araştırmada; Eda EKİN, bilimsel yayın araştırması, verilerin toplanıp analiz edilmesi, yöntem uygunluk araştırması, yöntemin uygulanması ve yorumlanması, sonucun yorumlanması ve makalenin oluşturulması; Müge UĞUR ÖZÇELİK, bilimsel yayın araştırması, makale sürecinin tamamının yönetimi ve kontrolü, yöntem uygulamaların doğruluk kontrolü, makale sıralamasının oluşumu; Nermin AVŞAR ÖZCAN, bilimsel yayın araştırması yeterliliğinin incelenmesi, yöntem uygunluk incelemesi, uygulama süreç incelemesi, sonuçların incelenmesi ve genel makale incelemesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması meydana gelmemiştir.

Kaynakça

Akay, D., Kurt, M. ve Dağdeviren, M. (2003). Ergonomic analysis of working postures. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 18(3), 73-84. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/297572431_Ergonomic_analysis_of_working_postures (ET: 09.07.2020)

Aksüt, G., Eren, T. ve Tüfekçi, M. (2021a). Tekstil sektör çalışanlarının maruz kaldığı ergonomik risklerin analitik ağ süreci ile değerlendirilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(1), 231-242. <https://doi.org/10.29137/umagd.798215>

- Aksüt, G., Eren, T. ve Tüfekçi, M. (2021b). Tekstil sektöründe kadın çalışanların maruz kaldığı ergonomik risklerin çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlenmesi. *Endüstri Mühendisliği*, 32(1), 12-33. <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.789642>
- Aksüt, G., Eren, T. ve Tüfekçi, M. (2020). Ergonomik risk faktörlerinin sınıflandırılması: bir literatür taraması. *Ergonomi*, 3(3), 169-192. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.773896>
- Bayrakçoğlu, E. (2018). *Bilgisayar kullanıcılarının ergonomik çalışma koşullarının incelenmesi* (Yüksek lisans tezi.... veri tabanından erişildi (507168).
- Bekleviç, H. ve Gedik, T. (2018). Ofis ergonomisi üzerine bir araştırma: düzce üniversitesi örneği, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 1283-1294. <https://doi.org/10.29130/dubited.377456>
- Boydan, H. (2017). *Cerrahi klinikte çalışan hemşirelerin kas-iskelet sistemine yönelik yakınmaları ve etkileyen faktörler* (Yüksek lisans tezi)....veri tabanından erişildi (484020).
- Çelik, G. (2019). Orantısız odds lojistik regresyon modeli için uyum iyiliği testlerinin performanslarının benzetim çalışması ile değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi)....veri tabanından erişildi (578821).
- Grandjean, E. & Kroemer, K. H. (1997). *Fitting the task to the human: a textbook of occupational ergonomics*. CRC Press.
- Güler, Ç. (1988). *İş güvenliği kavramı ve ergonomi ile ilişkisi*, İSGÜM.
- Güler, Ç. (2001). *Ergonomiye giriş (ders notları)*. Ankara Tabip Odası.
- Güler, Ç. (2004). *Sağlık boyutuyla ergonomi hekim ve mühendisler için*. Palme Yayıncılık.
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S. (2000). *Applied logistic regression*. John Wiley&Sons.
- Human solution. (2020). Erişim adresi: <https://www.thehumansolution.com/blog/top-5-reasons-why-you-need-a-footrest/> (ET: 09.07.2020)
- Lewis, R. J., Fogleman, M. & Deeb, J. (2001). Effectiveness of a VDT ergonomics training program. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27, 119-131. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(00\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(00)00043-3)
- Liao, T. F. (1994). *Interpreting probability models: logit, probit, and other generalized linear models*. Thousand Oaks.
- Mahmud, N., Bahari, S. F. & Zainudin, N. F. (2014). Psychosocial and ergonomics risk factors related to neck, shoulder and back complaints among Malaysia office workers. *Computer*, 4(4), 260-263. doi: <https://doi.org/10.7763/IJSSH.2014.V4.359>
- Özkan, N. F. ve Kahya, E. (2017). Bir üniversitenin idari ofislerindeki ergonomik risklerin değerlendirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 141-150. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.300603>
- Rempel, D. M., Krause, N., Goldberg, R., Benner, D., Hudes, M. & Goldner, G.U. (2006). A randomised controlled trial evaluating the effects of two workstation interventions on upper body pain and incident musculoskeletal disorders among computer operators. *Occupational & Environmental Medicine*, 63, 300-306. doi: <https://doi.org/10.1136/oem.2005.022285>
- Sabancı, A. (1999). *Ergonomi*. Harput Ofset.
- Scaffa, M. E. & Reitz, S. M. (2001). *Occupational therapy in community-based practice settings*. F.A. Davis Company.
- Sen, R. O., Özcan, E., Karan, A. & Ketenci, A. (2004). Musculoskeletal system diseases in computer users: effectiveness of training and exercise program. *Journal of Back Musculoskeletal Rehabilitation*, 17, 9-13. doi: <https://doi.org/10.3233/BMR-2004-17103>
- Sonne, M., Villalta, D. L. & Andrews, D. M. (2012). Development and evaluation of an office ergonomic risk checklist: ROSA–Rapid office strain assessment. *Applied Ergonomics*, 43(1), 98-108.
- Stack, T., Ostrom, L. T. & Wilhelmsen, C. A. (2016). *The basics of ergonomics in occupational ergonomics: a practical approach*. John Wiley & Sons.
- Tanır, F., Güzel, R., İşsever, H. ve Çalışkan Polat, U. (2013). Bir otomotiv fabrikasında kas-iskelet sorunları ve istirahat raporu alanlara verilen ergonomi ve egzersiz eğitimi sonuçları. *Türk Fiziksel Tıp Rehabilitasyon Dergisi*, 59, 214-221. doi: <https://doi.org/10.4274/tftr.28482>

Üçüncü, K., Taşdemir, C. ve Aydın, A. (2009). Çalışma ortamı ve özelliklerinin öğretim üyeleri tarafından değerlendirilmesi. *15. Ulusal Ergonomi Kongresi*. 61-71, Konya.

Van den Heuvel, S. G., De Looze, M. P. & Hildebrandt, V. H. (2003). Effects of software programs stimulating regular breaks and exercises on work-related neck and upper-limb disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 29, 106-116. doi: <https://doi.org/10.5271/sjweh.712>

Yücel, H. (2020). *Aktivite temelli ergoterapi*, Hipokrat Kitapevi.

Ekler

Ek 1. Sosyodemografik bilgi formu

SOSYODEMOGRAFİK BİLGİ FORMU

1. Bağlı Bulunduğunuz Başkanlık ve Müdürlük:

2. Adı – Soyadı:|

3. Yaşı:

4. Cinsiyeti:

Kadın Erkek

5. Bilinen sağlık probleminiz var mı?

Evet Hayır

Cevabınız evet ise nedir?

6. Boyunuz nedir?

7. Kilonuz nedir?

8. Ortalama bir günde bilgisayar başında kaç saat geçiriyorsunuz?

1 saatten az 1-3 saat arası 3 saat ve daha fazla

9. Kas-İskelet sistemiyle ilgili şikayetleriniz var mı?

Evet Hayır

Cevabınız evet ise nedir?

Boyun ağrısı

Omuz ağrısı

Dirsek ağrısı

El bileği ağrısı

Sırt ağrısı(kürek kemikleri üzerinde)

Bel ağrısı

Diz ağrısı

Ayak bileği ağrısı

10. Ağrınız varsa ne zaman başladı?

İşe başlamadan önce başladı

İşe başladıktan sonra başladı

11. Ağrınız varsa, ne kadar süredir devam ediyor?

12. Ne Zaman Ağrınız Oluyor?

Her zaman Oturduğum Zaman Ayakta çok kaldığım zaman

13. Ergonomi hakkında bir bilginiz var mı?

Evet Hayır

Varsa ilk olarak nereden duyduunuz?

Ek 2. Cornell kas ve iskelet anketi

Aşağıdaki resim, ankette sorulan vücut bölümlerini yaklaşık olarak göstermektedir. Lütfen uygun kutucuğu işaretleyerek cevaplayınız.



	Geçtiğimiz hafta çalıştığımız süre boyunca, vücudunuzda ne sıklıkta ağrı, sızı, rahatsızlık hissettiniz? (Her vücut bölümü için cevaplayınız)					Eğer ağrı,sızı,rahatsızlık hissettiyseniz, ne kadar şiddetliydi?			Eğer ağrı,sızı,rahatsızlık hissettiyseniz, bu işinizi yapmanıza engel oldu mu?		
	Hiç hissetmedim	Hafta boyunca 1-2 kez hissettim	Hafta boyunca 3-4 kez hissettim	Her gün bir kez hissettim	Her gün bir çok kez hissettim	Hafif şiddetliydi	Orta şiddetliydi	Çok şiddetliydi	Hiç engel olmadı	Biraz engel oldu	Çok engel oldu
Boyun	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Omuz											
	(Sağ)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(Sol)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sırt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Üst Kol (omuz - dirsek arası)											
	(Sağ)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(Sol)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ön Kol (dirsek - bilek arası)											
	(Sağ)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(Sol)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
El Bileği											
	(Sağ)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(Sol)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kalça	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Üst Bacak (kalça - diz arası)											
	(Sağ)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(Sol)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diz											
	(Sağ)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(Sol)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alt Bacak (diz - ayak arası)											
	(Sağ)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(Sol)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ayak											
	(Sağ)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(Sol)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ek 3. Rosa ölçeği

Fare



Fare omuzla aynı ekseninde (1)	Fareye ulaşmak için kol açılıyor (2)	Fare ve klavye farklı yüzeyler üzerinde (+2)	Fareyi kavramak için parmaklar bükülüyor (+1)	Farenin önünde el/bilek desteği var (+1)
--------------------------------	--------------------------------------	--	---	--

Klavye



Bilek düz, omuzlar rahat (1)	Bilek bükülüyor. Klavye açısı var. (Dışa doğru bükme açısı > 15°) (2)	Yazma sırasında bilekler yanlara doğru bükülüyor (+1)	Klavye çok yüksekte. Omuzlar yukarı kalkıyor (+1)	Başüstü elemanlara uzanma gerekiyor (+1)
------------------------------	---	---	---	--

Monitör



Monitör açık kol mesafesinde (40-75 cm) ve göz seviyesinde (1)	Monitör çok aşağıda (<30°) (2) Monitör çok uzakta (+1)	Monitör çok yukarıda. Boyunu kaldırmak gerekiyor (3)	Boyunu 30°den fazla döndürmek gerekiyor. (+1)	Ekranda parlama var (+1)	Evrak tutacağı yok (+1)
--	---	--	---	--------------------------	-------------------------

Telefon



Kulaklık var veya tek el telefonu tutuyor & doğal boyun pozisyonu (1)	30 cm'den daha fazla uzanma gerekiyor (2)	Telefon boyun ve omuz arasında tutuluyor (+2)	Eller Serbest özelliği yok. (+1)
---	---	---	----------------------------------

Sandalye Yüksekliği



Dizler 90° açıda (1)	Çok Alçak-Diz açısı < 90° (2)	Çok Yüksek-Diz açısı > 90° (2)	Ayaklar yere temas etmiyor (3)	Masa altında alan yetersiz-Bacak bacak üstüne atılmıyor (+1)	Ayarlanabilir Değil (+1)
----------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--	--------------------------

Oturma Yüzeyi Derinliği



Oturma yüzeyi kenarı ile diz arası mesafe yaklaşık 3 inç (7,62 cm) (1)	Oturma yüzeyi kenarı ile diz arası mesafe < 3 inç (2)	Oturma yüzeyi kenarı ile diz arası mesafe > 3 inç (2)	Ayarlanabilir Değil (+1)
--	---	---	--------------------------

Kolçaklar



Dirsekler omuzlarla aynı ekseninde desteklenmiş, omuzlar rahat (1)	Kolçaklar çok yüksek veya düşük. Omuzlar rahat değil ya da kolçak bulunmuyor (2)	Kolçak yüzeyi sert veya hasarlı (+1)	Kolçakların arası çok geniş (+1)	Ayarlanabilir Değil (+1)
--	--	--------------------------------------	----------------------------------	--------------------------

Sırt Desteği



Bel desteği yeterli. Destek eğimi 95°-110° arası. (1)	Bel desteği yok veya bel pozisyonuna denk gelmiyor (2)	Destek eğimi çok geniş (>110°) ya da çok dar açıda (<95°) (2)	Sırt desteği hiç yok veya çalışan öne eğiliyor (2)	Çalışma yüzeyi çok yüksek. Omuzlar yukarı kalkıyor. (+1)	Ayarlanabilir Değil (+1)
---	--	---	--	--	--------------------------

Ek-4. Rosa genel risk skorunun hesaplanma tablosu

		KOLÇAK VE SIRT DESTEĞİ							
		2	3	4	5	6	7	8	9
OTURMA YÜZEYİ YÜKSEKLİĞİ/DERİNLİĞİ	2	1	2	3	4	5	6	7	8
	3	2	2	3	4	5	6	7	8
	4	3	3	3	4	5	7	7	8
	5	4	4	4	4	5	7	7	8
	6	5	5	5	5	5	8	8	9
	7	6	6	6	7	7	8	9	9
	8	7	7	7	8	8	9	9	9
	9	8	8	8	8	8	9	9	9

		MONİTÖR							
		0	1	2	3	4	5	6	7
TELEFON	0	1	1	1	2	3	4	5	6
	1	1	1	2	2	3	4	5	6
	2	1	2	2	3	3	4	6	7
	3	2	2	3	3	4	5	6	8
	4	3	3	4	4	5	6	7	8
	5	4	4	5	5	6	7	8	9
	6	5	5	6	7	8	8	9	9

		KLAVYE							
		0	1	2	3	4	5	6	7
FARE	0	1	1	1	2	3	4	5	6
	1	1	1	2	3	4	5	6	7
	2	1	2	2	3	4	5	6	7
	3	2	3	3	3	5	6	7	8
	4	3	4	4	5	5	6	7	8
	5	4	5	5	6	6	7	8	9
	6	5	6	6	7	7	8	8	9
	7	6	7	7	8	8	9	9	9

		FARE-KLAVYE-TELEFON VE MONİTÖR									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SANDALYE	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	3	3	3	3	4	5	6	7	8	9	10
	4	4	4	4	4	5	6	7	8	9	10
	5	5	5	5	5	5	6	7	8	9	10
	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9	10
	7	7	7	7	7	7	7	7	8	9	10
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	10
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

		FARE VE KLAVYE								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
MONİTÖR VE TELEFON	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2	2	2	3	4	5	6	7	8	9
	3	3	3	3	4	5	6	7	8	9
	4	4	4	4	4	5	6	7	8	9
	5	5	5	5	5	5	6	7	8	9
	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9
	7	7	7	7	7	7	7	7	8	9
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ROSA FİNAL PUANI:



Journal of Turkish Operations Management

Yeşil araç rotalama problem araştırması: Geçmiş ve gelecek eğilimler

Esra Boz^{*}, Furkan Aydınca Aras²

¹KTO Karatay Üniversitesi, Konya

e-mail: esrayasaarr@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1522-1768>

²KTO Karatay Üniversitesi, Konya

e-mail: furkanaydncanaras99@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8141-8067>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 15.06.2021

Revize: 12.08.2021

Kabul: 17.08.2021

Anahtar Kelimeler

Sürdürülebilirlik,
Yeşil araç rotalama problemi,
Literatür taraması

Özet

Araç Rotalama Problemi, geniş uygulama alanları ve küresel erişimi nedeniyle literatürde çeşitli açılardan ele alınan ve iyi bilinen bir problemdir. Günümüzde oldukça güncel Yeşil Araç Rotalama Problemi (YARP) ise bir Araç Rotalama Problemi çeşididir ve sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi amacıyla oluşturulmuştur. YARP, rotalama maliyetlerinin yanı sıra çevresel faktörleri de en iyilemeye çalışarak hem çevreye hem de şirketlere katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada, ele alınan problem olan YARP için 2015-2020 yılları arasında İngilizce dilinde yayınlanan çalışmalar belirli araştırma soruları kapsamında incelenmiş olup konu ile ilgili eğilimler ve geleceğe yönelik öneriler verilmiştir.

Green vehicle routing problem research: Past and future trends

Article Info

Article History:

Received: 15.06.2021

Revised: 12.08.2021

Accepted: 17.08.2021

Keywords

Sustainability,
Green vehicle routing problem,
Literature review

Abstract

The Vehicle Routing Problem is a well-known problem that is addressed in the literature from a variety of perspectives due to the large range of application fields and its global reach. The Green Vehicle Routing Problem is a kind of Vehicle Routing Problem that was established in order to ensure sustainability. By trying to optimize environmental considerations as well as routing costs, the green vehicle routing problem improves both the environment and businesses. The studies published in English between 2015 and 2020 for the addressed problem, Green Vehicle Routing Problem, were reviewed within the scope of specific research questions in this study, and trends and recommendations for future works were provided.

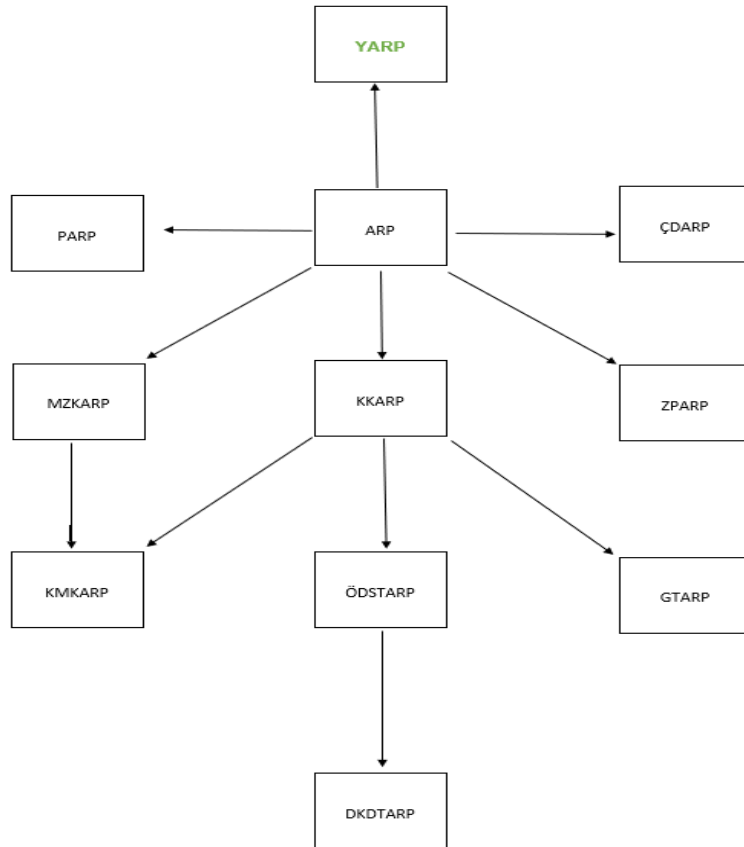
1. Giriş

Araç Rotalama Problemi, bir veya birkaç depodan müşterilere ürün dağıtımını ya da toplanmasıyla ilgilenen bir kombinatoriyal problem türüdür. Araç Rotalama Probleminin (ARP) amacı Keskinürk'e göre; "Merkezi bir depodan çeşitli konumlarda yer alan müşterilere benzer veya farklı kapasitelere sahip araçlarla ürünleri dağıtmak için gerekli toplam uzaklık ve seyahat sürelerini minimize etmektir" (Keskinürk, Topuk ve Özyeşil, 2015). ARP, kombinatoriyal bir optimizasyon problemi olan Gezgin Satıcı Probleminin geliştirilmiş halidir. Konuyla ilgili ilk

araştırma Dantzig ve Ramser (1959) tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada bir istasyondan yapılan benzin teslimatları düşünülmüştür. Bu çalışma ile birlikte literatürde çeşitli yönlerden, çeşitli uygulama alanlarında ARP çalışılmaya başlanmıştır.

Genel olarak bakıldığında ARP için farklı alanlarda uygulama fırsatları mevcuttur. Gerçek hayatta dağıtım ve toplama problemlerinde uygulanabilir. Bu problemin kullanım alanlarına; yakıt dağıtımı, banka teslimatları, ekmek dağıtımı, süt dağıtımı, servis araçlarının personel toplaması, atık toplama, şirketlerin ürün dağıtımları, palet toplama, belediye otobüslerinin rotalarının belirlenmesi şeklinde örnekler verilebilir. Kısacası her türlü dağıtım ve toplama problemleri olarak ifade edilebilir (Orhan ve diğ., 2010; Flood, 1956; Dantzig ve diğ., 1957; Irnishi, 2008; Demiral, 2008)

ARP gerçek hayatta da oldukça sık uygulanabilen bir problem olduğu için uygulama alanlarına göre farklı biçimlerde sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar sistem durumlarına göre (yol durumu, araç durumu vb.) değişmekle birlikte aşağıdaki şekilde ifade edildiği gibi genel anlamda Periyodik ARP (PARP), Çoklu Depolu ARP (ÇDARP), Mesafe ve Zaman Kısıtlı ARP (MZKARP), Kapasite Kısıtlı ARP (KKARP), Zaman Pencereci ARP (ZPARP), Kapasite Mesafe ve Zaman Kısıtlı ARP (KMKARP), Önce Dağıt Sonra Topla ARP (ÖDSTARP), Geri Toplamalı ARP (GTARP), Depo Kaynak ve Hedef Dağıt Topla ARP (DKHDTARP) ve Yeşil ARP (YARP) olmak üzere çeşitlere ayrılır.



Şekil 1. ARP ve çeşitleri

ARP çeşitlerinden biri olan (YARP) alternatif yakıtla çalışan araç filolarına sahip kuruluşların, sınırlı yakıt ikmal altyapısı ile birlikte sınırlı araç sürüş menziline bir sonucu olarak ortaya çıkan zorlukların üstesinden gelmelerine yardımcı olmak için formüle edilmiş olan bir problemdir (Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012).

YARP, temelde yakıt tüketimi ve gaz emisyonu gibi çevresel faktörleri önemseyen bir yol planı tasarlanmasını amaçlamaktadır. Klasik ARP 'de ise bunlar dikkate alınmaz yalnızca seyahat uzunluğu dikkate alınır ve böylelikle gerçeklikten uzaklaşmaktadır. Böylelikle, YARP, Klasik ARP 'den farklı olarak Klasik ARP' nin önemsemekte olduğu toplam seyahat uzunluğunu ve bununla birlikte araçların yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu da önemseyerek

en aza indirgemeye çalışmaktadır. YARP' nin amacı, müşteri taleplerini karşılamak için tek bir depodan ayrılan bir dizi homojen araç filosunun en uygun rotalarını bulmaktır (Karadurmuş ve diğ. 2019).

YARP' nin ve yeşil olmanın tanımlarına bakıldığında zaman görülür ki ikisi de çevrenin korunmasına yönelik hedefler içermektedir. Çevrenin korunması, kirliliği azaltmak ve doğal kaynakları korumak gibi amaçlarla sağlanmaktadır. Bu konuda, bu amaçlar doğrultusunda olan bir terim daha dikkat çekmektedir. Bu terim ise son yıllarda artan önemiyle göze çarpan bir kavram olan sürdürülebilirliktir. Sürdürülebilirlik, üretim ve çeşitliliğin devamlılığı sağlanırken insanlığın yaşamının daimi olması anlamına gelmektedir. İşletme faaliyetlerinin içerisinde çok önemli bir görevi bulunmasından dolayı, özellikle tedarik zinciri sistemleri içerisinde oldukça önem arz eden bir konu durumuna gelmiştir. Sürdürülebilir lojistik; çevresel, finansal ve sosyal faktörleri dikkate alarak sürdürülebilir bir şekilde mal üretmek ve dağıtmak anlamına gelmektedir. Lojistik alanında sürdürülebilirliğin en büyük uygulama alanı ise tedarik zinciridir.

Sürdürülebilir tedarik zincirlerinin artan önemi ile birlikte, sadece parasal olarak maliyetleri düşürmekle kalmayıp aynı zamanda iklim değişikliği, hava kirliliği ile ilgili maliyetleri de düşürerek müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, kaçınılmaz olarak lojistik faaliyetlerin yeşillendirilmesine odaklanılmıştır (Wichaisri ve Sopadang, 2013).

YARP 'ler çevresel nedenlerle birçok firma için dikkat çeken bir konudur. Fosil yakıtla çalışan araçların sayısındaki artış tüm dünyada kirli hava emisyonlarını artırmaktadır. Sera Gazı ile ilgili farklı ülkelerdeki ölçümler sorunun ciddiyetini göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın 2016 raporuna göre, ulaşımdaki sera gazı emisyonlarının %83'ünün nedeni hafif, orta ve ağır hizmet kamyonlarıdır. Yayılan toplam GHG'nin %96,7'si CO₂'dir. 1990'dan 2016'ya kadar sera gazı emisyonlarına hafif hizmet kamyonlarının neden olduğu zarar %14,4, orta ve ağır hizmet kamyonlarının neden olduğu zarar %84,9 artmıştır (EPA, 2018). (Kazım, 2019). Bu veriler yeşilin ve bahsedilen konu olan YARP' nin uluslararası düzeyde önem verilen bir konu olma gerekliliğini göstermektedir. Bu konuyla alakalı bazı anlaşmalar yapılmıştır. Bunlardan biri de çevreye verilen zararın azalmasını hedefleyen, uluslararası bir anlaşma olan, Kyoto Protokolü'dür. Kyoto Protokolü, karbondioksit (CO₂) emisyonlarını ve atmosferdeki sera gazlarının (GHG) varlığını azaltmayı amaçlayan uluslararası bir anlaşmadır. Kyoto Protokolünün temel ilkesi, sanayileşmiş ülkelerin CO₂ emisyonlarını azaltmaları gerektiğidir.

Kyoto Protokolünün temel başlıklarından bazıları ifade edildiği gibidir (Şahin, 2016): (I) Fosil yakıtlar yerine farklı yakıtlar, örneğin bio-dizel yakıt kullanılmalıdır. (II) Atmosferde bulunan metan ve karbondioksit oranlarının azaltılması için alternatif enerji kaynaklarına yönlendirilmelidir. (III) Daha az enerji tüketen araçlarla daha uzun yolların alınması, daha az enerji tüketen teknolojik sistemlerin sanayiye yerleştirilmesi sağlanmalı; dağıtımda, toplamada çevrecilik temel ilke olmalıdır.

Kyoto Protokolünün temel başlıkları incelendiğinde, YARP' nin amaç fonksiyonları ile birebir örtüştüğü görülmektedir. Örnek olarak; toplam gaz emisyonunu ve tüm rotaların maksimum seyahat süresini en aza indirmek gibi maddeler aynı doğrultuda ilerlendiğini ifade etmektedir. Böylelikle; Kyoto protokolü ve YARP aynı amaçlara hizmet etmektedir.

Bu çalışmada YARP konusu için bilimsel bir yazın taraması yapılmış ve geçmiş ve gelecekteki trendler tespit edilmeye odaklanılmıştır. Çalışmanın amacı, araştırmacılara konu ile ilgili genel bir yazın sunmak ve alandaki ilgili boşlukları ifade ederek araştırmacıların yararlanmasını sağlamaktır.

Bu çalışmanın devamında 2. başlık olarak bilimsel yazın taraması ifade edilmiştir. Bu başlık altında konu ile ilgili tespit edilen araştırma soruları, araştırma kapsamı, yöntemi verilmiş, çalışmalar genel anlamda aktarılmıştır. 3. başlıkta çalışmaya ilişkin bulgulara yer verilmiştir. Bilimsel yazın taramasından elde edilen bulgular gösterilmiş, analiz sonucunda ortaya çıkan sonuçlar detaylı bir şekilde eklenmiştir. Son başlık olan 5. başlıkta ise bulgulara dayanarak sonuçlar ifade edilmiş, geleceğe yönelik çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Mevcut literatürde YARP ile ilgili çeşitli bilimsel yazın tarama çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalarda YARP için mevcut kaynakların analizleri yapılmış, çeşitli yönleri ile problem incelenmiştir (Park ve Chae, 2014; Lin ve diğ., 2014; Moghdani ve diğ., 2020; Asghari ve Al-e, 2020).

Literatürdeki bu konu ile ilgili ilk çalışma Palmer (2007) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, karayolu taşımacılığının CO₂ emisyonuna etkisi üzerinde durulmuştur. Çalışmanın amacı karayolu taşımacılığından yayılan

toplam CO2 miktarının yanı sıra zaman ve mesafeyi minimize edecek bir rotalama modeli geliştirmektedir. Bu çalışmanın ardından ise ikinci çalışma Apaydın ve Gonullu (2008) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada emisyonların ve yakıt tüketiminin en aza indirilmesi üzerine çalışılmış ve bu konuda formülasyon ve çözüm yöntemleri sunulmuştur. Bu çalışmanın da ardından konu ile ilgili çalışmalar literatüre eklenmeye başlanmıştır. (Figliozi, 2010; Bektaş ve Laporte, 2011; Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012)

Aşağıdaki tabloda ifade edildiği üzere YARP konusu literatürde son zamanlarda yoğun bir şekilde çalışılmaya başlanmıştır. Bu literatür kapsamında belirli veri tabanlarına göre başlığında “Yeşil Araç Rotalama Problemi” geçen çalışmaların analizi Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü üzere yayın sayısı fazla olduğu için incelenecek olan çalışma sayısının azaltılması yoluna gidilmiştir.

Tablo 1. Literatür Analizi

Veri tabanları	2010-2020	Tüm zamanlar
Google scholar	190	210
Web of Science	106	111
Scopus	136	146

Bu çalışmada, başlığında “Yeşil Araç Rotalama Problemi” geçen çalışmaların Ek-1 de verildiği üzere yalnızca 40 tanesi analiz edilmiştir. Bu makalelerin seçimi ise atıf sayıları ve dergi indeksine göre düzenlenmiştir.

Literatür analizine başlamadan önce, çalışmalara ulaşıldığı zaman neye göre analiz edileceğini belirlemek gerekmektedir. Bu yüzden araştırma soruları oluşturulmuş ve çalışmalar bu kapsamda analiz edilmişlerdir. Bu araştırma soruları aşağıdaki gibidir:

1. YARP farklı problemlerle entegre olarak çalışılmış mıdır?
2. Problem hangi yöntemlerle çözülmüştür?
3. Çözümün performans analizi neye göre yapılmıştır?
4. Çalışmanın literatüre sağladığı katkı nedir?

Bu araştırma soruları kapsamında analiz edilmek istenen konunun mevcut durumu, geçmiş ve gelecek trendlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. İncelenen çalışmalar çözüm yöntemlerine göre gruplanacak olursa;

YARP için çözüm yöntemi olarak birçok farklı algoritma seçilmiş ve kullanılmıştır. Bunlar arasında dal kesme algoritması Leggieri ve Haouari (2017); yinelenen ışın arama algoritması Yavuz (2017); kelebek optimizasyon algoritması Utama, Vidodo, İbrahim ve Dewi, (2020); memetik algoritma Peng, Zhang, Gaipa ve Chen, (2019) tarafından yapılan çalışmalar vardır. Bunların yanı sıra Li, Soleimani ve Zohal, (2019) ve Zhang, Gaipal, Appadoo ve Wei, (2020) çalışmalarında karınca kolonisi optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Sruthi ve diğ. (2019) ve Xiao ve Konak (2017) çalışmalarında genetik algoritma; Zulvia, Kuo ve Nuhroho, (2020) ve Zhang ve diğ. (2020) çalışmalarında evrim algoritması; Wang, Assogba, Fan, Xu, Liu ve Wang, (2019b) ve Alinaghian, Kaviani ve Khaledan, (2015) çalışmalarında Clarke ve Wright algoritmasını kullanmışlardır. YARP için benzetilmiş tavlama algoritması ile çözüm yöntemi geliştirilen çalışmalar da literatürde mevcuttur. (Küçüköğlü ve diğ. 2015; Normasari ve diğ. 2019; Nosrati ve Khamseh 2020; Kazemian ve Aref 2017; Gao ve Zhao 2018). Bu problemi komşuluk arama algoritması kullanarak çözen çalışmalar ise literatürde geniş bir yer bulmaktadır. (Affi diğ., 2018; Macrina ve diğ., 2019a; Majidi ve diğ., 2017; Xiao ve Konak, 2016; Messaoud ve diğ., 2018; Matos ve diğ., 2018; Yu ve diğ., 2020; Peng ve diğ., 2020).

Literatürde metasezgisel ve kesin yöntemle çözülen çalışmalara ilave olarak sezgisel algoritmalar ile çözülen çalışmalar da mevcuttur (Karadurmuş ve Erdoğan, 2019; Bakeshloo ve diğ., 2016; Bruglieri ve diğ., 2016); Mirmohammadi ve diğ., 2017; Poonthalir ve Nadarajan, 2019; Çimen ve Soysal, 2017; Macrina ve Guerriero, 2018; Zhou ve Lee, 2017; Macrina ve diğ., 2019b; Rezaei ve diğ., 2019; Ene ve diğ., 2016; Abdoli ve diğ., 2019; Soysal ve Çimen, 2017; Wang ve diğ., 2019b; Masghati-Amoli ve Haghani, 2020).

İncelenen çalışmalarda yalnızca YARP'ın yanı sıra 7 farklı problem çeşidi bulunmaktadır. Bunlar arasında Kapasite kısıtlı YARP (Normasari ve diğ., 2019); dinamik YARP (Messaoud ve diğ., 2018); müşteri memnuniyet kriterli YARP (Bakeshloo ve diğ., 2016) vardır.

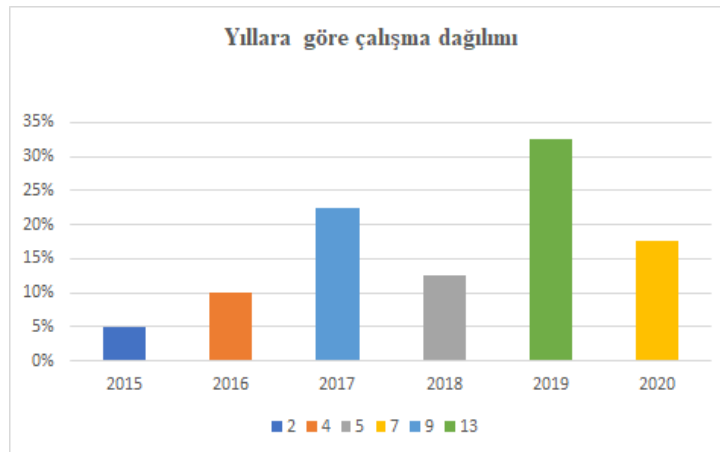
Problem çeşidi çok depolu YARP olan çalışmalar Wang ve diğ. (2019b) ve Zhang ve diğ. (2020) tarafından, Bulanık YARP olan çalışmalar ise Wang, Zhou, Yi ve Pantelous, (2019a) ve Majidi, Hosseini-Motlagh, Yaghoubi ve Jokar, (2017) tarafından yapılmıştır.

Bunların dışında Zaman bağımlı YARP ve Zaman pencereli YARP de çalışmalarda yer almaktadır. Problemi Zaman bağımlı YARP olan çalışmalar Mirmohammadi, Babae Tirkolae, Goli ve Dehnavi-Arani, (2017), Amoli ve Haghani (2020), Soysal ve Çimen (2017) tarafından; problem çeşidi Zaman Pencereli YARP olan çalışmalar ise Zulvia, Kuo ve Nugroho, (2020), Küçüköğlü, Ene, Aksoy ve Öztürk, (2015), Kunnapapdeelert ve Klinsrisuk (2019), Macrina, Pugliese, Guerriero ve Laporte (2019b), Rezaei, Ebrahimnejad, Moosavi ve Nikfarjam, (2019), Kazemian ve Aref (2017) tarafından yapılmıştır.

Problem çeşidi yalnızca YARP olan çalışmalar ise Leggieri ve Haouari (2017), Li ve diğ. (2019), Karadurmuş, Erdoğan, Özkan ve Köseoğlu, (2019), Bruglieri, Mancini, Pezzella ve Pisacane, (2016), Affi, Derbel ve Jarboui, (2018), Poonthalir ve Nadarajan (2019), Macrina, Pugliese, Guerriero ve Laporte, (2019a), Çimen ve Soysal (2017), Macrina ve Guerriero (2018), Yavuz (2017), Zhou ve Lee (2017), Xiao ve Konak (2016), Sruthi, Anbuudayasankar ve Jeyakumar (2019), Peng, Zhang, Gajpal ve Chen (2019), Xiao ve Konak (2017), Ene ve diğ. (2016), Abdoli, MirHassani ve Hooshmand, (2019), Matos, Frota ve Ochi (2018), Utama ve diğ. (2020), Yu ve diğ. (2020), Nosrati ve Khamseh (2020), Alinaghian ve diğ. (2015), Peng ve diğ. (2020), Gao ve Zhao (2018) tarafından yapılmıştır.

3. Bulgular

YARP üzerine yapılan çalışmalar içerisinde belirli çalışmalar seçilmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 3' de bu çalışmalara ait grafik verilmiştir. Buna göre çalışmaların %32 si 2019 yılında, %17, si ise 2020 yılında yapılmıştır. 2015 ve 2016 yıllarında yapılan çalışmalar genel çalışmanın %15'ini kapsamaktadır. 2017 ve 2018 yıllarında yapılan çalışmaların yüzdesi sırasıyla %22, %15 dir. İncelenen çalışmalar çerçevesinde en fazla çalışma yapılan yıl 2019'dur ve bu sırayı %22 ile 2017 yılı takip etmektedir.



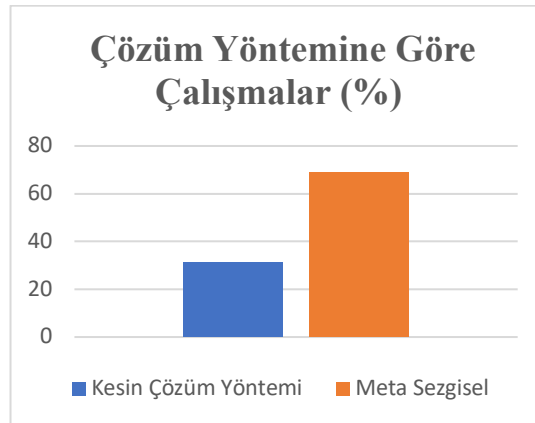
Şekil 2. Yıllara göre çalışmaların dağılımı

Araştırma soruları kapsamında çalışmalardaki ele alınan ve YARP' yi kapsayan problem tipleri de Şekil 3' te verildiği gibi analiz edilmiştir. Buna göre en çok çalışılan konu YARP, en az çalışılan konu ise Dinamik YARP, Bulanık YARP ve Müşteri Memnuniyeti Kriterli YARP' dir.

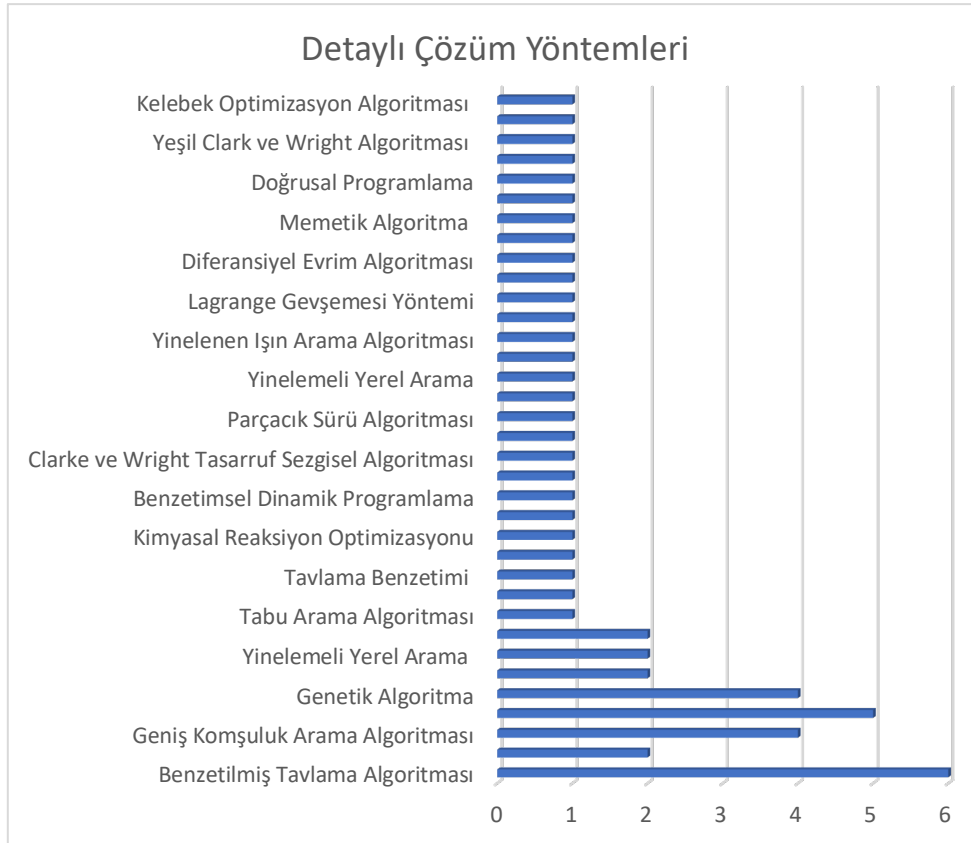


Şekil 3. Çalışmalardaki problem çeşitleri

İncelenen çalışmaların çözüm yöntemlerine göre yüzdeler dağılımı Şekil 4’te verilmiştir. Buna göre, çalışmaların %31,11 i için kesin çözüm yönteminin geliştirildiği görülürken %68,88’lik kısmı için meta sezgisel yöntemler önerilmiştir. Ayrıca yöntemler içerisinde daha detaylı bilgi edinilmesi amacıyla çalışmalar içerisinde kullanılan çözüm yöntemleri daha detaylı analiz edilmiş ve Şekil 5’ te ifade edilmiştir.

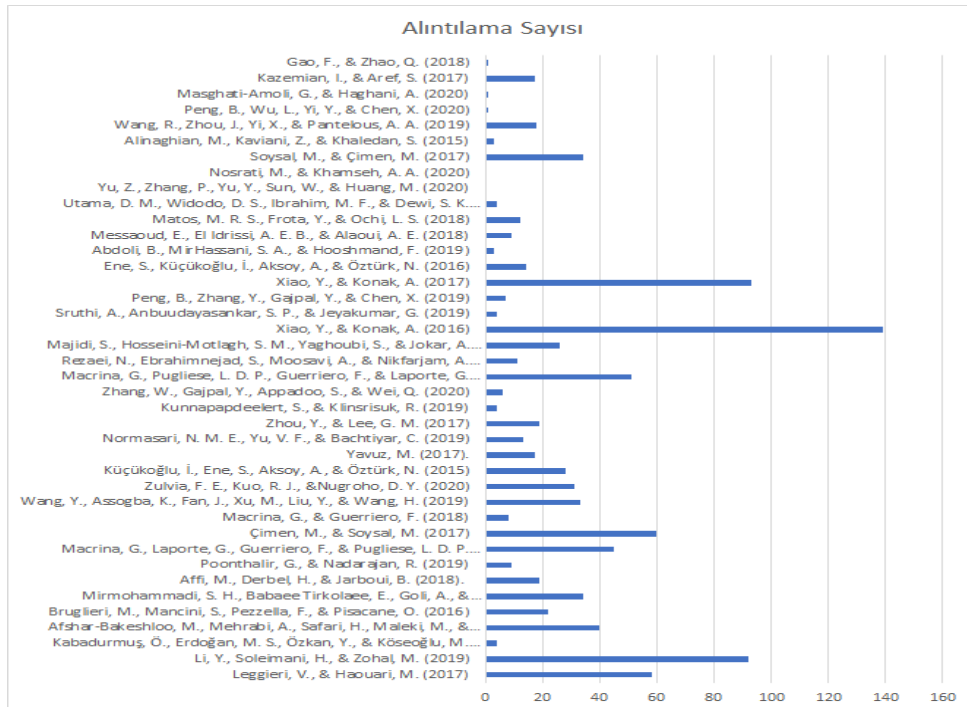


Şekil 4. Çözüm yöntemine göre çalışmalar



Şekil 5. Detaylı çözüm yöntemleri

Çalışmalar içerisindeki atıf sayıları yıllara ve çalışmaya göre değişiklik göstermektedir. Bununla ilgili çalışmaların atıf sayıları Şekil 6’ da verilmiştir. Buna göre incelenen çalışmalar arasındaki en çok atıf alan çalışmalar sırasıyla Xiao ve Konak (2016), Xiao ve Konak (2017) ve Liv ve diğ. (2019) tarafından yapılmıştır.



Şekil 6. Çalışmaların alıntılanma sayısı

4. Sonuç ve Öneriler

ARP' nin amacı genel anlamda müşterilere ürünleri ulaştırırken en az maliyete ulaşabilmektir. ARP, literatürde uzun yıllardan beri çalışılmakta olup dinamik bir problem olduğu için değişen dünya şartlarına uyum sağlamaktadır. YARP, bu uyumla birlikte ortaya çıkmış ve halen üzerinde geliştirmeler yapılmaktadır.

Bu çalışmada, öncesinde bahsedildiği gibi YARP için genel bir bilimsel yazın taraması yapılmış, problemin farklı boyutları, problem ile ilgili boşluklar belirlenmeye çalışılmıştır. YARP günden güne önem kazanan ve hem uygulama hem de teorik olarak üzerinde önemle durulması gereken bir konu olduğu için bu çalışmada yalnızca YARP' ye odaklanılmış ve ilgili araştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın amacı problemin ilgili bilimsel yazın taraması yapılarak geçmiş ve gelecekteki eğilimlerini ortaya çıkarmak ve böylece araştırmacılara konu ile ilgili çalışma boşluklarını sunmaktır. Bu araştırmaya göre, sürdürülebilirliğin sağlanabilmesini hedefleyen bu problem, son yıllarda çalışıldığı için güncel bir problemdir. Problemin güncel olması hem problem tiplerinin hem de çözüm yöntemlerinin geliştirilmeye açık olduğu anlamına gelmektedir. Bu yüzden araştırmacılar, bu problem üzerinde farklı katkı noktalarını bulabilmektedirler.

Bu analiz ışığında, ilgili yazında en az çalışılan problem tipleri; Dinamik YARP, Müşteri Memnuniyeti Kriterli YARP ve Bulanık YARP' dir. Bu problem tipleri hem çözüm yöntemi hem de problemin boyutu açısından oldukça az ele alınmıştır. Bu yüzden gelecekteki önemli eğilimlerden bir tanesi bu problem tipleri üzerine olmalıdır. Ayrıca, YARP oluşturulurken gözetilen farklı performans kriterleri vardır. Buna göre problemin amacı belirlenmektedir. Bu yüzden performans analizi, problemin analizi için önemli bir noktadır. Bundan dolayı ilgili alan incelenirken çalışmaların performans analizleri de kontrol edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en az kullanılan performans analizleri, sera gazı emisyonu, enerji emisyonu ve gaz emisyonlarının en aza indirgenmesidir. En çok kullanılan performans analizi ise maliyet ve mesafenin en aza indirgenmesidir. Bu yüzden problem üzerindeki bir diğer gelecek eğilimi, bu zehirli gaz emisyonunun minimize edilmesi üzerine olmalıdır.

Çalışmalardaki önemli olan noktalar, ilgili alana katkıların sunulabilmesi için çözüm yönteminin etkin bir şekilde oluşturulmasıdır. Bu yüzden ilgili alan taramasında çözüm yöntemleri detaylı olarak incelenmiş, daha az kullanılan çözüm yöntemlerinin genel anlamda kesin çözüm yöntemleri olduğu görülmüştür. Metasezgisel algoritmalar YARP çözümü için oldukça yaygın olarak kullanılmıştır. Metasezgisel algoritmalar kendi içerisinde incelendiği zaman ise benzetilmiş tavlama algoritmasının daha yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Ardından bu sırayı genetik algoritma ve geniş komşuluk arama algoritmaları takip etmektedir.

Bu çalışmanın devamı olarak araştırmacılar, alan taramasındaki makale sayısını ve çeşidini güncel tutarak ya da araştırma sorusuna farklı noktaları ekleyerek katkıda bulunabilirler. Ayrıca, oluşturulan matematiksel model çeşitleri detaylı incelenebilir ve bu inceleme göre analizler yapılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada Esra Boz, metodoloji, yazım, makalenin oluşturulması, makalenin kontrolü, sürecin takibi; Furkan Aydınca Aras ise ilgili literatür taraması, literatür tablosunun oluşturulması, makalenin oluşturulması konularında katkıda bulunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

Kaynaklar

Abdoli, B., MirHassani, S. A., & Hooshmand, F. (2019). On different formulations of green vehicle routing problem. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 40(4), 883-903. <https://doi.org/10.1080/02522667.2018.1460137>

Affi, M., Derbel, H., & Jarboui, B. (2018). Variable neighborhood search algorithm for the green vehicle routing problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(2), 195-204. [10.5267/j.ijiec.2017.6.004](https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2017.6.004)

Alinaghian, M., Kaviani, Z., & Khaledan, S. (2015). A novel heuristic algorithm based on clark and wright algorithm for green vehicle routing problem. *International Journal of Supply and Operations Management*, 2(2), 784-797.

- Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (2008). Emission control with route optimization in solid waste collection process: A case study. *Sadhana*, 33(2), 71-82. <https://doi.org/10.1007/s12046-008-0007-4>
- Asghari, M., & Al-e, S. M. J. M. (2020). Green vehicle routing problem: A state-of-the-art review. *International Journal of Production Economics*, 107899. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107899>
- Bakeshloo, M., Mehrabi, A., Safari, H., Maleki, M., & Jolai, F. (2016). A green vehicle routing problem with customer satisfaction criteria. *Journal of Industrial Engineering International*, 12(4), 529-544. <https://doi.org/10.1007/s40092-016-0163-9>
- Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232-1250. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.02.004>
- Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., & Pisacane, O. (2016). A new mathematical programming model for the green vehicle routing problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 55, 89-92. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2016.10.023>
- Çimen, M., & Soysal, M. (2017). Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 82-98. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.016>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Dantzig, G. B., Fulkerson, R., Johnson, J., (1957). *Solution of a Large Scale Travelling Salesman Problem*, *J. Opns. Res. Soc.* 4, 266-277. <https://doi.org/10.1287/opre.2.4.393>
- Demiral, M. F. 2008. "Servis Araçlarının Rotalanmasında Optimizasyon ve Bir Uygulama," Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Ene, S., Küçükoğlu, İ., Aksoy, A., & Öztürk, N. (2016). A hybrid metaheuristic algorithm for the green vehicle routing problem with a heterogeneous fleet. *International Journal of Vehicle Design*, 71(1-4), 75-102. [doi/abs/10.1504/IJVD.2016.078771](https://doi.org/10.1504/IJVD.2016.078771)
- Erdoğan, S., & Miller-Hooks, E. (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 48(1), 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.08.001>
- Figliozzi, M. (2010). Vehicle routing problem for emissions minimization. *Transportation Research Record*, 2197(1), 1-7. <https://doi.org/10.3141/2197-01>
- Flood, M. M. (1956). The traveling-salesman problem. *Operations research*, 4(1), 61-75. <https://doi.org/10.1287/opre.4.1.61>
- García-Nájera, A., Bullinaria John, A., Gutiérrez-Andrade, Miguel A., (2015). An evolutionary approach for multi-objective vehicle routing problems with backhauls", *Computers & Industrial Engineering* 81 90–108. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.12.029>
- Gao, F., & Zhao, Q. (2018). A Hybrid Simulated Annealing Algorithm for Load Varying Green Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands. *Journal of Computers*, 29(6), 96-110. <https://doi.org/10.3966/199115992018122906009>
- Kabadurmuş, Ö., Erdoğan, M. S., Özkan, Y., & Köseoğlu, M. (2019). A multi-objective solution of green vehicle routing problem. *Logistics & Sustainable Transport*, 10(1), 31-44. <https://doi.org/10.2478/jlst-2019-0003>
- Kazemian, I., & Aref, S. (2017). A green perspective on capacitated time-dependent vehicle routing problem with time windows. *International Journal of Supply Chain and Inventory Management*, 2(1), 20-38. <https://doi.org/10.1504/IJSCIM.2017.086372>

- Keskintürk, T., Topuk, N., & Özyeşil, O. (2015). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77-107. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jobs/issue/22921/245436>
- Kunnapadeelert, S., & Klinsrisuk, R. (2019). Determination of green vehicle routing problem via differential evolution. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 34(3), 395-410. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJLSM.2019.103091>
- Küçüköğlü, İ., Ene, S., Aksoy, A., & Öztürk, N. (2015). A memory structure adapted simulated annealing algorithm for a green vehicle routing problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3279-3297. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3253-5>
- Leggieri, V., & Haouari, M. (2017). A practical solution approach for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104, 97-112. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.06.003>
- Li, Y., Soleimani, H., & Zohal, M. (2019). An improved ant colony optimization algorithm for the multi-depot green vehicle routing problem with multiple objectives. *Journal of cleaner production*, 227, 1161-1172. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.185>
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert systems with applications*, 41(4), 1118-1138. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.107>
- Macrina, G., & Guerriero, F. (2018). The green vehicle routing problem with occasional drivers. In *New Trends in Emerging Complex Real Life Problems* (pp. 357-366). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00473-6_38
- Macrina, G., Laporte, G., Guerriero, F., & Pugliese, L. D. P. (2019a). An energy-efficient green-vehicle routing problem with mixed vehicle fleet, partial battery recharging and time windows. *European Journal of Operational Research*, 276(3), 971-982. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.067>
- Macrina, G., Pugliese, L. D. P., Guerriero, F., & Laporte, G. (2019b). The green mixed fleet vehicle routing problem with partial battery recharging and time windows. *Computers & Operations Research*, 101, 183-199. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.07.012>
- Majidi, S., Hosseini-Motlagh, S. M., Yaghoubi, S., & Jokar, A. (2017). Fuzzy green vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows. *RAIRO-operations research*, 51(4), 1151-1176. <https://doi.org/10.1051/ro/2017007>
- Masghati-Amoli, G., & Haghani, A. (2020). Time-Dependent Green Vehicle Routing Problem. In *Green Transportation and New Advances in Vehicle Routing Problems* (pp. 177-211). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45312-1_7
- Matos, M. R. S., Frota, Y., & Ochi, L. S. (2018). Green vehicle routing and scheduling problem with split delivery. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 69, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.07.003>
- Messaoud, E., El Idrissi, A. E. B., & Alaoui, A. E. (2018, April). The green dynamic vehicle routing problem in sustainable transport. In *2018 4th International Conference on Logistics Operations Management (GOL)* (pp. 1-6). IEEE. [10.1109/GOL.2018.8378096](https://doi.org/10.1109/GOL.2018.8378096)
- Mirmohammadi, S. H., Babae Tirkolae, E., Goli, A., & Dehnavi-Arani, S. (2017). The periodic green vehicle routing problem with considering of time-dependent urban traffic and time windows. *دانشگاه علم و صنعت ایران*, 7(1), 143-156. <http://ijoc.e.iust.ac.ir/article-1-289-fa.html>
- Moghdani, R., Salimifard, K., Demir, E., & Benyettou, A. (2020). The green vehicle routing problem: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 123691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123691>

- Normasari, N. M. E., Yu, V. F., & Bachtiyar, C. (2019). A simulated annealing heuristic for the capacitated green vehicle routing problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2358258>
- Nosrati, M., & Khamseh, A. A. (2020). Distance discount in the green vehicle routing problem offered by external carriers. *SN Applied Sciences*, 2(8), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03245-5>
- Orhan, B., Kapanoğlu, Muzaffer. ve Karakoç, T. Hikmet,(2010). *Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme Planning and Scheduling of Airline Operations*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.
- Palmer, A. (2007). The development of an integrated routing and carbon dioxide emissions model for goods vehicles. <http://hdl.handle.net/1826/2547>
- Park, Y., & Chae, J. (2014). A review of the solution approaches used in recent G-VRP (Green Vehicle Routing Problem). *International Journal of Advanced Logistics*, 3(1-2), 27-37. <https://doi.org/10.1080/2287108X.2014.956976>
- Peng, B., Wu, L., Yi, Y., & Chen, X. (2020). Solving the Multi-Depot Green Vehicle Routing Problem by a Hybrid Evolutionary Algorithm. *Sustainability*, 12(5), 2127. <https://doi.org/10.3390/su12052127>
- Peng, B., Zhang, Y., Gajpal, Y., & Chen, X. (2019). A memetic algorithm for the green vehicle routing problem. *Sustainability*, 11(21), 6055. <https://doi.org/10.3390/su11216055>
- Poonthalir, G., & Nadarajan, R. (2019). Green vehicle routing problem with queues. *Expert Systems with Applications*, 138, 112823. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112823>
- Rezaei, N., Ebrahimnejad, S., Moosavi, A., & Nikfarjam, A. (2019). A green vehicle routing problem with time windows considering the heterogeneous fleet of vehicles: two metaheuristic algorithms. *European Journal of Industrial Engineering*, 13(4), 507-535. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/EJIE.2019.100919>
- Soysal, M., & Çimen, M. (2017). A simulation based restricted dynamic programming approach for the green time dependent vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 88, 297-305. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.06.023>
- Sruthi, A., Anbuudayasankar, S. P., & Jeyakumar, G. (2019). Energy-Efficient Green Vehicle Routing Problem. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM)*, 12(4), 27-41. [10.4018/IJISSCM.2019100102](https://doi.org/10.4018/IJISSCM.2019100102)
- Şahin, Ö. U. (2016). Kyoto protokolü ve kopenhag mutabakatının karşılaştırmalı analizi. *Journal of Awareness (JoA)*, 1(1), 5-16. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=567092>
- Yavuz, M. (2017). An iterated beam search algorithm for the green vehicle routing problem. *Networks*, 69(3), 317-328. <https://doi.org/10.1002/net.21737>
- Utama, D. M., Widodo, D. S., Ibrahim, M. F., & Dewi, S. K. (2020). A New Hybrid Butterfly Optimization Algorithm for Green Vehicle Routing Problem. *Journal of Advanced Transportation*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8834502>
- Wang, R., Zhou, J., Yi, X., & Pantelous, A. A. (2019a). Solving the green-fuzzy vehicle routing problem using a revised hybrid intelligent algorithm. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(1), 321-332. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0703-9>
- Wang, Y., Assogba, K., Fan, J., Xu, M., Liu, Y., & Wang, H. (2019b). Multi-depot green vehicle routing problem with shared transportation resource: Integration of time-dependent speed and piecewise penalty cost. *Journal of Cleaner Production*, 232, 12-29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.344>

- Wichaisri, S., & Sopadang, A. (2013, December). Sustainable logistics system: A framework and case study. In 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (pp. 1017-1021). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6962564>
- Xiao, Y., & Konak, A. (2016). The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 88, 146-166. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.01.011>
- Xiao, Y., & Konak, A. (2017). A genetic algorithm with exact dynamic programming for the green vehicle routing & scheduling problem. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1450-1463. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.115>
- Yu, Z., Zhang, P., Yu, Y., Sun, W., & Huang, M. (2020). An Adaptive Large Neighborhood Search for the Larger-Scale Instances of Green Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Complexity*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8210630>
- Zhang, W., Gajpal, Y., Appadoo, S., & Wei, Q. (2020). Multi-depot green vehicle routing problem to minimize carbon emissions. *Sustainability*, 12(8), 3500. <https://doi.org/10.3390/su12083500>
- Zhou, Y., & Lee, G. M. (2017). A Lagrangian relaxation-based solution method for a green vehicle routing problem to minimize greenhouse gas emissions. *Sustainability*, 9(5), 776. <https://doi.org/10.3390/su9050776>
- Zulvia, F. E., Kuo, R. J., & Nugroho, D. Y. (2020). A many-objective gradient evolution algorithm for solving a green vehicle routing problem with time windows and time dependency for perishable products. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118428>

EK-1

Çalışma	Problem	Çözüm Yöntemi	Ana katkı	Performans Analizi
Alinaghian ve diğ., 2015	YARP	Green Clark ve Wright Algoritması Diferansiyel Algoritması Evrin	Yakıt tüketimine ilişkin araç yönlendirme problemi için Clark ve Wright Algoritmasına dayalı yeni bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.	Maliyet
Küçüköğlü ve diğ. 2015	Zaman pencereli YARP	Benzetilmiş tavlama algoritması CO2 emisyonu hesaplama algoritması	Karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Afshar-Bakeshloo ve diğ., 2016	Müşteri memnuniyet kriterli YARP	Karma tamsayılı doğrusal programlama	Müşteri memnuniyeti dikkate alınmıştır.	Maliyet
Bruglieri ve diğ., 2016	YARP	Karma tamsayılı doğrusal programlama	Yeni bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Xiao ve Konak, 2016	YARP	Yinelemeli mahalle araması Kesin çözüm yöntemleri	Zaman pencereli, karma araç yapısına sahip, zamlı değişen trafik sıkışıklığına sahip yeşil arp için karma tam sayılı doğrusal programlama model önermişler, mat-sezgisel çözüm yöntemi geliştirmişlerdir.	Seragazi emisyonunu en aza indirmek
Ene, 2016	YARP	Benzetilmiş tavlama algoritması	YARP için metasezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.	CO2 emisyonunu en aza indirmek
Leggieri ve Haouari, 2017	YARP	Dal kesme algoritması	Karışık tamsayılı doğrusal formülasyon ve indirgeme prosedürü geliştirilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Kazemian ve Aref, 2017	Zaman pencereli YARP	Karma tamsayılı programlama Benzetilmiş tavlama algoritması	Ulaşımında hız ve programı birleştirmek için zaman pencerelerine sahip zamana bağlı bir model geliştirilmiştir.	Maliyet
Mirmohammadi ve diğ., 2017	Zaman bağımlı periyodik YARP	Tamsayılı doğrusal programlama	Yeni bir tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.	Toplam CO2 emisyon hacmi
Çimen ve Soysal, 2017	YARP	Benzetimsel Dinamik Programlama	Markov karar süreci uygulanmıştır.	Mesafeyi en aza indirmek
Yavuz, 2017	YARP	Yinelenen ışın arama algoritması	Matematiksel model önerilmiş ve çözümü için ise hem kesin çözüm yöntemi hem de sezgisel algoritma olarak kullanılabilen bir algoritma önerilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Zhou ve Lee, 2017	YARP	Lagrange gevşemesi yöntemi	Doğrusal olmayan tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir.	Gaz emisyonunu en aza indirmek
Majidi ve diğ., 2017	Bulanık YARP	Geniş mahalle arama algoritması	Eş zamanlı topla dağıt ve zaman pencereli yeşil arp ye bulanıklık eklenmiş, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirilmiş ve metasezgisel algoritma ile	Maliyet

			çözülmüştür.	
Xiao ve Konak, 2017	YARP	Dinamik programlama algoritması Genetik algoritma	Genetik algoritmayı tam dinamik programlama ile birleştiren bir hibrit çözüm yaklaşımı önerilmiştir.	CO2 emisyon optimizasyonu
Soysal ve Çimen, 2017	YARP Zaman bağımlı	Dinamik programlama Genetik algoritma	Zaman bağımlı yeşil arp için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiş, çözüm için dinamik programlama ve genetik algoritmayı kapsayan hibrit geliştirilmiştir.	Maliyet
Gao ve Zhao, 2018	YARP	Benzetilmiş tavlama algoritması	Enerji tüketim oranının aracın toplam ağırlığı ile doğru orantılı olduğu gerçeğinden yola çıkarak matematiksel bir model geliştirmişler.	Maliyet
Affi ve diğ., 2018	YARP	Değişken komşuluk arama algoritması	Yakıt deposu kapasitesi dikkate alınmış, metasezgisel algoritma geliştirilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Macrina ve Guerriero, 2018	YARP	Tamsayılı doğrusal programlama	Karma filo sahip olan bir Y-ARP geliştirilmiştir.	Maliyet
Messaoud ve diğ., 2018	DYARP (Dinamik Yeşil Araç Yönlendirme Problemi)	Geniş komşuluk arama algoritması	Dinamik araç yönlendirme problemi ve yeşil araç yönlendirme problemini birleştirmişlerdir.	CO2 emisyonunu en aza indirmek
Matos ve diğ., 2018	YARP	Yinelemeli yerel arama Rastgele değişken komşuluk iniş algoritması	Matematiksel formülasyon hazırlamış ve hibrit bir algoritma önermişlerdir.	CO2 emisyonunu en aza indirmek
Li ve diğ., 2019	YARP	Karınca kolonisi optimizasyon algoritması	Geliri en üst düzeye çıkararak maliyetleri, zamanı ve emisyonu en aza indirerek çok depolu bir yeşil araç rotalama problemi geliştirilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Kabadurmuş ve diğ., 2019	YARP	Epsilon kısıt yöntemi	Çok amaçlı optimizasyon için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.	Seyahat süresi
Poonthalir ve Nadarajan, 2019	YARP	Kimyasal reaksiyon optimizasyonu	Araçların bekleme süreleri sürece dahil edilmiştir.	Bekleme süresinin genel rota maliyetine etkisi
Macrina ve diğ., 2019a	YARP	Geniş komşuluk arama algoritması	Hız, ivme, yavaşlama, yük ve eğimleri hesaba katabilen kapsamlı bir enerji tüketim modeli kullanılmıştır.	Şarj edilen enerji maliyeti
Wang ve diğ., 2019b	Çok depolu YARP	Clarke ve Wright Tasarruf Sezgisel Algoritması Süpürme algoritması Çok Amaçlı Parçacık Sürüsü Optimizasyon algoritması	Zaman bağımlı araç hızı ve parçalı ceza maliyeti düşünülmüştür.	Karbon emisyonunu en aza indirme
Normasari ve diğ., 2019	Kapasite kısıtlı YARP	Benzetilmiş tavlama algoritması	Karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek

Kunnapapdeelert ve Klinsrisuk, 2019	Zaman pencereci, topladağıt YARP	Diferansiyel algoritması evrim	Zaman pencereci topladağıt ARP ile Zaman pencereci topladağıt Y-ARP kıyaslanmıştır.	Maliyet
Macrina ve diğ., 2019b	Zaman pencereci YARP	Yinelemeli yerel arama	Problem, karma araç yapısına sahip farklı noktalarda şarj istasyonları olan zaman pencereci YARP olarak geliştirilmiştir	Maliyet
Rezaei ve diğ., 2019	YARP zaman pencereci	Genetik algoritma Tavlama benzetimi	Karma araç yapısına sahip zaman pencereci yeşil arp nin çözümü için metasezgisel algoritmalar kıyaslanmıştır.	Maliyet ve emisyonu en aza indirmek
Sruthi ve diğ., 2019	YARP	Genetik algoritma	Matematiksel model geliştirilmiş, genetik algoritma ile çözülmüştür.	Enerji emisyonu
Peng ve diğ., 2019	YARP	Memetik algoritma Uyarlanabilir yerel arama algoritması	Yeşil arp için meta sezgisel çözümler önerilmiş ve kıyaslanmıştır.	Mesafeyi en aza indirmek
Abdoli ve diğ., 2019	YARP	Doğrusal programlama	Yeni bir yol tabanlı model sunulmuştur.	Mesafeyi en aza indirmek
Wang ve diğ., 2019a	BYARP	Bulanık şans kısıtlı programlama	Bulanık şans kısıtlı programlama modelini eşdeğer bir deterministik modele dönüştürüp gömülü bulanık simülasyonunun analitik fonksiyon hesaplamasıyla değiştirerek bir algoritma geliştirmişler.	Mesafeyi en aza indirmek
Utama ve diğ., 2020	YARP	Kelebek optimizasyon algoritması Tabu arama algoritması	YARP için meta sezgisel algoritma önerilmiştir.	Maliyet
Yu ve diğ., 2020	YARP	Geniş komşuluk arama algoritması	Büyük ölçekli YARP örneklerini çözmek için uyarlanabilir bir algoritma önermişlerdir.	Karbon emisyonunu en aza indirmek

Nosrati ve Khamseh, 2020	YARP	Karma tamsayı doğrusal programlama Benzetilmiş tavlama algoritması Tabu arama algoritması	Harici taşıyıcılar mesafe indirimi sunarken, zaman ve yakıt kısıtlaması olan farklı araç ve yolları seçerek sistemin toplam maliyetini en aza indirmeye çalışan bir model önermişlerdir.	Maliyet
Peng ve diğ., 2020	YARP	Değişken komşuluk arama algoritması Evrimsel algoritma	Çok depolu bir araç rotalama probleminde karbondioksit emisyonunun çevresel etkisi ele alınmış ve çözüm için hibrit bir algoritma sunulmuş.	CO2 emisyonunu en aza indirmek
Masghati-Amoli ve Haghani, 2020	Zaman bağımlı YARP	Karma tamsayı doğrusal programlama Sezgisel algoritma	Karma araç yapısına sahip zamana bağlı yeşil arp için matematiksel model geliştirilmiş çözümü için sezgisel algoritma önerilmiş	Maliyet
Zhang ve diğ., 2020	Çok depolu YARP	Karınca kolonisi optimizasyon algoritması	Bu çalışmada Y-ARP ye birden fazla depodan araçların rotaya başlama esnekliği getirilmiştir	Karbon emisyonunu en aza indirmek
Zulvia ve diğ., 2020	Zaman pencereci YARP	Çok amaçlı gradyan evrim algoritması	Çok amaçlı optimizasyon problemi oluşturulmuştur.	Maliyet, karbon emisyonu azaltmak; ürün bozulma maliyetini azaltmak, hizmet maliyetini artırmak



Journal of Turkish Operations Management

Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile yeşil tedarik zincirindeki risklerin karşılaştırılması

Ahmet Çalık^{1*}

¹Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya, Türkiye, e-mail: ahmetcalik51@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-6796-0052>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 12.03.2021
Revize: 19.04.2021
Kabul: 17.08.2021

Anahtar Kelimeler:

ARAS,
Bulanık AHP,
Mobilya sektörü
Risk değerlendirmesi,
TOPSIS,
VIKOR

Özet

Çevresel düşünceleri tedarik zinciri yönetimi araştırma ve uygulamalarına entegre etmek için artan bir ihtiyaç bulunmaktadır. İşletmeler çevresel düzenlemelere ve müşteri taleplerine cevap verebilmek için yeşil tedarik zinciri (YTZ) stratejileri aramaya çalışmaktadırlar. YTZ uygulamalarının başarıyla yönetilmesinde rol oynayan çeşitli riskler ve risk faktörleri vardır. Belirsiz riskler YTZ operasyonlarını bozma ve dolayısıyla tedarik zincirinin başarı oranını düşürme eğilimindedir. Bu çalışmanın amacı, bulanık ortamda YTZ faaliyetlerinin uygulanmasıyla ilgili riskleri değerlendirmek için Analitik Hiyerarşi Sürecine (AHP) ve TOPSIS, VIKOR ve ARAS metodolojisine dayanan entegre bir karar yaklaşımı önermektir. Türkiye’de mobilya sektöründen bir işletme üzerinden, Bulanık AHP yöntemi tanımlanmış risklerin önceliğini elde etmek için uygulanmış, bulanık TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleri elde edilen risk önceliklerini dikkate alarak tedarikçi risk değerlendirmesi için kullanılmıştır. Bu çalışmada önerilen risk değerlendirme yaklaşımı, stratejik karar süreçlerinde risklerin önemini anlamak ve farklı karar verme yöntemlerinin değerlendirilmesi için mantıklı araçlar sunmaktadır.

Comparison of risks in green supply chain with fuzzy multi criteria decision-making methods

Article Info

Article History:

Received: 12.03.2021
Revised: 19.04.2021
Accepted: 17.08.2021

Keywords:

ARAS,
Fuzzy AHP,
Furniture sector
Risk assessment
TOPSIS
VIKOR.

Abstract

There is an increasing need to integrate environmental considerations into supply chain management research and practices. From this viewpoint, companies are trying to look for green supply chain (GSC) strategies to respond to environmental regulations and customer demands. There are various risks and risk factors that play a role in the successful management of GSC applications. Uncertain risks tend to disrupt GSC operations and thus reduce the success rate of the supply chain. The aim of this study is to propose an integrated decision approach based on the Analytical Hierarchy Process (AHP), TOPSIS, VIKOR and ARAS methodology to assess the risks associated with the implementation of GSC activities in a fuzzy environment. Through the furniture manufacturing company in Turkey, the fuzzy AHP method is applied to obtain the priority of the identified risks, and the fuzzy TOPSIS, VIKOR and ARAS methods are used for supplier risk assessment considering the risk priorities obtained from fuzzy AHP. The proposed risk assessment approach used in this study provides logical tools for understanding the importance of risks in strategic decision processes and for assessing different decision-making methods.

1. Giriş

Tedarik zinciri girişimleri, geçtiğimiz yıllarda müşterilerin dinamik talebine yanıt olarak firma operasyonlarında hayati bir faktör haline gelmiştir ve artan müşteri taleplerini karşılayabilmek için tedarik zincirleri daha geniş alanlara yayılmıştır (Mangla, Kumar ve Barua, 2015a). Küresel pazarda rekabet edebilmek, stratejik olarak daha iyi performans ve rekabet avantajı sağlayabilmek için işletmeler farklı tedarikçilerden dış kaynak kullanmayı seçmişlerdir (Chatterjee ve Kar, 2016). Bir işletme ancak çalıştığı tedarikçilerin zinciri kadar güçlüdür. Arz ve talepteki belirsizlikler, piyasaların küreselleşmesi, ürün ve teknoloji yaşam döngülerini kısaltması tedarik zincirinde risklere maruz kalma olasılığını artırmıştır. Bu yüzden işletmeler, tedarik zincirinde risk yönetimini destekleyen yöntemleri tanımak ve anlamak için gayret göstermektedirler.

Çevrenin tahrip edilmesi, kirlilik seviyelerinin artması, atık sahalarının taşması ve hammadde kaynaklarının azalmasıyla, işletmelerin faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkileri hem araştırmacılar hem de uygulayıcılardan her geçen gün daha fazla ilgi görmektedir (Hashemi, Karimi ve Tavana, 2015). İşletmeler, daha az ambalaj kullanan, kirliliği azaltan ve/veya enerji tüketimini azaltan ürünler geliştirerek kirlilik faktörlerini azaltmaya çalışmışlardır (Humphreys, Wong ve Chan, 2003). Bununla birlikte yeşil veya çevre dostu malzeme hareketini etkileyebilecek öngörülemez olaylar vardır ve bu olaylar ürünlere zarar verebilmekte, ürün tesliminde gecikmelere neden olabilmekte ve hatta finansal durumları etkileyebilmektedir.

Tedarik zinciri yönetiminde, tedarikçi seçim kararları yöneticilerin en önemli sorumluluklarından biri olduğu düşünülmektedir. Doğru kurgulanmış alıcı-tedarikçi ilişkileri kaliteli malzemeleri garanti altına almanın, yeni teknolojileri hızlıca dağıtmanın, yeni bir pazara girmenin, finansal kısıtlamaları aşmanın, devlet kısıtlamalarını atlamanın ve belirli bir alanda önde gelen firmalardan hızlı bir şekilde öğrenmenin etkili yolları olabilmektedir (Lee, 2009). Tedarikçilerle çevresel konulara ilişkin işbirliğine dayalı ilişkiler, işletmelerin çevresel performanslarını iyileştirmelerini sağlamaktadır. Yeşil üretim ve ilgili işlemler için işletmelerin Yeşil Tedarik Zinciri (YTZ) performanslarını geliştirebilmeleri yeşil yeteneklere sahip tedarikçilerle çalışmak zorunda olmalarını gerektirmektedir (Akman, 2015).

Uygun bir tedarikçinin seçimi, alıcı-tedarikçi ilişkisini etkileyen önemli bir faktördür. İşlem doğru yapılırsa, daha kaliteli, daha sağlam ve daha uzun süreli ilişki sonuçlarına ulaşılabilir. Belirsizliklerin ve öngörülmezin olayların artması gelecekteki olayları tahmin etmeyi zorlaştırmakta ve alıcı-tedarikçi ilişkilerinde problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle tedarik zinciri risk yönetimi, iş dünyası ve araştırmacılar için daha fazla dikkat çekmeye başlamaktadır (Fahimnia, Sarkis ve Davarzani, 2015; Tang, Matsukawa ve Nakashima, 2012).

Tedarikçi risklerinin değerlendirme sürecinde üretim, finans ve pazarlama gibi satın alma dışındaki bölümlerden gelen karar vericiler, tedarikçi seçme sürecindeki karar alma sürecine sıklıkla katılmakta ve bu durum seçim süreci ile ilgili çeşitli belirsizliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Sanayei, Farid Mousavi ve Yazdankhah, 2010). Ayrıca, kesin yaklaşımlar, belirsiz ortamlarda uzman kararlarının doğasını sunmada her zaman yararlı olmayabilir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı Türkiye'de faaliyet gösteren bir mobilya imalat şirketinin tedarikçilerini YTZ'ndeki riskleri dikkate alarak değerlendirmek için bulanık küme teorisine dayalı bir yaklaşım, entegre bulanık AHP-TOPSIS AHP-VIKOR ve AHP-ARAS metodolojisi önermektedir.

Bu çalışma, aşağıda belirtilen vurgulanan hedeflere ulaşılmasına yardımcı olmaktadır.

- YTZ ile ilgili çeşitli riskleri tanımlamak ve önceliklendirmek,
- Çeşitli çevresel kriterlerden yararlanarak YTZ risk yönetiminde yeşil tedarikçi seçim çerçevesini geliştirmek,
- Farklı bulanık ÇKKV yöntemlerini kullanarak en risksiz tedarikçiyi belirleyebilmek,
- Bulanık ÇKKV yöntemleri arasında karşılaştırma yapabilmek.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: birinci bölüm, YTZ'nde risk yönetimi çalışmaları hakkında kısa bir literatür taraması içermektedir. İkinci bölüm, bulanık ÇKKV yöntemlerine dayalı olarak önerilen yaklaşımı ve kullanılan yöntemleri açıklamaktadır. Üçüncü bölüm, tedarikçi seçim problemi örneği kullanarak önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermektedir. Dördüncü bölüm çalışmayı gelecekteki bazı araştırma önerileriyle sonlandırmaktadır.

2. Literatür Araştırması

YTZ ile ilgili risklerinin yeterince anlaşılmasını sağlamak için, bu bölüm YTZ yönetiminde risk değerlendirmesi ve yönetimine dahil olan riskleri açıkça sunmaktadır.

Tedarik zinciri riskleri, aksaklıklar veya gecikmeler nedeniyle tedarik zinciri ağındaki akışta beklenmeyen değişikliklere neden olarak tedarik zinciri sorunları yaratabilmektedir (Christopher ve Lee, 2004). Bu aksaklıklar ister küçük isterse büyük her işleme kısa veya uzun vadede değişen tehditler oluşturabilir. Malzeme akışındaki gecikmeler genellikle tedarikçiler talep değişikliklerine cevap veremediğinde ortaya çıkmaktadır. Bu gecikmeler ekonomik olarak yerleştirilerek ve boyutlandırılarak çözülebilmektedir. Bununla birlikte, tedarik zinciri

yönetiminde çevre sorunları zorunlu hale gelmekte Y TZ'nde risk değerlendirmesi gittikçe önem kazanmaktadır (Mangla, Kumar, ve Barua, 2016).

Chatterjee, Zavadskas, Tamošaitienė, Adhikary ve Kar (2018) inşaat proje risklerini öncelik sırasına koymak için D sayılarına dayalı bir ANP-MABAC karar verme metodolojisi geliştirerek, belirsiz ve eksik karar ortamlarında risk azaltma stratejileri bulmayı hedeflemişlerdir. Mangla ve diğ. (2016) bütünlük hata ağacı analizi (FTA) ve bulanık AHP metodolojisi ile Y TZ'ndeki riskleri değerlendirmek için kalitatif ve kantitatif grup karar vermesini bütünlük önermişlerdir. Ürün geri kazanım riskleri ve süreç riskleri Y TZ'nde ortaya çıkma olasılığı en yüksek riskler olarak belirlenmiştir. Mital, Del Giudice, ve Papa (2018) bilişsel haritalar ve AHP yöntemini kullanarak birden fazla ürün kategorisinde tedarik zinciri riskini tanımlamış ve değerlendirmişlerdir. Perakende sektöründen 20 katılımcı ile süt, pirinç, cep telefonu ve sigara gibi dört ürün üzerinde yoğunlaşarak tedarik zinciri riskleri değerlendirilmiş ve riskin tedarik zincirlerine göre değiştiği tespit edilmiştir. Rostamzadeh, Ghorabae, Govindan, Esmaceli, ve Nobar (2018) İran'daki petrokimya endüstrisinin önemi göz önüne alınarak sürdürülebilir tedarik zinciri risk yönetimi değerlendirmesi için bir çerçeve yaratılmıştır. TOPSIS ve CRITIC yöntemi bulanık bir ortamda geliştirilerek tedarikçilerin sıralamaları elde edilmiştir. Mangla ve diğ. (2015a) Bulanık AHP yöntemi, tanımlanmış risklerin önceliğini belirlemek için kullanılmış, risk sıralamasını analiz etmek için IRP metodolojisi Hindistan'daki bir üretim şirketinde uygulanmıştır. Chatterjee ve Kar (2016) yöneticilerin daha az riskli tedarikçileri doğru analiz etmelerinde ve seçmelerinde yöneticilere yardımcı olabilecek bir mekanizma oluşturmuşlardır. Elektronik tedarik zincirinde tedarikçi seçim problemini ele almak için aralık-değerli TOPSIS tabanlı bir yöntem geliştirmişlerdir. Mangla, Kumar, ve Barua (2015b) en yaygın Y TZ risklerinin belirlenmesi için iki aşamalı bir metodoloji önermişlerdir. Dört farklı Hint imalat şirketi incelenerek belirlenen riskler bulanık AHP yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir. Operasyonel kategori riskleri en önemli risk kriteri olarak belirlenmiştir. Hu, Hsu, Kuo ve Wu (2009) Y TZ'ndeki yeşil bileşenlerle bağlantılı riskleri analiz etmek için nicel temelli bir yaklaşım önermiştir. Ruimin, Yao ve Huang (2012) Y TZ ile geleneksel tedarik zinciri arasındaki farkı ve Y TZ yönetiminde risk kaynaklarını ortaya koymuşlardır. Wang, Chan, ve Diaz-Rainey (2012) moda endüstrisi tedarik zincirinde çeşitli yeşil girişimlerin uygulanmasına yönelik toplam riskin analizini mümkün kılan bir risk değerlendirme modeli geliştirmişlerdir.

Kumar, Sunil, ve Suresh (2018) Y TZ'yle ilişkili riskleri değerlendirmek için bulanık hata türleri ve etkileri analizi yaklaşımını önererek, bir plastik üreticisi üzerinde önerilen yaklaşımın uygulamasını göstermişlerdir. Yudi, Tim, Norris, Won ve Masatoshi (2018) proje risk yönetimi ve Y TZ yönetimiminin proje yönetimi performansı ve proje başarısı ile pozitif ilişkili olup olmadığını, Malezya otomobil imalat endüstrisindeki 145 proje yöneticisinden veri toplayarak ve yapısal eşitlik modellemesini kullanarak analiz etmişlerdir. Majumdar, Sinha, Shaw ve Mathiyazhagan (2020) yeşil giyim tedarik zincirine ait riskleri, bulanık AHP yaklaşımı kullanılarak analiz etmişlerdir. Beş ana kritere ayrılan risklerin önceliği bulanık AHP ile elde edilmiş, ardından her bir riskin, etki ve olasılıklarına göre eşleştirildiği bir hasar (zarar) görebilirlik matrisi geliştirilmiştir. Ngan, Promentilla, Yatim ve Lam (2019) ANP yöntemini, Malezya'daki yeşil projelerle ilişkili risklerin değerlendirilmesinde risk faktörlerini belirlemek ve öncelik sırasına koymak için kullanmışlardır. Jabbarzadeh, Haughton ve Pourmehdi (2019) erteleme stratejisini benimseyen bir tedarik zincirinin üretim-dağıtım planlaması için iki amaçlı sağlam bir optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Geliştirilen sağlam modelde karar vericilerin risk tercihleri talep değişimlerine dâhil edilmiştir. Ozturkoglu, Kazancoglu ve Ozkan-Ozen (2019) üçlü karlılık yaklaşımını kullanarak gemi geri dönüşüm endüstrisindeki riskleri tanımlayarak, riske dayalı kavramsal model geliştirmişler ve bulanık DEMATEL yöntemi ile kriterler arasındaki nedensel bağlantıları analiz etmişlerdir. Wong (2020) tedarikçi portföy seçimi ve sipariş tahsisi problemini çözmek için yeni üç aşamalı dinamik tedarik sistemi modeli önermiştir. Tedarikçi dinamik risklerini ve yeşil pazar segmentasyonunu tedarikçi seçim problemine entegre etmiştir.

Tablo 1, farklı yazarlar tarafından kullanılan yöntemler ve çeşitli risk değişkenleri hakkındaki önceki araştırmaların özetini göstermektedir.

Tablo 1. Önceki araştırmaların kısa özeti

Yazar(lar)	Risk değişkenleri	Kullanılan Yöntem(ler) & Model(ler)	Ana Özellikler
Chatterjee ve diğ. (2018)	Dış riskler (politik istikrarsızlık, ekonomik risk, sosyal risk), Proje riski (teknolojik risk, iş kalitesi riski, zaman ve maliyet riski), İç riskler (kaynak riski, belgeler ve bilgi riski, paydaş riski)	D-ANP-MABAC	İnşaat projesi risklerini önceliklendirmek için D numaralarına dayalı ANP-MABAC metodolojisi geliştirmek

Mangla ve diğ. (2016)	Bilgi teknolojisi riskleri, finansal riskler, arz riskleri, süreç riskleri, devletin müdahale riskleri, sosyal ve çevresel riskler, talep riskleri, ürün geri kazanım riskleri*	FTA ve bulanık AHP	Bir plastik üreticisi örneğinde sekiz risk kriteri ve 30 alt kriter değerlendirmek
Mital ve diğ. (2018)	Kalite, maliyet, arz sürekliliği, tedarikçi hizmeti ve alıcı tedarikçi ilişkisi*	Bilişsel haritalar ve AHP	Süt, pirinç, cep telefonları ve sigaralar olmak üzere dört ürün üzerinde tedarik zinciri risklerini analiz etmek
Rostamzadeh ve diğ. (2018)	Çevresel riskler, kurumsal riskler, sürdürülebilir tedarik riskleri, sürdürülebilir üretim riskleri, sürdürülebilir dağıtım riski, sürdürülebilir geri dönüşüm riskleri, bilgi teknolojisi ile ilgili riskler*	Bulanık TOPSIS ve CRITIC	Sürdürülebilirlikle ilgili sorunları ve tedarik zinciri risklerini bulanık TOPSIS - CRITIC yöntemi ile birlikte ele almak
Mangla ve diğ. (2015a)	Talep riskleri, ürün geri kazanım riskleri, arz riskleri, operasyonel riskler*	Bulanık AHP ve IRP	Y TZ bağlamında riskleri değerlendirebilecek esnek bir karar modeli sunmak
Chatterjee ve Kar (2016)	Çevre riski, talep riski, arz riski, kontrol riski, süreç riski, sigorta riski	Aralık değerli bulanık TOPSIS	Çalışmanın tamamında aralık değerli bulanık kümelerin özelliklerini kullanmak
Wang ve diğ. (2012)	Teslimat, kalite, tedarik güvencesi, esneklik, maliyet, üretim, satın alma, lojistik, pazarlama*	Bulanık AHP	Bir yeşil girişimin uygulanması için genel risk düzeyi için gösterge oluşturmak
Ozturkoglu ve diğ. (2019)	İş sağlığı ve güvenliği değerlendirme serisi (fiziksel tehlikeler, kimyasal tehlikeler, ergonomi, kazalar), yanıt verebilirlik (esneklik, güvenilirlik, çabukluk), Y TZ yönetimi (yeşil tasarım, yeşil satın alma, yeşil üretim, yeşil yönetim, yeşil pazarlama)	Bulanık DEMATEL	Gemi geri dönüşümünde önleyici risk yönetimiyle karşılaşılabilecek bütüncül bir çerçeve tasarlamak
Majumdar ve diğ. (2020)	Arz riskleri, talep riskleri, süreç veya operasyon riskleri, iş ortamı riski, finansal riskler*	Bulanık AHP	Yeşil giyim tedarik zinciri için riskleri önceliklendirmek
Ngan ve diğ. (2019)	Teknoloji, finans, tedarik zinciri, yasal, çevresel ve sosyal riskler*	ANP	Malezya'daki yeşil projelerle ilişkili riskleri değerlendirmek

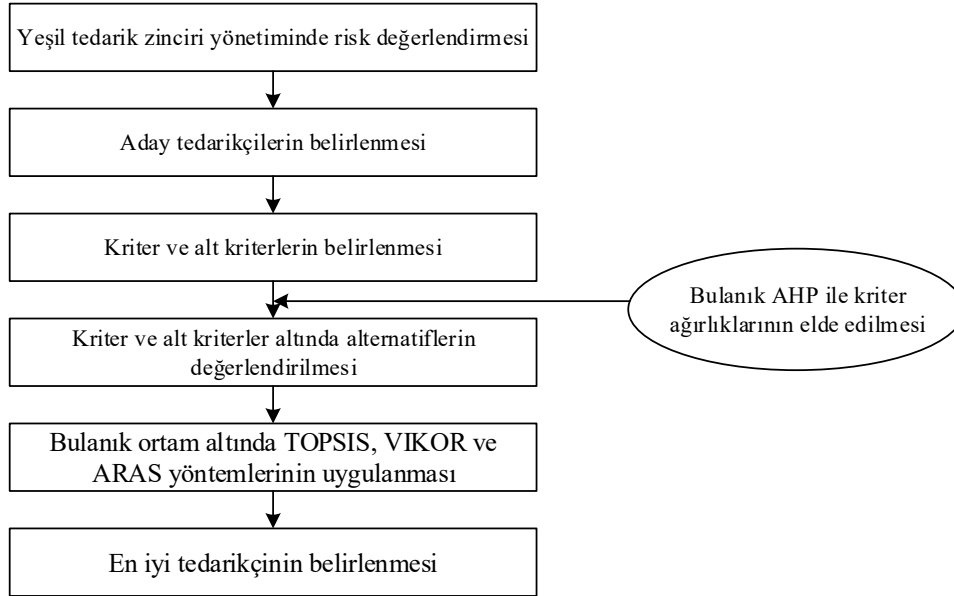
Mevcut çalışma	Operasyonel risk, tedarik riski, ürün kurtara riski ve finansal riskler*	Bulanık AHP, bulanık TOPSIS, VIKOR ve ARAS	Farklı ÇKKV ile riskler arasında karşılaştırma yapmak
----------------	--	--	---

*Sadece ana kriterler belirtilmiştir

Literatürün gözden geçirilmesi sonucunda, YZ risk yönetimi konusunda çokça çalışma yapıldığı ortaya konmuştur. ÇKKV yöntemlerinin yaygın olarak uygulanan yöntemler olduğu ve YZ’nde risk yönetimi problemini çözmek için bulanık yaklaşımların en uygun olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada karar problemini daha mantıklı bir probleme dönüştürdüğü için bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Ek olarak, farklı ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırmalarını içeren çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, en az riskli tedarikçileri belirlemek için bulanık TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu nicel çalışmaların eksikliği açıkça farklı ÇKKV yöntemlerine dayanan risk değerlendirmelerinde araştırmayı genişletmek için bilimsel olarak ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

3. Önerilen Entegre Yaklaşım

Önerilen entegre yaklaşımı temsil eden bir şema Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu yaklaşım, YZ yönetiminde tedarikçi seçiminde farklı ÇKKV yöntemleri ile risk değerlendirmesi sorununun nasıl ele alındığını göstermektedir. Tedarikçi risk değerlendirmesinin ilk adımı, işletmenin gereksinimleri hakkında doğru ve eksiksiz bilgi toplamaktır. İkinci adım, ürün gereksinimlerine göre potansiyel tedarikçilerin bir listesini oluşturmaktır. Çözüm aşaması, kriter ağırlıklarını elde edebilmek için bulanık AHP yönteminin kullanılmasıyla başlamakta ve bulanık ortamda TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleriyle alternatiflerin sıralanmasıyla sonlandırılmaktadır.



Şekil 1. Önerilen Entegre Yaklaşım

3.1. Bulanık AHP Yöntemi

AHP, farklı kriterler arasında öncelikleri belirlemek için sıklıkla kullanılan bir karar verme metodolojisidir. Ancak, AHP yöntemi, karar verici yargılarındaki belirsizliği hesaba katmaz. Bu nedenle, farklı yazarlar tarafından sağlanan çeşitli bulanık AHP yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada sözel belirsizliği daha iyi ifade edebilmek amacıyla Buckley (1985) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bulanık AHP dört temel adımı kapsamaktadır (Tzeng ve Huang, 2011):

Adım 1: Hiyerarşik yapıda yer alan tüm kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır.

Adım 2: Her kriter için geometrik ortalama alınarak bulanık ağırlık matrisi oluşturulur (Denklem (1)).

$$\tilde{z}_i = \left[\prod_{j=1}^n \tilde{t}_{ij} \right]^{1/n}, \forall i \quad (1)$$

Adım 3: Her kriterin bulanık ağırlıkları elde edilir (Denklem (2)).

$$\tilde{w}_i = \tilde{z}_i \oplus \left[\sum_{j=1}^n \tilde{z}_j \right]^{-1} \quad (2)$$

3.2. Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, alternatifler arasındaki mesafeleri göz önünde bulunduran Hwang ve Yoon (1981) tarafından önerilmiş bir ÇKKV yöntemidir. Bulanık TOPSIS yöntemi ise, bulanık ortam altındada grup karar verme problemini çözmek için çok uygundur. Bulanık TOPSIS yönteminin adımları kısaca aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Amaçlar belirlenerek, değerlendirme kriterleri ve alternatifler tanımlanır.

Adım 2: Karar vericilerin görüşleri ile birleştirilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$\tilde{x}_{ij}^k = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$; k . uzman tarafından C_j kriterine göre A_i alternatifinin değerlendirmesi olmak üzere alternatiflerin birleştirilmiş bulanık değerlendirmeleri (\tilde{x}_{ij}) Denklem (4) ile hesaplanabilir:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^K] \quad (4)$$

Adım 3: Bulanık normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur (Denklem (5)).

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{l_{ij}}{\sqrt{\sum_i u_{ij}^2}}, \frac{m_{ij}}{\sqrt{\sum_i u_{ij}^2}}, \frac{u_{ij}}{\sqrt{\sum_i u_{ij}^2}} \quad (5)$$

Adım 4: Ağırlıklı normalize edilmiş matris, değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları normalize bulanık karar matrisi ile çarpılarak hesaplanır (Denklem (6)).

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad (6)$$

Adım 5: Bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS) ve bulanık negatif-ideal çözüm (FNIS) değerleri her kriter için hesaplanır (Denklemler (7-8)).

$$FPIS = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\} \quad (7)$$

$$FNIS = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} \quad (8)$$

burada $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$ ve $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$.

Adım 6: Her alternatif için FPIS ve FNIS'e olan uzaklıklar hesaplanır (Denklemler (9-10)).

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (9)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (10)$$

Adım 7: Her alternatifin yakınlık katsayısı (CC_i) hesaplanır (Denklem (11)).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (11)$$

3.3. Bulanık VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi, alternatiflerin sıralanmasında uzlaşık çözümlere ulaşmak için kullanan bir ÇKKV yöntemidir. Bulanık VIKOR yöntemi alternatifleri sıralamaya odaklanır ve çelişen kriterlere sahip bir sorun için uzlaşmacı çözümler belirlemektedir. Bulanık VIKOR yönteminin temel adımları aşağıdaki şekilde sunulmuştur (Kaya ve Kahraman, 2010):

Adım 1: Alternatifler için bulanık karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Tüm kriterlerin en iyi (f_j^*) ve en kötü (f_j^-) değerleri belirlenir (Denklem (12)).

$$f_j^* = \left\{ \begin{matrix} \max \\ i \end{matrix} \tilde{x}_{ij} \right\}, f_j^- = \left\{ \begin{matrix} \min \\ i \end{matrix} \tilde{x}_{ij} \right\} \quad (12)$$

Adım 3: \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerlerini hesaplanır (Denklemler (13-14)).

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n (\tilde{w}_j \otimes \tilde{d}_{ij}) \quad (13)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j (\tilde{w}_j \otimes \tilde{d}_{ij}) \quad (14)$$

Adım 4: Q_i değerleri hesaplanır (Denklem (15)).

$$\tilde{Q}_i = v \frac{(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*)}{(S^{ou} - S^{*l})} + (1 - v) \frac{(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*)}{(R^{ou} - R^{*l})} \quad (15)$$

burada $\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i$, $S^{ou} = \max_i S_i^u$, $\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i$, $R^{ou} = \max_i \tilde{R}_i$ ve v maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken ve $1 - v$ karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını göstermektedir.

Adım 5: \tilde{Q}_i değerlerini durulaştırılır ve alternatifler Q_i değerlerine göre sıralanır.

Adım 6: Minimum Q_i değerine sahip alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.

3.4. Bulanık ARAS Yöntemi

Zavadskas ve Turskis (2010) tarafından tanıtılan ARAS yöntemi, yalnızca alternatiflerin performansını belirlemekle kalmayıp, aynı zamanda her alternatifin ideal alternatife oranını da hesaplamaktadır. Turskis ve Zavadskas (2010) tarafından geliştirilen Bulanık ARAS yönteminin temel adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Alternatifler için bulanık karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Bulanık karar matrisini normalize edilir (Denklemler (16-17)).

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m \tilde{x}_{ij}} \quad \text{fayda kriterleri için} \quad (16)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{\tilde{x}_{ij}^*}; \tilde{x}_{ij}^* = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m \tilde{x}_{ij}} \quad \text{maliyet kriterleri için} \quad (17)$$

Adım 3: Bulanık ağırlıklı normalize karar matrisi hesaplanır (Denklem (18)).

$$\tilde{\hat{x}}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \otimes \tilde{w}_j, i = 0, 1, \dots, m \quad (18)$$

Adım 4: Bulanık optimalite fonksiyonu değerleri (\tilde{S}_i) hesaplanır (Denklem (19)).

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{\hat{x}}_{ij}, i = 0, 1, \dots, m \quad (19)$$

Adım 5: \tilde{S}_i değerlerini durulaştırılır (Denklem (20)).

$$S_i = \frac{1}{3}(S_{il} + S_{im} + S_{iu}) \quad (20)$$

Adım 6: Alternatifler artan bir şekilde fayda derecelerine (K_i) göre sıralanır ve en yüksek K_i değeri olan alternatif seçilir (Denklem (21)).

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}, i = 0, 1, \dots, m \quad (21)$$

4. Endüstriyel Bir Örnek

Bu çalışmada Konya'nın sanayi bölgesinde yer alan bir mobilya ürünleri imalat şirketinin YTZ yönetiminde tedarikçilerin risk değerlendirmesi örneği ele alınmıştır. Organizasyonlar için tanımlanan risk faktörleri, uygulamalardaki olası sonuçları ve potansiyel eğilimleri belirlemek için kullanılabilir. Ayrıca, zamanla yeni risk faktörleri ortaya çıkabilmektedir. Bu faktörleri belirlemek, risk değerlendirmesini güncellemek, müşteri ihtiyaçlarını, teknolojiyi, rakipleri ve ağdaki değişiklikleri izlemek gereklidir. Tedarik zincirinde artan belirsizlik nedeniyle, organizasyonların kırılganlığının azaltılması ve tedarik zincirinde sürdürülebilirliklerini artırılması gerekmektedir. Belirsizlikleri tespit etmek ve tedarik zincirinin kırılganlığını azaltmak için tedarik zinciri risk yönetimi gerekli araçlardan birisidir.

Mobilya endüstrisi dünyanın en etkili ve en büyük endüstrilerinden biridir. Türkiye mobilya ürünleri meclisi sektör raporu (2017)'na göre 2015 yılında mobilya üretimi yaklaşık 473\$ milyar olup, tüketim ise 466\$ milyardır. Çin mobilya pazarında 164 milyar dolar hacim ile öncü olup dünyadaki üretimin %25'ini tek başına gerçekleştirmektedir. Türkiye %1.2'lik mobilya üretim ve 5.8\$ milyar ile dünyadaki paydan çok az alabilmektedir.

Ofis mobilyaları ürün imalatı alanında öncü olmayı vaat eden şirket, genel performansını çevresel, ekonomik, operasyonel ve rekabet edebilirlik performansı açısından iyileştirmek için YTZ ile ilişkili riskleri değerlendirmek istemektedir. Ek olarak, şirket yöneticileri YTZ ile ilişkili risklere ilişkin faktörlerin önceliğini de belirlemek istemektedir.

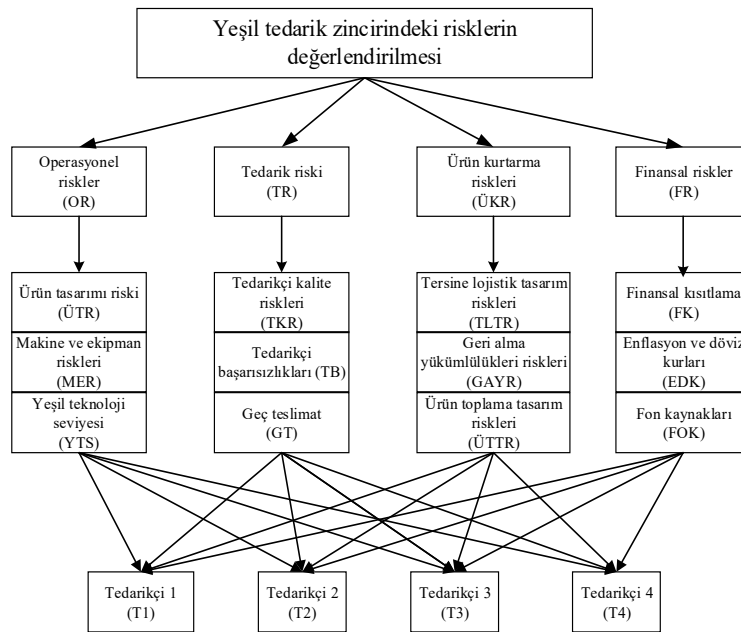
Örnek şirketin araştırması için planlama müdürü, üretim müdürü ve endüstri mühendisinden oluşan bir karar verme grubu oluşturulmuştur. Karar grubuna dahil olan profesyoneller karar verme becerisine sahiptir ve uzmanlarda her biri 7 yıldan daha uzun bir endüstriyel deneyime sahiptirler. Karar verme grubunun oluşturulmasından sonra, bir sonraki aşama veri toplama sürecidir. Bunun için uzmanlarla iletişime geçilmiş ve onlarla etkileşimli oturumlar düzenlenmiştir. Buna dayanarak, bu çalışma için gerekli veriler toplanmıştır. Uzmanlarla yapılan görüşmelerde, bu araştırmanın amacı ve bu çalışmanın endüstriyel bakış açısına göre etkili YTZ içerisinde risk faktörlerini benimsemedeki önem açıklanmıştır. Örnek şirketin YTZ yönetimindeki başarı oranını arttırmayı hedefleyen bu toplantıda bulanık AHP ve risk değerlendirme yaklaşımlarına dayalı önerilen entegre yaklaşım uygulanmıştır. Analiz detayları aşağıdaki şekilde verilmiştir:

Bu çalışmada ele alınan risk değerlendirme yaklaşımını kullanılırken ele alınabilecek bir dizi risk vardır. Kalite, teslimat, hizmet sorunları, stokastik müşteri talebi, belirsiz arz ve değişen maliyetler dâhil gibi işletmelerin üretim yeteneklerini ve karlılığını etkileyen operasyonel riskler; tedarikçilerin güvenilirliği, başarısızlıkları gibi hammadde ve parçaların tedarikçilerden işletmelere taşınmasında ortaya çıkan tedarik riskleri; ürünlerin iade

edilmesi ve geri kazanılması sırasında ortaya çıkan belirsizlikleri ve sorunları içeren ürün kurtara riskleri ve işletmelerin finansal performansı üzerinde olumsuz etki oluşturan kur riski gibi finansal riskler araştırmanın temelini oluşturmaktadır.

Araştırmada kullanılan dört ana kriter (operasyonel risk (OR), tedarik riski (TR), ürün kurtara riski (ÜKR) ve finansal riski (FR)) ve bu kriterlere ait üçer alt kriter, literatür taraması ve uzmanların görüşü ile belirlenmiştir. Ana kriterler ile ilgili ayrıntılı bilgiler için ((Majumdar ve diğ., 2020); Wang ve diğ., (2012); Rostamzadeh ve diğ., (2018); Mangla ve diğ., (2015a)) çalışmalarından faydalanılabilir. Ek olarak, alt kriterlerin kaynakları aşağıdaki gibi belirtilmiştir. Ürün tasarımı riski (Rostamzadeh ve diğ., (2018); (Dehdasht, Mohamad Zin, Ferwati, Mohammed Abdullahi, Keyvanfar ve McCaffer, 2017)), makine ve ekipman riskleri ((Aqlan ve Lam, 2015)), yeşil teknoloji seviyesi (Mangla ve diğ., (2015a)), tedarikçi kalite riskleri (Wang ve diğ., (2012); (Venkatesh vd., 2015)), tedarikçi başarısızlıkları ((Song, Ming ve Liu, 2017)), geç teslimat ((Ruimin ve diğ., 2012)); tersine lojistik tasarım riskleri (Mangla ve diğ., (2015a)); geri alma yükümlülükleri riskleri (Mangla ve diğ., (2015a); (Ngan ve diğ., 2019)), ürün toplama tasarım riskleri (Mangla ve diğ., (2015b)), finansal kısıtlama (Mital ve diğ., (2018); Mangla ve diğ., (2016)), enflasyon ve döviz kurları (Chatterjee ve diğ., (2018)) ve fon kaynakları (Mangla ve diğ., (2015b); (Majumdar ve diğ., 2020)).

En uygun mobilya tedarikçisinin seçilmesine yönelik oluşturulan hiyerarşik yapı şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Mobilya Sektöründe En İyi Alternatif Tedarikçiyi Seçmek İçin Önerilen Hiyerarşik Yapı

4.1. Bulanık AHP-TOPSIS Sonuçları

Şekil 2'de verilen hiyerarşik yapıya göre ikinci seviye dört ana riskten, üçüncü seviye her bir ana risk kriteri altında üç alt kriterden ve dördüncü seviye dört tedarikçi (T1, T2, T3, T4) alternatifinden oluşmaktadır. Karar vericiler, Tablo 2'de gösterilen dilsel değişkenleri kriterlerin ağırlıklarını ve Tablo 3'de verilen dilsel değişkenleri alternatif tedarikçileri her bir kritere ilişkin değerlendirmek için kullanmışlardır. Tablo 4, karar vericilerin ikili karşılaştırmasını göstermektedir. Tablo 5, üç karar vericinin ikili karşılaştırmalarının geometrik ortalamasını göstermektedir. Karar vericiler tarafından belirlenen kriterlerin ağırlıkları Buckley (1985)'in geometrik ortalama yöntemini kullanılarak elde edilmiş ve Tablo 6'da gösterilmiştir. Benzer şekilde alt kriterler de değerlendirilmiş ve Tablo 7'deki sonuçlar elde edilmiştir. Dört alternatif tedarikçi (Tablo 3'e dayanarak) belirlenen kriterler altında karar vericiler tarafından değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 8'de gösterilmiştir. Tedarikçilerin bulanık karar matrisi Tablo 8'den yararlanarak hesaplanmış ve Tablo 9'da gösterilmiştir. Daha sonra, Tablo 10'da gösterildiği gibi karar matrisi normalize edilmiş ve Tablo 11'de gösterildiği gibi ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisine dönüştürülmüştür. Son olarak, her bir alternatifin yakınlık katsayısı ve sıralamaları Tablo 12'de azalan sırayla $T3 > T4 > T1 > T2$ olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. İkili Karşılaştırma Matrisinde Kullanılan Görelî Önem Ölçeği (Lin, 2010)

Dilsel Değişken	Önem Düzeyi	Bulanık Ölçek
Eşit derecede önemli	1	(1, 1, 1)
Orta	2	(1, 2, 3)

Zayıf derecede önemli	3	(2, 3, 4)
Orta	4	(3, 4, 5)
Kuvvetli derecede önemli	5	(4, 5, 6)
Orta	6	(5, 6, 7)
Çok kuvvetli derecede önemli	7	(6, 7, 8)
Orta	8	(7, 8, 9)
Kesinlikle daha önemli	9	(9, 9, 9)

Tablo 3. Sözel Değerlendirmeler Ve Bulanık Sayı Karşılıkları

Sözel ifade	Bulanık karşılık
Çok Düşük (ÇD)	(0, 1, 3)
Düşük (D)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
İyi (İ)	(5, 7, 9)
Çok İyi (Çİ)	(7, 9, 10)

Tablo 4. Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

	KV1*				KV2				KV3			
	OR	TR	SO	FR	EC	EN	SO	FR	EC	EN	SO	FR
OR	(1,1,1)	(3,4,5)	(4,5,6)	(2,3,4)	(1,1,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(5,6,7)	(4,5,6)	(3,4,5)
TR		(1,1,1)	(1, 2, 3)	(1/5,1/4,1/3)		(1,1,1)	(1, 2, 3)	(1/7,1/6,1/5)		(1,1,1)	(2,3,4)	(1/3,1/2,1)
ÜKR			(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)			(1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)			(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)
FR				(1,1,1)				(1,1,1)				(1,1,1)

*Karar Verici: KV olarak kısaltılmıştır.

Tablo 5. Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

	OR	TR	SO	FR
OR	(1,1,1)	(3.557,4.579,5.593)	(3.175,4.217,5.241)	(1,1.339,1.710)
TR	(0.179,0.218,0.281)	(1,1,1)	(1.260,2.289,3.302)	(0.212,0.275,0.405)
ÜKR	(0.191,0.237,0.315)	(0.303,0.437,0.794)	(1,1,1)	(0.161,0.193,0.240)
FR	(0.585,0.747,1)	(2.466,3.634,4.718)	(4.160,5.192,6.214)	(1,1,1)

Tablo 6. Kriterlerin Ağırlıkları

Ana kriterler	Bulanık Ağırlıklar	Kesin Ağırlıklar	Normalize Ağırlıklar
OR	(0.293,0.436,0.637)	0.455	0.431
TR	(0.075,0.118,0.188)	0.127	0.120
ÜKR	(0.050,0.073,0.119)	0.080	0.076
FR	(0.250,0.374,0.557)	0.394	0.373

Tablo 7. Alt Kriterlerin Yerel ve Global Ağırlıkları

Ana kriterler	Alt-kriterler	Yerel Bulanık Ağırlıklar	Global Bulanık Ağırlıklar
OR (0.293,0.436,0.637)	ÜTR	(0.134,0.195,0.277)	(0.039,0.085,0.176)
	MER	(0.070,0.094,0.139)	(0.020,0.041,0.089)
	YTS	(0.534,0.711,0.941)	(0.156,0.310,0.599)
TR (0.075,0.118,0.188)	TKR	(0.435,0.638,0.902)	(0.032,0.075,0.169)
	TB	(0.199,0.284,0.430)	(0.015,0.033,0.081)
	GT	(0.059,0.079,0.110)	(0.004,0.009,0.021)
ÜKR (0.050,0.073,0.119)	TLTR	(0.094,0.130,0.193)	(0.005,0.009,0.023)
	GAYR	(0.126,0.175,0.255)	(0.006,0.013,0.030)
	ÜTTR	(0.485,0.695,0.971)	(0.024,0.050,0.115)
FR (0.250,0.374,0.557)	FK	(0.404,0.585,0.855)	(0.101,0.219,0.476)
	EDK	(0.068,0.095,0.137)	(0.017,0.035,0.076)
	FOK	(0.209,0.320,0.474)	(0.052,0.120,0.264)

Tablo 8: Kriterlere Göre Tedarikçilerin Dilsel Değerlendirmesi

	Tedarikçiler	Karar Vericiler				Tedarikçiler	Karar Vericiler		
		KV1	KV2	KV3			KV1	KV2	KV3
ÜTR	T1	ÇD	D	O	TKR	T1	İ	Çİ	O
	T2	O	D	İ		T2	D	İ	ÇD
	T3	Çİ	İ	İ		T3	O	İ	İ
	T4	O	İ	O		T4	D	İ	O

MER	T1	O	O	D	TB	T1	O	O	D	
	T2	ÇD	ÇD	O		T2	D	ÇD	O	
	T3	İ	İ	İ		T3	İ	Çİ	İ	
	T4	Çİ	İ	O		T4	D	İ	O	
YTS	T1	İ	O	İ	GT	T1	ÇD	O	İ	
	T2	ÇD	İ	D		T2	D	O	D	
	T3	O	İ	Çİ		T3	O	İ	D	
	T4	O	D	O		T4	İ	O	O	
		Tedarikçiler	Karar Vericiler					Tedarikçiler	Karar Vericiler	
			KV1	KV2	KV3			KV1	KV2	KV3
TLTR	T1	O	O	O	FK	T1	ÇD	D	ÇD	
	T2	İ	İ	Çİ		T2	D	D	D	
	T3	İ	İ	O		T3	İ	İ	İ	
	T4	O	İ	O		T4	İ	Çİ	O	
GAYR	T1	İ	O	İ	EDK	T1	O	O	D	
	T2	İ	İ	Çİ		T2	D	ÇD	D	
	T3	İ	Çİ	İ		T3	İ	İ	Çİ	
	T4	O	O	İ		T4	O	İ	O	
ÜTTR	T1	ÇD	D	D	FOK	T1	D	D	D	
	T2	O	İ	İ		T2	İ	İ	O	
	T3	O	O	D		T3	O	D	D	
	T4	İ	İ	İ		T4	İ	İ	İ	

Tablo 9. Bulanık Birleştirilmiş Karar Matrisi

	ÜTR	MER	YTS	TKR	TB	GT	TLTR	GAYR	ÜTTR	FK	EDK	FOK
T1	(1,66,3,5)	(2,33,4,33,6,33)	(4,33,6,33,8,33)	(5,7,8,33)	(2,33,4,33,6,33)	(3,4,33,6,33)	(3,5,7)	(4,33,6,33,8,33)	(1,2,33,4,33)	(1,1,66,3,66)	(2,33,4,33,6,33)	(1,3,5)
T2	(3,5,7)	(1,66,2,33,4,33)	(2,33,3,66,5,66)	(2,33,3,66,5,66)	(1,66,3,5)	(1,66,4,33,5,66)	(5,66,7,66,9)	(5,66,7,66,9)	(4,33,6,33,8,33)	(1,3,5)	(1,2,33,4,33)	(4,33,6,33,8,33)
T3	(5,66,7,66,9)	(5,7,9)	(5,7,8,33)	(4,33,6,33,8,33)	(5,66,7,66,9)	(3,5,7)	(4,33,6,33,8,33)	(5,66,7,66,9)	(2,33,4,33,6,33)	(5,7,9)	(5,66,7,66,9)	(1,66,3,66,5,66)
T4	(3,66,5,66,7,66)	(5,7,8,33)	(2,33,4,33,6,33)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,66,5,66,7,66)	(3,66,5,66,7,66)	(3,66,5,66,7,66)	(5,7,9)	(5,7,8,33)	(3,66,5,66,7,66)	(5,7,9)

Tablo 10. Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	ÜTR	MER	YTS	TKR	TB	GT	TLTR	GAYR	ÜTTR	FK	EDK	FOK
T1	(0,184,0,333,0,556)	(0,259,0,481,0,703)	(0,520,0,760,1,000)	(0,600,0,840,1,000)	(0,259,0,481,0,703)	(0,392,0,565,0,826)	(0,333,0,556,0,778)	(0,481,0,703,0,926)	(0,111,0,259,0,481)	(0,111,0,184,0,407)	(0,259,0,481,0,703)	(0,111,0,333,0,556)
T2	(0,333,0,556,0,778)	(0,184,0,259,0,481)	(0,280,0,439,0,679)	(0,280,0,439,0,679)	(0,184,0,333,0,556)	(0,217,0,565,0,739)	(0,629,0,851,1,000)	(0,629,0,851,1,000)	(0,481,0,703,0,926)	(0,111,0,333,0,556)	(0,111,0,259,0,481)	(0,481,0,703,0,926)
T3	(0,629,0,851,1,000)	(0,556,0,778,1,000)	(0,600,0,840,1,000)	(0,520,0,760,1,000)	(0,629,0,851,1,000)	(0,392,0,653,0,914)	(0,481,0,703,0,926)	(0,629,0,851,1,000)	(0,259,0,481,0,703)	(0,556,0,778,1,000)	(0,629,0,851,1,000)	(0,184,0,407,0,629)
T4	(0,407,0,629,0,851)	(0,556,0,778,0,926)	(0,280,0,520,0,760)	(0,360,0,600,0,840)	(0,333,0,556,0,778)	(0,478,0,739,1,000)	(0,407,0,629,0,851)	(0,407,0,629,0,851)	(0,556,0,778,1,000)	(0,556,0,778,0,926)	(0,407,0,629,0,851)	(0,556,0,778,1,000)

Tablo 11. Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	ÜTR	MER	YTS	TKR	TB	GT	TLTR	GAYR	ÜTTR	FK	EDK	FOK
T1	(0,007,0,028,0,098)	(0,005,0,020,0,062)	(0,081,0,235,0,599)	(0,019,0,063,0,169)	(0,004,0,016,0,057)	(0,002,0,005,0,017)	(0,002,0,005,0,018)	(0,003,0,009,0,028)	(0,003,0,013,0,055)	(0,011,0,040,0,194)	(0,004,0,017,0,054)	(0,006,0,040,0,147)
T2	(0,013,0,047,0,137)	(0,004,0,011,0,043)	(0,044,0,136,0,407)	(0,009,0,033,0,115)	(0,003,0,011,0,045)	(0,001,0,005,0,015)	(0,003,0,008,0,023)	(0,004,0,011,0,030)	(0,012,0,035,0,107)	(0,011,0,073,0,265)	(0,002,0,009,0,037)	(0,025,0,084,0,244)
T3	(0,025,0,072,0,176)	(0,011,0,032,0,089)	(0,094,0,260,0,599)	(0,017,0,057,0,169)	(0,009,0,028,0,081)	(0,002,0,006,0,019)	(0,002,0,007,0,021)	(0,004,0,011,0,030)	(0,006,0,024,0,081)	(0,056,0,170,0,476)	(0,011,0,030,0,076)	(0,010,0,049,0,166)
T4	(0,016,0,053,0,150)	(0,011,0,032,0,082)	(0,044,0,161,0,455)	(0,012,0,045,0,142)	(0,005,0,019,0,063)	(0,002,0,007,0,021)	(0,002,0,006,0,019)	(0,003,0,008,0,026)	(0,013,0,039,0,115)	(5,7,8,33)	(3,66,5,66,7,66)	(5,7,9)

Tablo 9. Tedarikçilerin Bulanık TOPSIS Yöntemine Göre Sıralamaları

Tedarikçiler	d_i^+	d_i^-	CC_i	Sıralama
T1	11.330	0.917	0.075	3
T2	11.343	0.893	0.073	4
T3	11.068	1.234	0.100	1
T4	11.147	1.136	0.092	2

4.2. Bulanık AHP-VIKOR Sonuçları

Bulanık VIKOR yönteminin adımları, TOPSIS yönteminde elde edilen bulanık karar matrisi kullanılarak uygulanmıştır. İlk önce en iyi bulanık (f_j^*) ve en kötü bulanık (f_j^-) değerleri hesaplanmış, sonra bulanık \tilde{S}_i , \tilde{R}_i ve \tilde{Q}_i değerleri her alternatif için $v = 0.5$ alınarak elde edilmiştir. Son aşamada bulanık sayılar durulaştırılmış ve S , R ve Q değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 13'de gösterilmektedir.

Tablo 10. Tedarikçilerin Bulanık VIKOR Yöntemine Göre Sıralamaları

Tedarikçiler	Q		S		R	
	Değer	Sıralama	Değer	Sıralama	Değer	Sıralama
T1	0.629	3	2.171	3	0.476	3
T2	0.682	4	2.669	4	0.599	4
T3	0.201	1	0.526	1	0.221	1
T4	0.371	2	1.381	2	0.449	2

Tablo 13, dört tedarikçiyi S_i , R_i ve Q_i değerlerine göre artan düzende sıralamaktadır. En iyi Q_i değerine göre T3'ün en iyi sırada olduğu görülmektedir.

4.3. Bulanık AHP-ARAS Sonuçları

Bulanık karar matrisi normalleştirilmesi ile bulanık ARAS yönteminin uygulanmasına başlanmış ardından tedarikçiler bulanık ARAS yöntemine göre sıralanmış ve sonuçlar Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 11. Tedarikçilerin Bulanık ARAS Yöntemine Göre Sıralamaları

Tedarikçiler	\tilde{S}_i	S_i	K_i	Sıralama
İdeal Değerler	(0.131,0.258,0.506)	0.298	1	
T1	(0.067,0.151,0.351)	0.189	0.635	3
T2	(0.061,0.146,0.349)	0.185	0.622	4
T3	(0.116,0.235,0.473)	0.275	0.921	1
T4	(0.097,0.210,0.442)	0.250	0.837	2

Mevcut durumda, yukarıdaki analize dayalı olarak, T3, en yüksek K_i değerine sahip tedarikçidir ve seçilen kriterlere göre diğer üç alternatiften daha iyi performans göstermektedir.

4.4. Duyarlılık Analizi

Bu bölümde, tedarikçiler arasındaki sıralamanın kriter ağırlıklarındaki değişikliklere duyarlılığını incelemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Tablo 15, dikkate alınan durumlar için ele alınan kriter ağırlıklarını göstermektedir. Şekil 3, farklı bulanık ağırlık değerlerine bağlı olarak alternatiflerin sıralamasını göstermektedir.

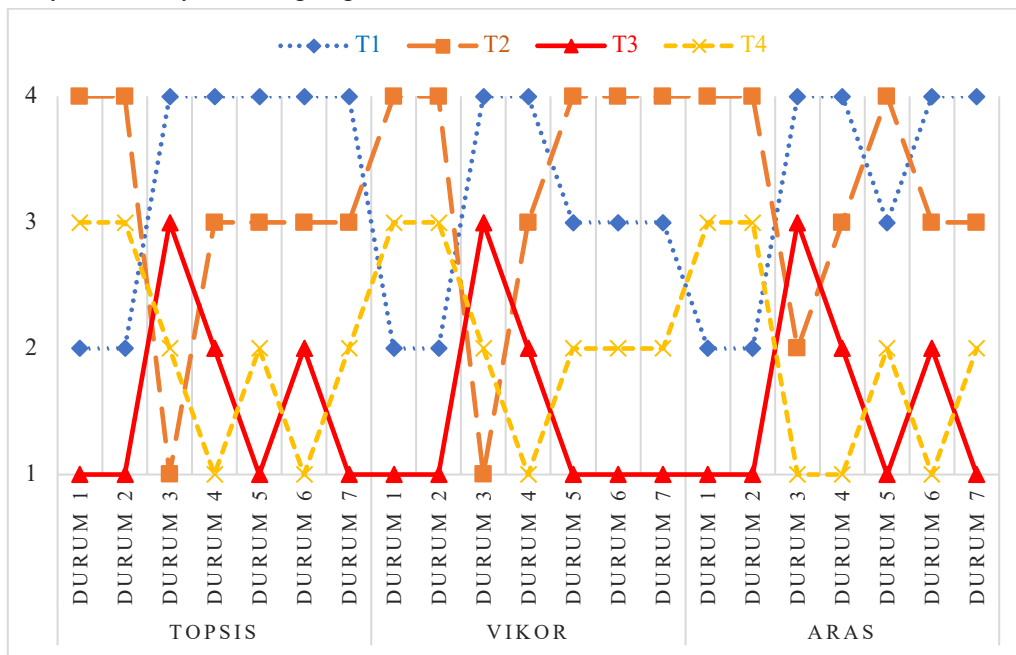
Tablo 12. Dikkate alınan durumlara ilişkin kriter ağırlıkları

	OR	TR	ÜKR	FR
Mevcut Ağırlıklar	(0.293,0.436,0.637)	(0.075,0.118,0.188)	(0.050,0.073,0.119)	(0.250,0.374,0.557)
Durum 1	(1,1,1)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
Durum 2	(0,0,0)	(1,1,1)	(0,0,0)	(0,0,0)
Durum 3	(0,0,0)	(0,0,0)	(1,1,1)	(0,0,0)
Durum 4	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(1,1,1)
Durum 5	(0.075,0.118,0.188)	(0.293,0.436,0.637)	(0.050,0.073,0.119)	(0.250,0.374,0.557)

Durum 6	(0.050,0.073,0.119)	(0.075,0.118,0.188)	(0.293,0.436,0.637)	(0.250,0.374,0.557)
Durum 7	(0.050,0.073,0.119)	(0.075,0.118,0.188)	(0.293,0.436,0.637)	(0.250,0.374,0.557)

Şekil 3'e göre mevcut ağırlıklara göre en iyi tedarikçi elde edilen T3 alternatifi TOPSIS yönteminde dört durumda, VIKOR yönteminde beş durumda ve ARAS yönteminde dört durumda en iyi alternatif olarak elde edilmiştir. VIKOR yönteminde durum 5,6 ve 7'de, ARAS yönteminde ise durum 5'de mevcut elde edilen sıralama değişmezken diğer durumlarda tedarikçilerin sıralamaları değişmiştir. T1 alternatifi sadece TOPSIS yönteminde bir kez en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. T4 alternatifi TOPSIS yönteminde durum 4 ve 6'da, VIKOR yönteminde durum 4'de ve ARAS yönteminde durum 3, 4, ve 6'da en çok tercih edilen alternatif konumuna gelmiştir. Duyarlılık analizi, alternatifler arasındaki sıralamanın ana kriterlerin ağırlıklarındaki değişikliklere duyarlı olduğunu göstermektedir.

Önerilen entegre yaklaşımların güvenilir sonuçlar üretip üretmediği sorusuna cevap vermek için üç farklı yaklaşım tercih edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, elde edilen tedarikçi sıralama sonuçları farklı ÇKKV yöntemleri ile elde edilerek sonuçların doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Sıralama sonuçları, üç farklı yaklaşımın aynı sıralamayı elde ettiğini göstermektedir.



Şekil 3. Duyarlılık Analizi Sonuçları

5. Tartışma ve Sonuç

Tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi seçimi için risk değerlendirmesi, belirsizliği ve bulanıklığı içeren bir ÇKKV problemidir. Uygulanan yöntemler, karar vericilerin kararlarının artılarını ve eksilerini tespit etmelerini ve takdir etmelerini sağlamaktadır. Bu çalışma, tedarikçi seçim probleminde risk analizini desteklemek için bulanık ÇKKV yaklaşımlarının değerlendirilmesini önermektedir. Önerilen yaklaşım iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, karar vericilerin ağırlıkları, belirlenen risk kriterlerinin ağırlıkları bulanık kümeler ile AHP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada, tedarikçi seçiminde karar vericilerin önyargısını ortadan kaldırmak ve alternatiflerin değerlendirilmesinde meydana gelen hataların olasılığını ortadan kaldırmak için, bulanık ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleri uygulanarak tedarikçi sıralamaları elde edilmiştir.

Bu çalışmanın getirdiği önemli katkılar ve yenilikler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- AHP, TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleri güçlü bir karar verme aracı olmasına rağmen, belirsizlikle başa çıkmak için tek başına yeterli değildir.
- Önerilen bulanık entegre yaklaşımlar, karar verme sürecindeki belirsizliklere ele alabilmeyi mümkün kılmaktadır.
- YTZ ile ilgili riskler farklı entegre yöntemlerle önceliklendirilerek sonuçların karşılaştırılmasına imkan sağlamıştır.

Ana kriter ağırlıkları incelendiğinde en önemli kriterin 0.431 değeri ile operasyonel riskler olduğu görülmektedir. Y TZ kapsamında operasyonel riskler ürünlerin üretiminde etkin olmayan çevre dostu malzemeler, yetersiz veya başarısız iç süreçler, operasyonlar, sistemler gibi faktörler operasyonel risk olarak tanımlanabilir (Yang & Li, 2010). Bu nedenle işletmenin başarısını olumsuz etkileyebilecek operasyonların başarısız olması, üretim süreçleri sırasında verimlilik sorunlarına yol açabilir. Bu kriteri 0.373 değeri ile finansal riskler, 0.120 değeri ile tedarik riskleri takip ederken en son sırada 0.120 ürün kurtarma riskleri kriteri yer almaktadır. Ana kriterler altında alt kriterlerin ağırlıkları incelenmiş ve Tablo 7’de sunulmuştur oluşturulmuştur. Bu tabloya göre, uzmanların verdiği cevaplar doğrultusunda yeşil teknoloji seviyesi en önemli alt kriterdir. Diğer iki kriter ise finansal kısıtlamalar ve fon kaynakları olarak elde edilmiştir.

Farklı ÇKKV ile elde edilen tedarikçi sıralamaları incelendiğinde alternatif olarak belirlenen T3 tedarikçisi ilk sırada yer almaktadır. Üçüncü tedarikinin en uygun alternatif olarak öne çıkmasının sebebi, operasyonel ve finansal risklere ait alt kriter değerlendirmelerinde uzmanlara göre performansının genel olarak iyi ve çok iyi olarak belirtilmesidir. Buna karşılık T2 tedarikçisinin performansının diğerlerine göre düşük değerlendirilmesi en az tercih edilebilecek tedarikçi olmasını sağlamıştır.

Y TZ yönetiminde risk değerlendirmesi için, entegre yaklaşımlarına dayanarak, bulanık ÇKKV süreci geliştirilmiştir. Dört ana kriter ve 12 alt kriter önerilmiştir. En önemli kriterin operasyonel riskler (OR), ürün kurtarma risklerinin (ÜKR) en az önemli olduğu araştırma sonucunda tespit edilmiştir. (Mangla ve diğ., 2015a) en önemli riski operasyonel riskler olarak elde etmişken en az önemli olarak talep riski olarak bulmuştur. (Mangla ve diğ., 2015a) poli plastik üretimi yapan bir şirket üzerinde uygulama yapmış ve ana kriterlerin farklı olması risk önceliklerinin farklı elde edilmesini sağlamıştır. (Rostamzadeh ve diğ., 2018) en önemli kriterin üretim/üretici riskleri olduğu ifade etmişken, (Chatterjee ve diğ., 2018) için tedarik riski ilk sırada yer almıştır. Her an risk kriteri için en baskın alt kriter şu şekilde bulunmuştur: yeşil teknoloji seviyesi, tedarikçi kalite riskleri, ürün toplama tasarımı riskleri ve finansal kısıtlama. Ayrıca tedarikçilerin risk sıralaması şu şekildedir; Üçüncü tedarikçisini (T3) en iyi aday olduğu bilinmektedir. T4 ikinci sırada, T1 ve T2 üçüncü ve dördüncü sırada yer almıştır.

Bu çalışmadaki yöntemler mobilya sektöründe dört farklı tedarikçinin performans değerlendirmesini ele almış ve en uygun tedarikçiyi seçmiştir. AHP yönteminin en büyük avantajı, basitliği, kullanım kolaylığı ve karar verme problemin parçalarını hiyerarşik bir yapıda sıralama kabiliyetine sahiptir. Bununla birlikte, karmaşık sistemlerde uygulamaları kısıtlayan kriterler arasındaki karşılıklı bağımlılıkları modelleme yeteneğinden yoksundur (Qu ve diğ., 2018). TOPSIS yöntemi basitlik, rasyonellik, anlaşılabilirlik, iyi hesaplama etkinliği ve her alternatif için göreceli performansı basit bir matematiksel formda ölçme kabiliyeti gibi avantajlara sahip olmasına rağmen kullanılan öklid uzaklık algoritması kriterlerin korelasyonunu dikkate almaz ve uzman kararları tarafından elde edilen ağırlık katsayıları öznel değerlendirmeye sahip olduğu için dezavantajları da bulunmaktadır (P. Wang ve diğ., 2015). VIKOR yönteminde bir uzlaşık çözümü karşılıklı tavizlere dayanarak belirlenirken, TOPSIS yönteminde en iyi çözüm, alternatifler arasındaki mesafelerin göreceli önemi dikkate alınmadan pozitif ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif ideal çözüme en uzak mesafe ile belirlenir (Opricovic ve Tzeng, 2007). ARAS yöntemine göre, uygun bir alternatifin göreceli etkinliğini belirleyen bir fayda fonksiyon değeri, bir projede dikkate alınan ana kriterlerin değerlerinin ve ağırlıklarının nispi etkisiyle doğrudan orantılıdır (Zavadskas ve diğ., 2010).

Gelecekteki araştırmalar, burada gerçek dünyadaki grup karar verme problemi için sunulan karar çerçevesinin tedarik zinciri yönetiminde farklı karar verme problemlerine uygulanmasına odaklanacaktır. Bir sonraki adımda, belirsizlik ve bulanıklığı modellemeye yönelik karar modellerini ve uygulamalarını daha da ileri götürmek olacaktır. Ayrıca, tedarikçi risk değerlendirmesi için önerilen çerçevenin daha da geliştirilmesi, gelecekteki araştırmalar için yönlendirici olarak kabul edilebilecektir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akman, G. (2015). Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods. *Computers and Industrial Engineering*, 86, 69–82. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.013>

Aqlan, F., & Lam, S. S. (2015). Supply chain risk modelling and mitigation. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5640–5656. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1047975>

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233–247. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9)

Chatterjee, K., & Kar, S. (2016). Multi-criteria analysis of supply chain risk management using interval valued

fuzzy TOPSIS. *OPSEARCH*, 53(3), 474–499. <https://doi.org/10.1007/s12597-015-0241-6>

Chatterjee, K., Zavadskas, E., Tamošaitienė, J., Adhikary, K., & Kar, S. (2018). A Hybrid MCDM Technique for Risk Management in Construction Projects. *Symmetry*, 10(2), 46. <https://doi.org/10.3390/sym10020046>

Christopher, M., & Lee, H. (2004). Mitigating supply chain risk through improved confidence. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5), 388–396. <https://doi.org/10.1108/09600030410545436>

Dehdasht, G., Mohamad Zin, R., Ferwati, M., Mohammed Abdullahi, M., Keyvanfar, A., & McCaffer, R. (2017). DEMATEL-ANP Risk Assessment in Oil and Gas Construction Projects. *Sustainability*, 9(8), 1420. <https://doi.org/10.3390/su9081420>

Fahimnia, B., Sarkis, J., & Davarzani, H. (2015). Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 162, 101–114. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2015.01.003>

Hashemi, S. H., Karimi, A., & Tavana, M. (2015). An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *International Journal of Production Economics*, 159, 178–191. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.027>

Hu, A. H., Hsu, C.-W., Kuo, T.-C., & Wu, W.-C. (2009). Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 7142–7147. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2008.08.031>

Humphreys, P. ., Wong, Y. ., & Chan, F. T. . (2003). Integrating environmental criteria into the supplier selection process. *Journal of Materials Processing Technology*, 138(1–3), 349–356. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00097-9)

Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer-Verlag. <https://books.google.com.tr/books?id=X-wYAQAIAAJ>

Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Pourmehdi, F. (2019). A robust optimization model for efficient and green supply chain planning with postponement strategy. *International Journal of Production Economics*, 214, 266–283. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2018.06.013>

Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517–2527. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2010.02.051>

Kumar, M. S., Sunil, L., & Suresh, J. (2018). Benchmarking the risk assessment in green supply chain using fuzzy approach to FMEA: Insights from an Indian case study. *Benchmarking: An International Journal*, 25(8), 2660–2687. <https://doi.org/10.1108/BIJ-04-2017-0074>

Lee, A. H. I. (2009). A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2879–2893. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.01.045>

Lin, H.-F. (2010). An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. *Computers & Education*, 54(4), 877–888. <https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2009.09.017>

Majumdar, A., Sinha, S. K., Shaw, M., & Mathiyazhagan, K. (2020). Analysing the vulnerability of green clothing supply chains in South and Southeast Asia using fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Research*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1708988>

Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015a). Flexible Decision Modeling for Evaluating the Risks in Green Supply Chain Using Fuzzy AHP and IRP Methodologies. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 16(1), 19–35. <https://doi.org/10.1007/s40171-014-0081-x>

Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015b). Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 375–390.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.01.001>

Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2016). An Integrated Methodology of FTA and Fuzzy AHP for Risk Assessment in Green Supply Chain. *International Journal of Operational Research*, 25(1), 77–99. <https://doi.org/10.1504/IJOR.2016.073252>

Mital, M., Del Giudice, M., & Papa, A. (2018). Comparing supply chain risks for multiple product categories with cognitive mapping and Analytic Hierarchy Process. *Technological Forecasting and Social Change*, 131, 159–170. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2017.05.036>

Ngan, S. L., Promentilla, M. A. B., Yatim, P., & Lam, H. L. (2019). A Novel Risk Assessment Model for Green Finance: the Case of Malaysian Oil Palm Biomass Industry. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 3(1), 75–88. <https://doi.org/10.1007/s41660-018-0043-4>

Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514–529. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2006.01.020>

Ozturkoglu, Y., Kazancoglu, Y., & Ozkan-Ozen, Y. D. (2019). A sustainable and preventative risk management model for ship recycling industry. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117907. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.117907>

Qu, Z., Wan, C., Yang, Z., & Lee, P. (2018). A Discourse of Multi-criteria Decision Making (MCDM) Approaches. İçinde *International Series in Operations Research and Management Science* (ss. 7–29). https://doi.org/10.1007/978-3-319-62338-2_2

Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmacili, A., & Nobar, H. B. K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS- CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651–669. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.071>

Ruimin, M., Yao, L., & Huang, R. (2012). The Green Supply Chain Management Risk Analysis. *Advanced Materials Research*, 573–574, 734–739. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.573-574.734>

Sanayei, A., Farid Mousavi, S., & Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 24–30. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2009.04.063>

Song, W., Ming, X., & Liu, H.-C. (2017). Identifying critical risk factors of sustainable supply chain management: A rough strength-relation analysis method. *Journal of Cleaner Production*, 143, 100–115. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.12.145>

Tang, O., Matsukawa, H., & Nakashima, K. (2012). Supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 139(1), 1–2. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2012.06.015>

Turskis, Z., & Zavadskas, E. K. (2010). A new fuzzy additive ratio assessment method (ARAS-F). Case study: The analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location. *Transport*, 25(4), 423–432. <https://doi.org/10.3846/transport.2010.52>

Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making. Methods and applications* (1st Editio). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/b11032>

Venkatesh, V. G., Rathi, S., & Patwa, S. (2015). Analysis on supply chain risks in Indian apparel retail chains and proposal of risk prioritization model using Interpretive structural modeling. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 26, 153–167. <https://doi.org/10.1016/J.JRETCONSER.2015.06.001>

Wang, P., Li, Y., Wang, Y.-H., & Zhu, Z.-Q. (2015). A New method based on TOPSIS and response surface method for MCDM problems with interval numbers. *Mathematical Problems in Engineering*, 11. <https://doi.org/10.1155/2015/938535>

Wang, X., Chan, H. K., & Diaz-Rainey, I. (2012). A two-stage fuzzy-AHP model for risk assessment of implementing green initiatives in the fashion supply chain. *International Journal of Production Economics*,

135(2), 595–606. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2011.03.021>

Wong, J.-T. (2020). Dynamic procurement risk management with supplier portfolio selection and order allocation under green market segmentation. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119835. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119835>

Yang, Z. k., & Li, J. (2010). Assessment of green supply chain risk based on circular economy. *2010 IEEE 17Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1276–1280. <https://doi.org/10.1109/ICIEEM.2010.5645996>

Yudi, F., Tim, W., Norris, I. M., Won, S. Y., & Masatoshi, K. (2018). Managing project success using project risk and green supply chain management: A survey of automotive industry. *International Journal of Managing Projects in Business*, 11(2), 332–365. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-01-2017-0007>

Zavadskas, E.K., Turskis, Z., & Vilutiene, T. (2010). Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 10(3), 123–141. [https://doi.org/10.1016/S1644-9665\(12\)60141-1](https://doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60141-1)

Zavadskas, Edmundas Kazimieras, & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Ukio Technologinis ir Ekonominis Vystymas*, 16(2), 159–172. <https://doi.org/10.3846/tede.2010.10>



Journal of Turkish Operations Management

Türkiye’de yürütülen Endüstri 4.0 araştırmaları

Saliha Karadayı-Usta^{1*}

¹Fenerbahçe Üniversitesi, Atatürk Mah. Ataşehir Blv., 34758, İstanbul

e-mail: salihakaradayiusta@gmail.com; saliha.usta@fbu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8348-4033>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 09.05.2021

Revize: 21.06.2021

Kabul: 24.08.2021

Anahtar Kelimeler:

Endüstri 4.0,
Sistemik Yayın Taraması,
Literatür Taraması,
Endüstri Mühendisliği

Özet

Endüstri 4.0, dijital dönüşüm vasıtasıyla ileri teknoloji altyapı ve nitelikli insan kaynağı kullanarak geleceğin üretim sistemlerini şekillendirecek bir fırsat konumundadır. Küresel anlamda popüler hale gelen dijital dönüşüm, yüksek rekabet ortamında yer alan veya yer almayı hedefleyen ülkeler için kaçınılmaz olup yerine getirilmesi gereken bir vazife konumundadır. Beklenen bu köklü değişimlerle ilgili ülkemizde çeşitli araştırmalar yürütülmekte, farklı konularda farklı sektörlerde farklı disiplinler için mevcut durum ortaya konmakta ve yol haritası çizilmektedir. Ancak bu dönüşüm sürecini bir bütün olarak ele alan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, ulusal veri tabanımızda 2017’den bu yana Endüstri 4.0 üzerine yapılan araştırmaları sistemik yayın taraması yoluyla incelemek ve anlamlı sonuçlar elde etmektir. Bu kapsamda araştırma soruları belirlenmiş ve bulgular irdelendiğinde, Türkiye’de endüstri mühendisliği disiplinin ele aldığı konular, firmaların Endüstri 4.0 üzerine yaptığı hazırlıklar, sektörel incelemeler, ülkeler arası yerimizi gösteren kıyaslamalı analizler, değişen eğitim gereksinimleri, finansal altyapının dönüşümü dikkat çekmektedir. Bu araştırma, Türkiye’de sektör yetkililerine farkındalık kazandırması açısından ve eylem planı oluşturmada nereden başlanması gerektiğini göstermesi bakımından fayda sağlamaktadır.

Industry 4.0 researches conducted in Turkey

Article Info

Article History:

Received: 09.05.2021

Revised: 21.06.2021

Accepted: 24.08.2021

Keywords:

Industry 4.0,
Systematic Review,
Literature Review,
Industrial Engineering.

Abstract

Industry 4.0 is an opportunity to shape the future production systems by using advanced technology infrastructure and qualified human resources through digital transformation. Digital transformation, which has become popular globally, is an inevitable task that must be fulfilled for countries that are in a highly competitive environment or that aim to take place in this competition. Various studies were carried out in Turkey regarding these expected radical changes, and the current situation for different disciplines in different sectors with different subjects were presented and road maps were designed. However, there are a limited number of studies dealing with this transformation process as a whole. Therefore, the purpose of this study is to examine the researches on Industry 4.0 in Turkish database since 2017 through a systematic review and to obtain meaningful results. In this context, the research questions were identified and findings were discussed. The topics covered in this study are issues of industrial engineering disciplines in Turkey, preparations made by companies for Industry 4.0, sectoral studies, comparative analyzes showing our country’s place between other nations, educational requirements, and the financial infrastructure needs. This research provides benefits both in terms of creating industrial representatives to increase awareness and develop action plans in Turkey.

1. Giriş

Endüstri 4.0 ilk olarak 2011 yılında Almanya'nın 2020 ileri teknoloji hedefi olarak anılmaya başlanmıştır (Zhou Liu ve Zhou, 2016; Gündoğan ve Babayiğit, 2017). "Endüstri 4.0" kavramı, akıllı makineleri izleyebilen ve kontrol edebilen, dijital ortamda akıllı sistemleri mümkün kılan bir bütündür (EBSO, 2015). Bu anlamda, Endüstri 4.0, bilgi ve iletişim teknolojilerini bütünlük bir halde kullanarak sistemin işleyişini sağlamaktadır (Tortorella ve Fettermann, 2017). Üretim sanayii ve hizmet sistemleri siber-fiziksel sistemler ile yeni bir döneme girmiş, dinamik veri işleme önem kazanmıştır.

Dijital sanayi devrimi olan Endüstri 4.0; bilişim teknolojilerinin ve endüstrinin ortaklaşa bir bütünüdür. Siber fiziksel sistemler üzerinden birbirleriyle haberleşen, operatör desteğine ihtiyaç duymadan veri alışverişi yapabilen, sensörleriyle algılayabilen, veri analizi yapabilen, yapay zeka ile karar verebilen, üç boyutlu yazıcılar vasıtasıyla üretime yeni bir boyut kazandıran bir sistem söz konusudur (Ertuğrul ve Deniz, 2018; Koda ve Çelebi, 2021). Almanya'nın başlattığı bu sistem Türkiye'de hayata geçirilebilirse büyümeyi yüzde 5 ile yüzde 8 arası bir oranda artıracığı düşünülmektedir. Endüstri 4.0 ile sanayideki büyüme iki ya da üç katına çıkarılabilirse, ekonominin geri kalanı durağan işlese bile Türkiye'nin %6'yı aşan bir büyüme elde edilebileceği öngörülmektedir (Fortune 2017).

Dijital dönüşüm ile üretimde verimlilik ve maliyet avantajı gibi firma düzeyindeki olumlu sonuçların yanında, büyüme, istihdam, insan kaynakları, eğitim, yatırım gibi uzun vadeli sonuçlar da ortaya çıkmıştır (Soylu, 2018; Şahin ve Yılmaz, 2021). Dolayısıyla endüstri mühendisliğinin de özellikle yeni nesil insan kaynakları yönetimi, kalite yönetimi, yalın altı sigma, kurumsal kaynak planlama, montaj hattı dengeleme, proje yönetimi, stok kontrol, tedarik zinciri yönetimi, veri madenciliği, makine öğrenmesi gibi konularda üstleneceği sorumluluklar artmıştır.

Vasıfsız iş gücü gerektiren işlerin otomatik hale gelmesiyle, vasıflı işlerde uzmanlaşarak katma değer yaratma devrimi ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 yani dördüncü sanayi devrimi; üretimle direkt ya da dolaylı olarak ilişkili olan bütün birimlerin birbiri ile ortak çalışmasını planlanmakta, dijital verilerin yazılımın ve bilişim teknolojilerinin birbiri ile bütünlük olarak çalışmasını öngörmektedir (Sener ve Elevli, 2017).

Dijital dönüşümün beraberinde getirdiği yapısal değişimler, eğitim sistemlerine de yeni sorumluluklar yüklemektedir. Bu sorumlulukların başında ise mevcut ve gelecek kuşakları dünya çapında yaşanan değişimlere uyumlu bireyler olarak yetiştirmek gelmektedir (Demir, İlhan ve Kalaycı, 2019). Bireylerin yeni sistemin gerektirdiği niteliklere sahip olma durumunu değerlendiren araştırmalar, bu konuda eğitim sistemlerinde özellikle yükseköğretim kademesinde bazı sorunların varlığını ortaya koymaktadır (Hayırsever ve Kalaycı, 2017).

Popüler bir kavram halini alan endüstri 4.0 hakkında hem endüstride hem toplumda farkındalık oluşmaya başlamıştır. Ancak ülkemizde nasıl uygulanacağı, ne gibi hazırlıkların gerektiği ise halen soru işareti oluşturmaktadır. 29 Avrupa Birliği ülkesinin ele alındığı Ünlü ve Atık (2019) çalışmasına göre, Endüstri 4.0 göstergelerinin analizi sonucunda, Türkiye 27. sırada yer almıştır. Dolayısıyla bu çalışma, Türkiye'nin ülkeler bazında karşılaştırıldığına rekabet ortamdaki yerini ve ülke içinde endüstri 4.0 için yapılan çalışmalarını incelemektedir.

Bu dönüşüm sürecinin, finansal anlamda da değişimlere yol açması kaçınılmazdır. Örneğin, muhasebe mesleğinin iş tanımını ve gerekliliklerini değiştirecektir (Rasgen ve Gönen, 2019). E-defterlerin, e-belgeler aracılığı ile kodlar, algoritmalar ve akıllı sistem sayesinde ilgili hesaba aktarılması ile e-defterlerin otomatik doldurulmasının söz konusu olacaktır (Dursun, Ektik ve Tutcu, 2019). Muhasebe mesleğinin Endüstri 4.0 ile uyum sağlaması ile birlikte, hata ve hile olasılığının azalması sağlanacak; daha kapsamlı, güvenilir, şeffaf ve gerçek zamanlı bilgi ihtiyacının karşılanması sonucunda finansal raporların daha sağlıklı olarak hazırlanması mümkün olacaktır. İşletme varlıklarının yönetimi ve denetimi kolaylaşacaktır. Denetim çalışmalarındaki fiziksel bağımlılıktan kurtulabilmek, veriye ulaşmada yaşanan sorunların ortadan kaldırılması, gerek müşteri işletme personeli ve gerekse denetçi yardımcılarının kaynaklı hataların minimum düzeye indirilmesi mümkün olmakla birlikte, denetim kalitesinin artması beklenmektedir. (Kablan, 2018).

Ülkemizde titizlikle yürütülen bu çalışmalar farklı konularda uzmanlaşmış, farklı sektörleri ve farklı disiplinleri ele alarak mevcut durumu analiz etmiş, çeşitli yol haritaları çizmiştir. Ancak Endüstri 4.0 konusunu bir bütün olarak ele alan çalışma sayısı kısıtlıdır.

Bu çalışmanın amacı, Dergipark veri tabanından 2017'den bu yana Türkiye dergilerinde Endüstri 4.0 üzerine yapılan araştırmaları sistematik bir şekilde incelemek ve bu yayın taramasından anlamlı sonuçlar çıkarabilmektir. Bu kapsamda sistematik yayın taraması gerçekleştirilmiş, belirlenen araştırma sorularına cevap aranmıştır. Takip eden bölümde ilgili yöntemin adımları, sistematik yayın taraması, bulgular ve sonuçlar yer almaktadır.

2. Yöntem

2.1 Sistematik yayın taraması

Sistematik yayın taraması bilimsel ve önceden planlanmış bir süreç izleyerek, ilgili çalışmaların kapsamlı incelenmesi yoluyla, açık, net, tekrarlanabilir kriterleri gözden geçirerek kişisel görüş ve tutumları en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Cook, Mulrow ve Haynes, 1997; Briner ve Denyer, 2012). Bu çalışma, Okoli ve Schabram (2010) tarafından öne sürülen sistematik yayın taraması adımlarını benimsemiştir. Bu adımlar her araştırma için aynı olmayıp, araştırmanın yapısına göre şekillenmektedir. Makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Tablo 1’de, sistematik yayın taramasının ana adımlarına yer verilmiştir.

Tablo 1. Sistematik yayın taraması adımları

#	Adımlar	Aşamalar
1	Yayın taramasının arka planı ve mantığı	Planlama
2	Araştırma sorularının belirlenmesi	
3	Arama kriterlerinin tanımlanması	
4	Literatürün taranması	Uygulama
5	İlgili çalışmaların seçilmesi	
6	Veri elde etme	
7	Verinin analizi ve sentezlenmesi	Raporlama
8	Bulguların sunulması	
9	Sonuç çıkarımı	

Sistematik yayın taramasının arka planında Endüstri 4.0 çalışmalarında neler yapıldığı sorusu bulunmaktadır. Buna göre çalışmanın ele aldığı araştırma soruları:

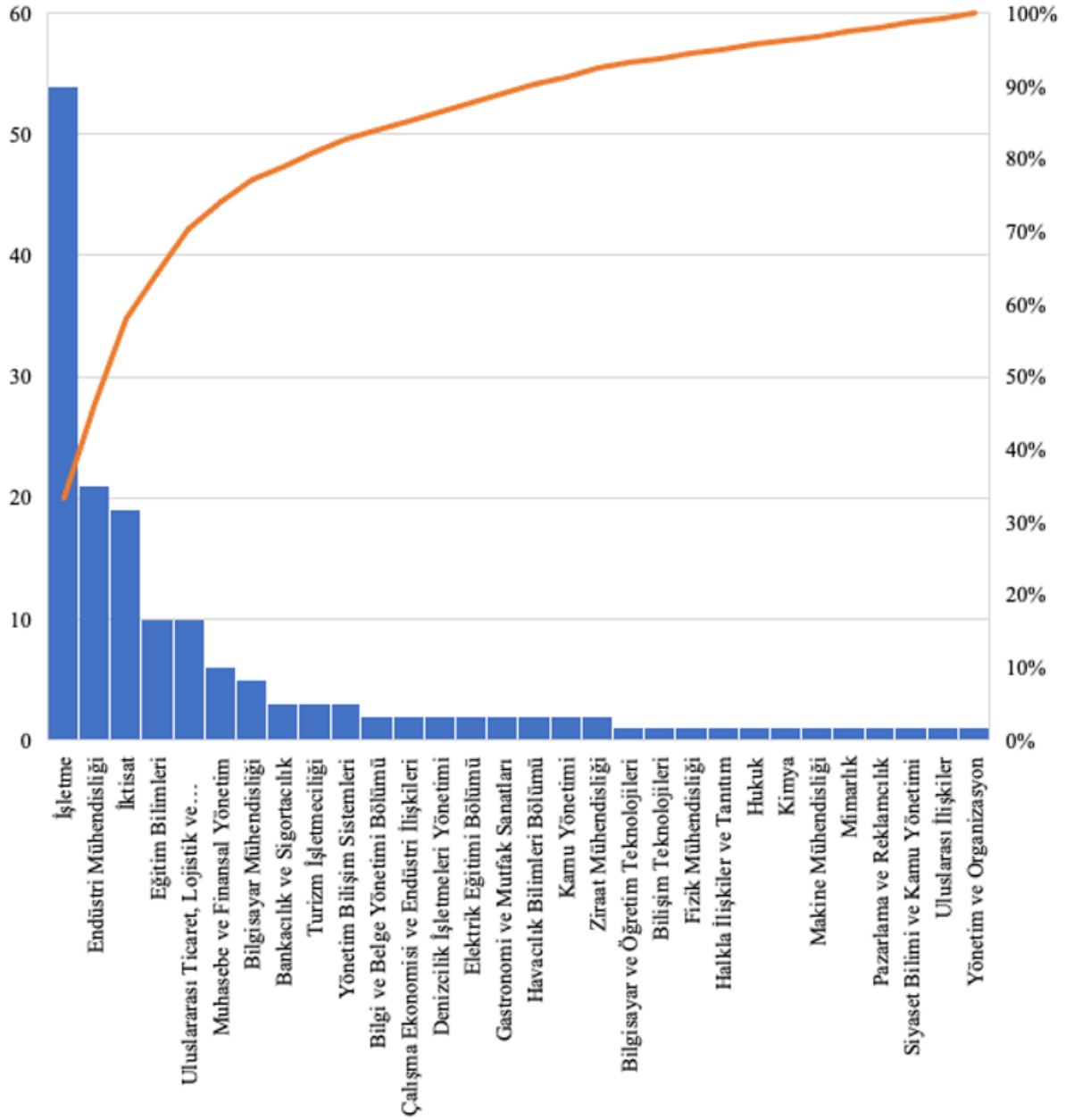
1. Hangi bölümler bu konuda çalışma yapmıştır?
2. Çalışmalar ağırlıklı olarak hangi yıllarda yayınlanmıştır?
3. Makalelerin yayınlandığı dergiler ve bu dergilerdeki yayınlanma süreleri nedir?
4. Makaleler hangi konuları ele almaktadır?
5. Makalelerin veri toplamada ve analizde kullandığı yöntemler nelerdir?
6. Hangi konularda hangi yöntemler kullanılmıştır?
7. Hangi bölümler hangi yöntemleri kullanmıştır?
8. Konularına göre sınıflandırıldığında çalışmaların bulguları ne olmuştur?

şeklindedir.

Arama kriterleri “Endüstri 4.0” anahtar kelimesi şeklinde olup, Dergipark veri tabanında başlığında bu kelimeleri içeren makaleler ele alınmış, makalelerin özet kısımları incelendikten sonra gerekli elemeler yapılmış ve 164 makale elde edilmiştir. Sadece 2017-2021 yılları arasında yayınlanan makaleler dikkate alınmıştır.

İlk araştırma sorusunun cevabı araştırıldığında, ağırlıklı olarak işletme, endüstri mühendisliği ve iktisat, eğitim bilimleri ve uluslararası ticaret, lojistik ve taşımacılık bölümlerinin endüstri 4.0 konusunda çalışma yürüttükleri görülmüştür. Çalışmaların devamı ise yayın sayılarına göre sıralandığında muhasebe ve finansal yönetim, bilgisayar mühendisliği, bankacılık ve sigortacılık, turizm işletmeciliği, yönetim bilişim sistemleri, bilgi ve belge yönetimi bölümü, çalışma ekonomisi ve endüstri ilişkileri, denizcilik işletmeleri yönetimi, elektrik eğitimi bölümü, gastronomi ve mutfak sanatları, havacılık bilimleri bölümü, kamu yönetimi, ziraat mühendisliği, gibi bölümlerinin katkısı ile ortaya çıkmıştır (Şekil 1). Az sayıda da olsa bilgisayar ve öğretim teknolojileri, bilişim teknolojileri, fizik mühendisliği, halkla ilişkiler ve tanıtım, hukuk, kimya, makine mühendisliği, mimarlık, pazarlama ve reklamcılık, siyaset bilimi ve kamu yönetimi, uluslararası ilişkiler, yönetim ve organizasyon bölümlerinden birer çalışma yayınlanmıştır.

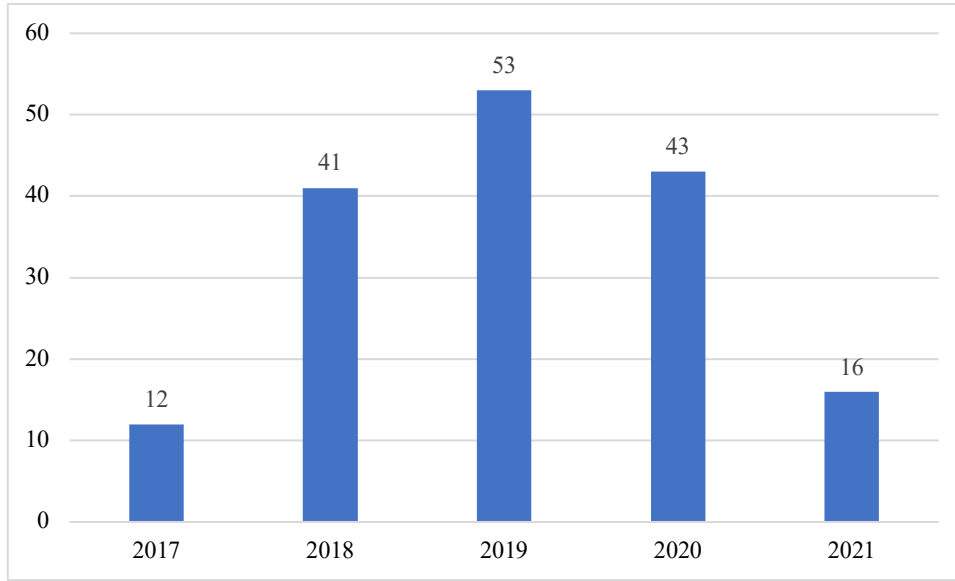
Şekil 1’de 80/20 kuralı ile oluşturulan Pareto analizi grafiği, sonuçların %80’inin nedenlerin %20’sinden kaynaklandığını savunmaktadır. Çıktıların çoğuna nedenlerin çok az ama önemli bir kısmının etki ettiğini gösteren bu grafik, İşletme Bölümü’nün Endüstri 4.0 çalışmalarında en çok etkisi olan faktör olduğuna vurgu yapmaktadır. Bu grafik aynı zamanda karşılaştırma yapmada önemli bir araç olup, faktörlerin önemini ortaya koymakta, eksik kalan ve geliştirilmesi gereken noktalara da dikkat çekmektedir.



Şekil 1. Endüstri 4.0 kapsamında araştırma yapan akademik bölümler

Yayın yapan bölümler analiz edildiğinde, beklenenin aksine sadece endüstri mühendisliğinin değil, özellikle işletme bölümünün yüksek katkısı tespit edilmiştir. Dolayısıyla işletmelerin varlığını yürütülmesi açısından Endüstri 4.0'ın ne kadar önemli bir konumda olduğu gerçeği de ortaya çıkmaktadır. Ayrıca sistemlerin, organizasyonların işleyişi hususunda da endüstri mühendisliği çalışmaları dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra, özellikle iktisat bölümü tarafından ekonometrik analizler ile ülkeler kıyaslanmış, ülkelerin bu rekabet ortamında nerede yer aldıkları tespit edilmiştir. Eğitim bilimleri açısından bakıldığında, bu dijital dönüşümün gerçekleşebilmesi için ihtiyaç duyulan eğitim altyapısının ve müfredat değişikliklerinin altı çizilmiştir. Ek olarak uluslararası ticarete, lojistikte, taşımacılıkta ve finansal altyapıda kaçınılmaz yapısal değişimler de araştırılmıştır.

Çalışmaların yayımlandığı yıllara göre bu araştırmalar sınıflandırıldığında, 2019 yılında bu konudaki yayın sayısı zirveye ulaşmıştır (Şekil 2). 2018'den bu yana yükselen yayın sayısının yine bu trendi koruması beklenmektedir. Makale taraması 2021 yılının Mayıs ayı başında yapılmış olup, aralık ayında basılacak makaleler bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınamamıştır.

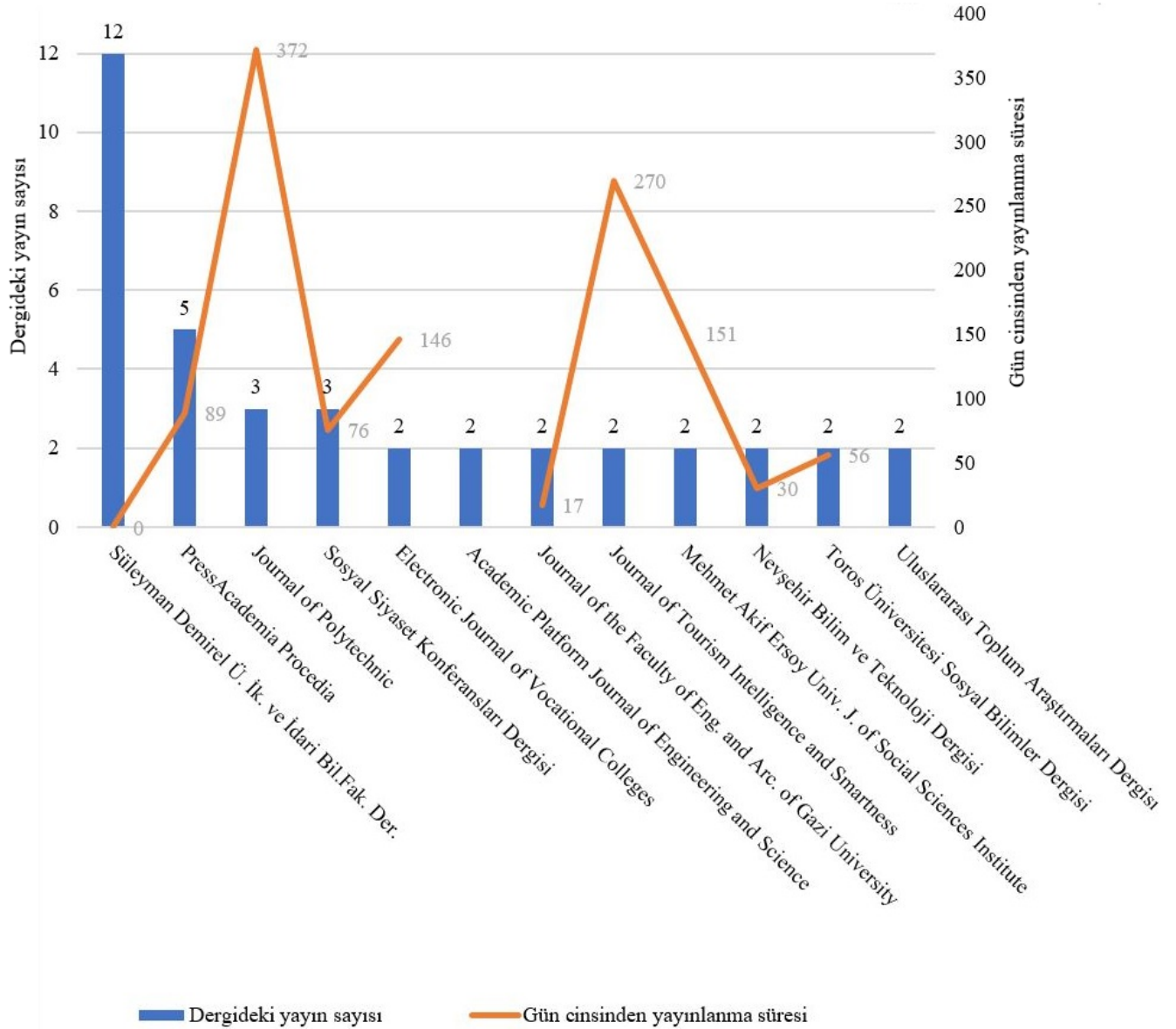


Şekil 2. Araştırmaların yayınlanma tarihleri

Çalışmaların yayınlandığı dergiler incelendiğinde, bu konuda en çok yayın yapan derginin Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi (SDÜİİBF)'nin olduğu görülmüştür. Özellikle derginin “Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı” bu alana önemli katkı sağlamıştır. Makalelerde açıklanan makalenin dergiye geliş tarihi ve kabul tarihi bilgilerinin kullanımı ile “gün cinsinden yayınlanma süreleri” elde edilmiştir. Dergilerdeki yayın sayısı ve yayın süreleri Şekil 3’ teki gibidir.

Buna göre SDÜİİBF dergisini, PressAcademia, Journal of Polytechnic, Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, Electronic Journal of Vocational Colleges, Academic Platform Journal of Engineering and Science, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Journal of Tourism Intelligence and Smartness, Mehmet Akif Ersoy University J. of Social Sciences Institute, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, Toros Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi yayın yapma sıralamasında takip etmektedir. Bu dergilerin haricinde Endüstri 4.0 konulu birer makale basmış dergiler de mevcuttur. Yayınlanma sürelerinde ise herhangi bir benzerlik bulunmamaktadır. Bazı dergilerde bir yıla yakın süren yayın süreci, bazı dergilerde 17 gün gibi kısa değerler almaktadır.

Şekil 3’te birden fazla Endüstri 4.0 çalışması bulunan dergilere yer verilmiştir. O sebeple grafikte sadece 39 yayın bulunmaktadır.



Şekil 3. Dergilerin makale sayıları ve yayınlama süreleri

İncelenen makalelerin ele aldıkları konular incelendiğinde şu konular ön plana çıkmaktadır:

- Türkiye’de endüstri mühendisliği disiplininin ele aldığı konular (insan kaynakları yönetimi, kalite yönetimi, yalın altı sigma, kurumsal kaynak planlama, montaj hattı dengeleme, proje yönetimi, stok kontrol, tedarik zinciri yönetimi, veri madenciliği, makine öğrenmesi)
- Türkiye’deki firmaların Endüstri 4.0 üzerine yaptığı çalışmalar (firmaların Endüstri 4.0 eğilimleri, firmaların Endüstri 4.0 farkındalık düzeyi, geçiş süreci için geliştirilen stratejiler, kurumsal uygulamalar)
- Sektörel incelemeler (çağrı merkezi hizmetleri, demir çelik sektörü, tarım ve hayvancılık, gastronomi, lojistik, mobilya, moda / tekstil, otomotiv, plastik, turizm)
- İhtiyaç duyulan yeni eğitim altyapısı ve müfredat değişimi (yeni iş kolları, teknolojik gelişmeler doğrultusunda Endüstri 4.0 eğitimi, yükseköğretimde Endüstri 4.0 ders içerikleri, eğitimin endüstriyel alt yapısı, öğrencilerin Endüstri 4.0 algısı ve bilgi birikimini ölçmeye yönelik çalışmalar, çocuklar için Endüstri 4.0 eğitimi, Endüstri 4.0’ a akademisyenlerin bakış açısı)
- Ülke bazında yapılan Endüstri 4.0 analizleri, Türkiye’yi odak alan analizler (Türkiye’nin dördüncü endüstri devrimindeki yeri, Türkiye’nin yerine ilişkin güncel analiz, Türkiye’nin Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında incelenmesi, Türkiye’nin Endüstri 4.0’a nereden başlanması gerektiği, Türkiye’de

Endüstri 4.0 uygulamalarının değerlendirilmesi, Endüstri 4.0'ın Türkiye'nin dış ticareti açısından değerlendirilmesi, Türkiye açısından fırsatlar ve tehditler)

Türkiye'nin küresel anlamda yerini gösteren karşılaştırmalı analizler (Dördüncü endüstri devriminin uluslararası politik ekonomi açısından etkileri, Endüstri 4.0' a geçiş performansı, Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırma, Almanya ve Türkiye'nin E4.0 yol haritasının karşılaştırılması, Türkiye'nin "Vizyon 2023" stratejisi ile Almanya'nın "2025" stratejik hedeflerinin karşılaştırılması, Çin'in büyümesinin ödeme şekilleri üzerine etkisi, İtici güçlerin Türkiye ve Çin üzerindeki etkileri, Endüstri 4.0'ın sürdürülebilir kalkınma düzeylerine etkisi)

vi. Dijital dönüşümü, veri madenciliğini ve geçiş sürecini ele alan yayınlar (Ülkemizde dijital dönüşüm sürecinde gerçekleştirilen endüstriyel ve teknolojik faaliyetler, dijital dönüşümün Türkiye ekonomisine etkisi, sanayide dijital dönüşüm ve dijital olgunluk seviyesi, dünyada ve Türkiye'de robotik teknoloji verilerinin karşılaştırılması, büyük veri ve veri madenciliğine ilişkin politika ve stratejiler, Endüstri 4.0 döneminde üretime geçiş sürecinin etkileri, yeni üretim tarzını anlamak)

vii. Türkiye'de teknolojik ilerlemenin istihdam yapısı ile ilişkisi (insan kaynakları yönetiminin küresel anlamda önemi)

viii. Uluslararası finansal raporlama ve muhasebe

ix. Pazarlama 4.0, pazarlama ve veri madenciliği

Makalelerin veri toplamada ve analizde kullandığı yöntemler incelendiğinde Tablo 2 elde edilmiştir.

Ele alınan konu ve yöntemler birlikte analiz edildiğinde, konudan bağımsız veri toplama biçiminin ağırlıklı olarak literatür taraması şeklinde gerçekleştirildiği, bunun yanı sıra anket, gözlem ve yüz yüze görüşmeler ile bilgi toplandığı anlaşılmaktadır.

"Türkiye'de endüstri mühendisliği disiplininin ele aldığı konular", "Türkiye'deki firmaların Endüstri 4.0 üzerine yaptığı çalışmalar" ve "sektörel incelemeler" konularında verilerin analizinde genelde literatür taramasını temel alan çıkarımlar yapılmış; AHP, DEMATEL, ISM, SWOT gibi konuya özgü kriterlerin analizini temel alan yöntemler, ve büyük veri analitiğine / veri madenciliğine başvurulmuştur.

Tablo 2. Konu tiplerine göre veri toplama ve analizde kullanılan yöntemler

		i. Türkiye'de endüstri mühendisliği disiplininin ele aldığı konular																									
		Çelik ve Can (2019)	Çakıt ve diğ. (2020)	Soylu (2018)	Esmen ve Alan (2019)	Çakır (2018)	Doğru ve Meçik (2018)	Türkel ve Arıkan (2020)	Şendoğdu (2020)	Türkel ve Bozdoğan (2018)	Yankın (2019)	Gümüsoğlu (2019)	Taner ve Parlak Biçer (2021)	Zorlu ve diğ. (2018)	Akgül ve diğ. (2018)	Çiftçi ve diğ. (2019)	Öktem Özgür ve Demirelek (2019)	Filizöz ve Orhan (2018)	Taş (2018)	Göktaş ve Baysal (2018)	Macit (2017)	Öğünç (2018)	Balkan (2019)	Bayraktar ve Gökçen (2019)	Çiğdem (2019)	Ecevit Sattı ve Okuy Yılmaz (2019)	
Uygulanan Yöntem	Literatürün analizi, anlamlı sonuç çıkarma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Büyük veri analitiği																										
	AHP																										
	Duyarlılık analizi																										
Veri Toplama Biçimi	Enerji yönetim sistemi																										
	Ekonometrik yöntem																										
	Literatür taraması	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Veri toplama																										
Uygulama	Gözlem																										
	Uygulama																										

Tablo 2 (devam). Konu tiplerine göre veri toplama ve analizde kullanılan yöntemler

		i. Türkiye’de endüstri mühendisliği disiplinin ele aldığı konular (devam)																			
Uygulanan Yöntem	Literatürün analizi, anlamlı sonuç çıkarma	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Büyük veri analitiği															X	X	X	X	X	X
	AHP																				X
	Duyarlılık analizi																				X
	Enerji yönetim sistemi																				X
Ekonometrik yöntem																					X
Veri Toplama Biçimi	Literatür taraması	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Veri toplama															X	X	X	X	X	X
	Gözlem																				X
	Uygulama																				X

		ii. Türkiye’deki firmaların Endüstri 4.0 üzerine yaptığı çalışmalar										iii. Sektörel incelemeler										
Uygulanan Yöntem	Verilerin incelenm.	X	X	X	X	X																
	E4.0 fark.öl.					X	X	X	X	X	X											
	Büyük veri analitiği																					X
	Bulanık bilişsel haritalama																					X
	Korelasyon analizi																					X
Veri Toplama Biçimi	Literatür taraması	X	X	X	X	X																X
	Veri toplama																					X
	Gözlem																					X
	Anket			X	X	X	X	X	X													X
	Delpi tekniği																					X
Uygulama	Yüzyüze g.																					X
	Uygulama																					X

ölçmeye yönelik çalışmalar” konusunda istatistiksel analizlerin yapıldığı, özellikle Faktör Analizi ve Yapısal Eşitlik Modeli yoluyla analizlerin gerçekleştirildiği görülmüştür.

“Türkiye’de endüstri mühendisliği disiplinin ele aldığı konular”, “Türkiye’deki firmaların Endüstri 4.0 üzerine yaptığı çalışmalar” ve “sektörel incelemeler” konularında verilerin analizinde genelde literatür taramasını temel alan çıkarımlar yapılmış; AHP, DEMATEL, ISM, SWOT gibi konuya özgü kriterlerin analizini temel alan yöntemler, ve büyük veri analitiğine / veri madenciliğine başvurulmuştur. Hangi bölümlerin hangi yöntemleri kullandığı incelendiğinde Tablo 3 elde edilmiştir.

Tablo 3. Araştırmacıların bölümleri ile kullanılan yöntemlerin birlikte incelenmesi

Bölüm	#	Analiz Yöntemi	Veri Toplama Yöntemi
Bankacılık ve S.	1	Büyük Veri Analitiği	Literatür Taraması
Bilgi ve Belge Y.	1	Betimleme Yöntemi	Belgesel Tarama Yöntemi
Bilgisayar M.	1	Veri madenciliği	Veri Toplama, Literatür taraması
Bilişim Tekn.	1	Büyük Veri Analitiği	Teorik İnceleme
Bilişim Tekn.	1	Literatür taraması	Literatür taraması
Eğitim Bilimleri	1	Durum Çalışması	Anket
Eğitim Bilimleri	1	Derleme	Literatür Taraması
Eğitim Bilimleri	2	Faktör Analizi	Tarama Modeli
Eğitim Bilimleri	1	Veri madenciliği	Veri toplama, literatür taraması
Eğitim Bilimleri	1	AHP ve AAS	Veri toplama, literatür taraması
Eğitim Bilimleri	1	Bulanık bilişsel haritalama	Literatür taraması
Endüstri Mühendisliği	1	AHP ve TOPSIS	Literatür taraması
Endüstri Mühendisliği	2	Literatür taraması	Literatür taraması
Endüstri Mühendisliği	1	Regresyon analizi	Literatür taraması
Endüstri Mühendisliği	1	Faktör A., Yapısal Eşitlik M.	Anket
Havacılık Y.	1	Nitel araştırma veri analizi	Röportaj
Havacılık Y.	1	Ekonometrik yöntem	Veri toplama
İktisat	2	İstatistiki verilerin karşılaştırılması	Ülke ve sektör örnekleri, dijital dönüşümü temsil eden çeşitli veriler
İktisat	1	Pedroni eşb., Granger neden.	Literatür taraması
İktisat	1	Faktör ve kümeleme analizi	Literatür taraması
İktisat	1	İkincil veri k.	Literatür taraması
İktisat, İşletme	2	Literatür taraması	Anket sonuçları, Literatür taraması
İktisat, İşletme	7	Büyük Veri Analitiği	Literatür taraması
İktisat, İşletme	1	Duyarlılık analizi	Literatür taraması
İktisat, İşletme	1	Korelasyon analizi	Literatür taraması
İktisat, İşletme	1	Bulanık DEMATEL	Literatür taraması
İktisat, İşletme	1	Ölçeğe Yönelik Faktör Analizi	Anket
İşletme	1	Literatür Taraması	Yarı yapılandırılmış mülakat
İşletme	1	İkincil veri kullanımıyla karşı.	Literatür taraması
İşletme	1	ARDL Ampirik analiz	Literatür taraması
İşletme	2	Literatür t., kavramsal İnceleme	Literatür taraması
İşletme	1	Anahtar Kelime Analizi	Mülakat
İşletme	1	Simülasyon	Literatür taraması
İşletme	1	Odak grup görüşmesi	Literatür Taraması
İşletme	1	Örnek Uygulama	Kuramsal İnceleme
Muhasebe	2	Büyük Veri Analitiği	Literatür taraması
Muhasebe	1	Kavramsal İnceleme	Literatür Taraması
Siyaset Bil. ve Kamu Y.	1	İçerik Analizi	Literatür taraması
Teknik Eğitim Fakültesi	1	Araştırma Modeli	Anket Formu
Turizm İşletmeciliği	1	SWOT	Literatür taraması
Uluslararası Lojistik ve Taşımacılık	2	Yorumlayıcı Yapısal Modell.	Uzmanlarla görüşme
Uluslararası Lojistik ve Taşımacılık	1	SWOT	Literatür taraması
Uluslararası Ticaret	1	Büyük Veri Analitiği	Araştırma
Uluslararası İlişkiler	1	Literatür taraması	Literatür taraması
Yönetim Bilişim Sist.	2	Literatür T., Araştırma Modeli	Literatür Taraması, Analiz

“İhtiyaç duyulan yeni eğitim altyapısı ve müfredat değişimi” konusunda ele alınan konu ve yöntemler birlikte analiz edildiğinde, “yeni iş kolları, teknolojik gelişmeler doğrultusunda Endüstri 4.0 eğitimi” ve “yükseköğretimde Endüstri 4.0 ders içerikleri, eğitimin endüstriyel alt yapısı” gibi konularda veri toplama biçiminin ağırlıklı olarak literatür taraması olduğu tespit edilirken, “öğrencilerin Endüstri 4.0 algısı ve bilgi birikimini ölçmeye yönelik çalışmalar” konusunda veri toplama yönteminin anket / soru formu şeklinde gerçekleştirildiği görülmüş, az sayıda görüşme yoluyla bilgi ediniminin olduğu anlaşılmıştır. “Öğrencilerin Endüstri 4.0 algısı ve bilgi birikimini ölçmeye yönelik çalışmalar” konusunda istatistiksel analizlerin yapıldığı, özellikle Faktör Analizi ve Yapısal Eşitlik Modeli yoluyla analizlerin gerçekleştirildiği görülmüştür.

“Ülke bazında yapılan Endüstri 4.0 analizleri, Türkiye’yi odak alan analizler ve Türkiye’nin küresel anlamda yerini gösteren karşılaştırmalı analizler” için ele alınan konu ve yöntemler birlikte analiz edildiğinde, konudan bağımsız veri toplama biçiminin ağırlıklı olarak literatür taraması şeklinde gerçekleştirildiği, az sayıda anket ve görüşme yoluyla bilgi ediniminin olduğu anlaşılmaktadır. Verilerin analizinde ise genelde literatür taramasını temel alan çıkarımlar ve kıyaslamalar yapılmış, AHP ve TOPSIS yöntemleri ile önem dereceleri belirlenmiş ve çeşitli sıralamalar yapılmış, Pedroni eşbütünlük testi ve Granger nedensellik analizi, anahtar kelime analizi, içerik analizi, faktör ve kümeleme analizi, regresyon analizi gibi temel yöntemlere başvurulmuştur. “Dijital dönüşümü, veri madenciliğini ve geçiş süreci” konulu yayınlar hem veri toplamada hem analizinde literatür taramasına istinaden anlamlı sonuçlar elde etme yoluna gitmiştir.

“Uluslararası finansal raporlama ve muhasebe” ve “Pazarlama 4.0, pazarlama ve veri madenciliği” konularında ele alınan konu ve yöntemler birlikte analiz edildiğinde, konudan bağımsız veri toplama biçiminin literatür taraması şeklinde gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır. Verilerin analizinde ise genelde büyük veri analitiği uygulamaları yapılmıştır. Bunun yanı sıra literatüre istinaden derlemeler de mevcuttur.

Buna göre en çok yayın yapan İşletme bölümünün en çok başvurduğu yöntem Büyük Veri Analitiği olmuştur. Takiben, bölümlerden bağımsız olarak en çok uygulanan yöntem literatür taraması vasıtasıyla anlam çıkarmaya yönelik çalışmalar olmuştur.

Veri toplama yöntemlerine bakıldığında, yine bölümlerden bağımsız olarak, literatür taraması öne çıkarken, anket, gözlem ve yüz yüze görüşmeler de mevcuttur.

Karar verme tekniklerinin özellikle işletme ve endüstri mühendisliği bölümlerinde kullanıldığı, SWOT analizi ile güçlü yönlerin, zayıf yönlerin, fırsatların ve tehditlerin analizi ise turizm işletmeciliği, uluslararası lojistik ve taşımacılık, uluslararası ticaret bölümleri tarafından uygulanmıştır.

Sayısal veriler ile istatistiksel analiz yapan bölümler İktisat, Endüstri Mühendisliği, İşletme, Eğitim bilimleri şeklinde sıralanmıştır. Ekonometrik analizler ise İktisat ve İşletme bölümleri tarafından uygulanmıştır. Az sayıda da olsa simülasyon ve kavramsal incelemelerin yer aldığı tespit edilmiştir.

3. Bulgular

Çalışmaların bulguları ve katkıları konularına göre sınıflandırılarak ele alınmıştır. Türkiye’de endüstri mühendisliği disiplininin ele aldığı konuların bulguları incelendiğinde, büyük veri analitiğinin E4.0 üzerindeki önemi (Özdemir, Erkollar ve Oberer, 2018), iş analitiklerine verisel tabanlı geçiş (Kılıç, 2020), akıllı üretim sistemlerinde karar destek sistemleri (Belbağ, Çimen ve Soysal, 2020; Ilgın, Urkan ve Kurtul, 2021), iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin beklenen değişimi (Çelik ve Can, 2019; Caner, 2021), ergonomik iyileştirmeler yaparak çalışanların olası sağlık problemlerinin minimize edilebileceği (Çakıt, Adem ve Dağdeviren, 2020; Tepe, 2021), E4.0’ın günümüz girişimcilik anlayışına muhtemel etkileri (Soylu, 2018), E4.0 modeline geçişte örgütsel anlamda çok sayıda radikal inovasyon gerekliliği (Esmer ve Alan, 2019; İmamoğlu, İnce ve Türkcan, 2021; Etkeser ve Apilioğulları, 2021), beşeri sermayenin kritik önemi (Gürün, 2019; Yıldız ve Genç, 2019; Arslan, 2020; Tunçbilek ve Özcan, 2020; Öktem Özgür ve Demirbilek, 2020; Filizöz ve Orhan, 2018; Türkel ve Arıkan, 2020; Türkel ve Bozağaç, 2018), dijital emek platformları ve yeni "kendi hesabına çalışma" biçimleri (Çiğdem, 2019), işgücü piyasasına etkiler (Doğru ve Meçik, 2018; Ecevit Satı ve Oktay Yılmaz, 2019; Taş, 2018; Asiltürk, 2018; Sert, Gür ve Eren, 2020; Çiftçioğlu, Mutlu ve Katırcıoğlu, 2019), değişen liderlik prensipleri ve çalışanların motivasyonlarına etkisi (Dikici, 2020), AR-GE harcamalarının, teknolojik yatırımların, robotik kaynaklar yönetiminin ve teknoloji-kentlerin önemi (Balan ve Koyuncu, 2020; Çakır, 2018; Şendoğdu, 2020), kalite yönetiminin dijitalizasyonu (Gümüüşoğlu, 2019; Kumaş ve Erol, 2021), proje yönetim etmenleri (Taner ve Parlak Biçer, 2021) dikkat çekmektedir.

Türkiye’deki firmaların Endüstri 4.0 üzerine yaptığı çalışmalar, Endüstri 4.0 seviyesine en çok etki eden kriterin “strateji ve organizasyon” olduğunu (Kiraz, Canpolat, Erkan ve Uygun, 2019; Metin ve Türkoğlu, 2019), işletmelerin Endüstri 4.0’a geçişi gerekli gördüğünü ve işletmelere sağlayacağı katma değerlerin farkında olduğunu (Tekin, 2018; Yıldız, 2020; Goksu, Koska, Erdem ve Yılmaz, 2018; Öncül ve Ateş, 2020; Altınbay,

Altunal ve Karaşv, 2017; Koçaslan, 2019), KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a ayak uydurabilmesi için kullanılan teknolojilerin yetersiz kaldığını (Kagnicioglu ve Ozdemir, 2017) vurgulamaktadır. Ayrıca, firmaların böyle dönemlerde yeni yatırımlar yapmaktan ziyade mevcut konumlarını koruyacak günlük stratejiler benimsemesi gerektiğini savunan bir yayın da bulunmaktadır (Çelik, 2020).

Sektörel incelemelerin bulgularına bakıldığında, çağrı merkezlerinin E4.0 uygulamalarına daha fazla yatırım yapılması gerekliliği (Demirkol ve Özcan, 2018), hayvancılıktaki yeni teknolojik uygulamalar (Gökçe, Goncu ve Bozkurt, 2020), teknolojik gelişmelerin gastronomi alanına uygulanması ve inovatif yaklaşımlar (Mutlu Öztürk, 2020), limancılık altyapısında ve iş süreçlerinde teknolojik dönüşümler ve yol haritası belirlenmesi (Çalışkan, 2020; Yılmaz ve Önaçan, 2019), lojistik firmalarının nesnelerin interneti, büyük veri ve görüntü izleme teknolojileri uygulamaları; nitelikli iş gücü, doğru yatırım ve teknoloji yönetimi ihtiyaçları (Saatçioğlu, Kök ve Özispa, 2018; Ömürganülşen, Çekiç ve Ar, 2019; Öztemel ve Gürsev, 2018; Yılmaz ve Duman, 2019; Karagöz ve Doyduk, 2020; Şengül ve Selvi, 2021; Gönçer Demiral, 2021; Gedik, 2021; Ozkan-Ozen ve Ozturkoglu, 2020), treyler sektöründeki dijital dönüşüm çalışmaları (Baca, Yiğit ve Çakıroğlu, 2018), turizm sektöründeki E4.0 uygulamaları (Mil ve Dirican, 2018; Topsakal, 2018; Tüzünkan, 2020; Kömürücü, 2021), Türk takım tezgâhi sanayinin üniversiteler ile işbirliğini geliştirerek E4.0 ile uyumlu bir mühendislik eğitim programı hazırlaması gerekliliği (Tuncel, 2019) dikkat çekmektedir.

İhtiyaç duyulan yeni eğitim altyapısı ve müfredat değişimi bulgularına göre, “yeni iş kolları, teknolojik gelişmeler doğrultusunda Endüstri 4.0 eğitimi” konusunda, artırılmış gerçekliğin eğitimlere katkı sağlayacağı (Eginli ve Nacaklı, 2020), eğitimin de dönüşüme ayak uydurması gerektiği (Öztemel, 2018), yeni çıkan teknolojilere daha kolay adapte olan ve bunları hemen kullanabilen nesillerin gerekliliği (Sener ve Elevli, 2017), öğrenme kuşağının üst kısımlarında yer alan, yeni nesillere kazandırılması planlanan hedeflerin, bir eğitim felsefesinden çok piyasa talepleri doğrultusunda geliştirildiği (Uçak ve Erdem, 2020), önümüzdeki dönemin iyi analiz edilmesiyle eğitim ve geliştirme faaliyetlerinin öneminin artacağı (Demirkaya ve Sarpel, 2018), eğitim sistemindeki eksiklikler / sorunlar (Altan, 2018), okul yöneticilerinin endüstri devrimleriyle beraber gelişen teknolojilerin eğitim sistemine etkilerini doğru şekilde anlamadığı, bu gelişmelerin getirdiği teknolojik sistemlerin okulda olmadığı, teknoloji eğitim ilişkisini doğru kavrayanların yüksek lisans eğitimi almış yöneticiler olduğu (Çetin, Nayir ve Taskin, 2020) ön plana çıkmaktadır.

“Yükseköğretimde E4.0 ders içerikleri, eğitimin endüstriyel alt yapısı” bulguları, Endüstri 4.0, Eğitim 4.0 ve Üniversite 4.0 kavramları doğrultusunda bireylere/öğrencilere kazandırılması amaçlanan temel niteliklerin teknoloji bilgi/becerisi ve iletişim kurma, eleştirel düşünme, problem becerileri, öğrenme isteği gibi "insani beceriler" olduğu (Demir ve diğ., 2019), Türkiye’de E4.0 eğitiminin çağın ihtiyaçlarını karşılamaktan uzak olduğu, belirtilen derslerin ders programına eklenmesi gerekliliği (Özen, 2019; Özköse ve Arı, 2020; Yazıcı ve Düzkaya, 2017) şeklindedir. Ayrıca, “çocuklar için Endüstri 4.0 eğitimi” konulu çalışmasında Güneş ve Çakmakkaya (2019) özellikle çocuk kütüphanelerinde gerekli ekipmanların sağlanmasına vurgu yapmaktadır. Bunun yanı sıra, E4.0’ a akademisyenlerin bakış açısı konulu çalışmasında Kaygın, Zengin ve Topçuoğlu (2019), akademisyenlerin E4.0’ı önemsediklerini, işletmeler için bir zorunluluk olarak gördüklerini, arzulanan pozisyonda olduğumuzu düşünenlerin oranının düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

“Öğrencilerin Endüstri 4.0 algısı ve bilgi birikimini ölçmeye yönelik çalışmaları” ele alan yayınların bulguları, öğrencilerin cinsiyetlerine göre E4.0 teknolojileri ile ilgili “algıladıkları fayda” düzeylerinin, “algılanan kullanım kolaylığının” ve bu teknolojileri “kullanıma yönelik niyetlerinin” cinsiyetlerine anlamlı bir farklılık gösterdiği; “kullanım davranışlarının” ise cinsiyetlerine göre anlamlı bir farklılık göstermediği (Yelkikalan, Özcan ve Temel, 2019), şu an üniversiteler tarafından uygulanan müfredatın, teknoloji çağı için yetersiz kaldığı (Torun ve Cengiz, 2018; Yıldız ve Fırat, 2020), eskinin en önemli bilgi edinme kaynakları olan öğretmenin ve okulun bilgiye ulaşma noktasında eski önemini kaybettiği (Yarım ve Çelik, 2020), öğrencilerin E4.0 kavramını daha önce duymuş olduğu ancak bu konuda bilgilerinin bulunmadığı (Kaygısız ve Sipahi, 2019; Özkoç ve Karalar, 2019; Sertel, Şahin ve İşlier, 2020; Doğan ve Baloğlu, 2020b) tespit edilmiştir.

Türkiye’yi odak alan analizlerin bulguları, E4.0 kavramını ülkemizde kullanmak için henüz çok erken olduğunu (Göv ve Erdoğan, 2020), E4.0 Türkiye’nin dış ticaret açığının azaltılması için önemli bir fırsat olduğunu (Nuroğlu ve Nuroğlu, 2018a; Petekci, 2021), Türkiye bu alanda Ar-Ge çalışmalarına, yeni teknolojik altyapılara, uzman kadrolarına daha fazla önem vermesi gerektiğini (Öztürk ve Alaşahan, 2019; Yüksekbilgili ve Çevik, 2018; Bulut ve Akçacı, 2017), istihdam artışının sağlanacağını (Koca, 2018), Türkiye’de dijitalleşmeye başlanması gereken sektörlerin sıralaması: Tekstil > Otomotiv > Gıda ve Tarım > Makine Sistemleri > Beyaz Eşya > Kimyasallar şeklinde olduğunu (Yalçınır ve Çaylak, 2020) belirtmektedir.

Türkiye’nin küresel anlamda yerini gösteren karşılaştırmalı analizler; dijital dönüşüm uygulayan firmalarda dönüşümün çalışanlar tarafından kabul görmemesi, veri sorunları, firma içinde koordinasyon sorunları, mevcut yapının Endüstri 4.0 uygulamalarını zorlaştırması, tanımlanmamış standartlar ve aynı işin farklı katmanlarda yapılması gibi sorunlar ile karşılaşıldığına (Nuroğlu ve Nuroğlu, 2018b, Türkiye’nin amaçlarının, hedeflerinin ve

performansının E4.0'a ulaşma yolunda yeterli olmadığına ve bunun için daha çok çaba gösterilmesi gerektiğine (Tutar, Terzi ve Tınmaz, 2018), küresel ekonomide ucuz işgücü sayesinde rekabet avantajı sağlayan Türkiye gibi gelişmekte olan orta ölçekli ülkelerin, işgücüne olan ihtiyacın azalmasıyla bu avantajını kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya kalacağına (Özkan, Al ve Yavuz, 2018), Türkiye gibi AB'ne aday ülke konumunda ülkelerin E4.0 açısından homojen bir görünüm sergilemediğine (Ünlü ve Atik, 2018), E4.0'ı temsil eden göstergelerin genellikle sürdürülebilir kalkınma üzerinde olumlu etkiler yarattığına (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2020) dikkat çekmektedir.

Dijital dönüşümü, veri madenciliğini ve geçiş sürecini ele alan yayınlar ise işgücü eğitime (Arucu, 2020; Kurt, 2020), gerekli hazırlığı yapmayan üreticinin, firmanın ya da devletin kaybedeceğine (Aksoy, 2018), ödeme şeklinin (kredilendirme gibi) tamamen mal mukabili ödeme şekline yöneleceğine ve hatta takas yoluna gidileceğine, ardından kısa süre içinde dijital paraya yönelimin gerçekleşeceğine (Elibol, 2018), Ar-Ge' ye ayrılan bütçenin artırılmasına (Kılıç ve Alkan, 2018), daha kapsamlı ve bütüncül bir strateji ve eylem planına ihtiyaç olduğuna (Köseoğlu ve Demirci, 2017; Ediz, 2021), Türkiye'nin her şeyden önce endüstri 4.0'ın temelini oluşturan otomasyon ve bilişim sistemleri sürecini tamamlaması gerektiğine (Bağcı, 2018) dikkat çekmektedir.

Ayrıca, Türkiye'de teknolojik ilerlemenin istihdam yapısı ile ilişkisini konu alan Aydın (2018) çalışması, ülkede yaşanan teknolojik ilerlemenin istihdam talebini yükseköğretim almış olma yönünde değiştirdiği bulgusunu elde edilmiştir.

Türkiye'de Endüstri 4.0 kapsamında "uluslararası finansal raporlama" konusunu ele alan Altuk Özden (2018) çalışmasında; E4.0 kavramı altında büyük verinin rolünü ve etkinliğini; finansal tabloların, nesnelere interneti aracılığıyla gösterilebileceğini aktarmaktadır. Muhasebe konulu çalışmaların elde ettiği bulgulara göre, muhasebe mesleğine yeni iş kolları doğmuş olup muhasebe eğitim sürecinde muhasebenin teorik kısmının yanı sıra yeni nesil teknolojilerin nasıl kullanılacağı da öğretilmemiştir (Tutar, 2019). Otonom robotlardan gelen bilgiler eş zamanlı olarak bilgi sistemine kaydedilecek, muhasebe mesleğinin iş tanımı ve gereklilikleri, muhasebe denetimi ve denetçinin rolü, danışmanlık hizmetleri değişecektir (Rasgen ve Gönen, 2019; Kablan, 2018; Yardımcıoğlu, Karahan ve Yörük, 2019; Erdoğan, 2019). Bu dijital devrimin getirdiği problemlerin başında siber suçlar bulunacak, sistem açıklarının kapatılması gerekecektir (Dursun ve diğ., 2019). Geleneksel maliyetleme yerine faaliyet tabanlı maliyetleme yaklaşımı benimsenecek (Okan Gökten, 2018), yönetim muhasebesi alanında geliştirilen; faaliyet tabanlı maliyetleme, hedef maliyetleme, mamul yaşam seyri maliyetleme, balance scorecard, benchmarking ve yalın muhasebe gibi ileri düzey teknikler kullanılacaktır (Coşkun Arslan ve Karkacier, 2019; Terzi, 2021). Stratejik Muhasebe Yönetimi, daha stratejik operasyonlara yoğunlaşacak, otomatik iç kontrol \ denetim ve otomatik kritik mali raporlamayı sağlayacaktır (Kaya, Turkyılmaz ve Birol, 2017). Türkiye'de elektronik muhasebe belgeleri kapsamında e-Fatura, e-Arşiv Fatura, e-İrsaliye uygulamaları bulunmaktadır. Söz konusu dijital uygulamalar ile Türkiye'deki mali müşavirlik mesleği, mali mühendislik halini alacaktır (Teküfekçi, 2019)

Türkiye'de Pazarlama 4.0 konulu çalışmaların bulguları ise şu şekildedir. Ülkemizde son kullanıcıya veya pazarlama birimi yöneticilerine hitap eden karar destek sistemleri ile yapay zeka algoritmasının bütünleştirilmesi gerekmektedir (Aktürk, 2020). Günümüzde tüketicilerin markalara karşı olan sadakati kısa süreli ve yeniyi keşfetme / deneme isteği daha ağır basmaktadır. Pazarlama 4.0'ın altında alternatif mecralardan birisi olan sosyal medya önem kazanmıştır (Ertuğrul ve Deniz, 2018). Pazarlama ve veri madenciliğini birlikte alan Bilgiç ve Esen (2018), sadece müşterilerin satın alma verilerinin önemli olmadığını, dış veri kaynaklarından da veri akışının sağlandığını vurgulamaktadır.

4. Sonuçlar

Dünyanın endüstrileşme yolculuğunun yeni bir döneme girdiği gerçeği ile birlikte; siber- fiziksel sistemlerin ve dinamik veri işlemeyle üretim sistemlerini şekillendirdiği Endüstri 4.0 devrimi kaçınılmaz bir dijital dönüşüm gereksinimi oluşturmuştur. Global anlamda 2020 ve sonrası için teknolojik hedef olarak tanımlanan E4.0, küresel anlamda rekabet etmek isteyen ülkeler için kaçınılmaz bir konumdur. Üretimde verimlilik ve maliyet avantajı gibi firma düzeyindeki olumlu sonuçların yanında, büyüme, istihdam, insan kaynakları, eğitim, yatırım gibi makro düzeyde etkiler de söz konusudur. Endüstri 4.0 geçiş sürecini başarılı bir şekilde sürdürebilmenin en önemli boyutu eğitimidir. İnsan aklının, yeteneğinin ve emeğinin katma değerli işlerde kullanılacağı bu gelecek sistemler, eğitim sistemlerine de ciddi sorumluluklar yüklemektedir. Yapılan araştırmalar ülkelerin Endüstri 4.0 geçiş sürecini başarı ile tamamlamaya ne kadar hazır olduklarını ölçmekte ve belirlenen ölçütler doğrultusunda bu ülkeleri sıralamakta, ayrıca, ülke içinde bu dönüşüm için gereksinimlerin ne olduğu da tespit etmektedir. Belirlenen hedefe ulaşmada ilk adımın yol haritası oluşturmak olduğu açıktır. Dolayısıyla bu çalışma, sistematik yayın taraması yoluyla bu yol haritasında nelerin yer alması

gerektiğini tespit etmeyi amaçlamaktadır.

Bulgular incelendiğinde, Türkiye’de endüstri mühendisliği disiplinin ele aldığı konuların özellikle büyük veri analitiğinin önemine, farklı meslek gruplarının ortaya çıkacağına, stratejik insan kaynakları yönetimine, robotik kaynaklar yönetimine, oluşabilecek siber saldırılara ve güvenlik açığı durumlarına vurgu yapmaktadır. Türkiye’deki firmaların Endüstri 4.0 üzerine yaptığı çalışmalara bakıldığında, bazı yayınların son derece hızla bu dönüşüm sürecine hazırlık yapmayı desteklerken, bazılarının ise yeni yatırım yapmaktan ziyade mevcut konumu korumayı destekleyici bulguları olmuştur. Sektörel incelemelere bakıldığında, tarım ve hayvancılıktan lojistiğe, gastronomiden tekstile, turizmden otomotive pek çok farklı sektörde Endüstri 4.0 için hazırlık yapıldığı görülmektedir. Nitelikli iş gücünün, doğru yatırım ve teknoloji yönetiminin önemi üzerinde durulmaktadır.

Bu çalışmada ülkeleri baz alan araştırmaların ortak olarak üzerinde durduğu noktalar: kamu alanında yapılan inceleme sayısının yetersizliği, nitelikli insan yetiştirilmesinin ve teknolojik eğitim verilmesinin gerekliliği, Ar-Ge çalışmalarına yüksek yatırımların yapılması gerekliliği ve teşvik edici politikaların geliştirilmesi ihtiyacı şeklindedir.

Eğitim 4.0 çalışmalarının sonuçları incelendiğinde, Endüstri 4.0 konusunda öğrencilerin ve akademisyenlerin farkındalık düzeylerinin ortalama bir seviyede olduğu, ders müfredatlarının bu dönüşüm sürecini karşılamada yetersiz kalacağı, gerekli teknolojik sistemlerin okullarda bulunmadığı, teknoloji ile eğitim ilişkisini doğru kavramanın ancak yüksek lisans düzeyinde gerçekleşebildiği, yeni nesillere kazandırılması planlanan hedeflerin bir eğitim felsefesinden ziyade piyasa talepleri doğrultusunda geliştirildiği, ilk olarak iletişim kurma, eleştirel düşünme, problem becerileri, öğrenme isteği gibi "insani becerilerin" bireylere kazandırılmasının önemli olduğu yönünde bulgular elde edilmiştir.

Endüstri 4.0 ile finansal anlamda değişimlerin yaşanacağı kaçınılmazdır. Özellikle muhasebe ve pazarlama gibi alanların gelecek döneme hazırlanması gerekliliği, bu kapsamda neler yapılması gerektiği ortaya konmuştur. Çalışmada yer alan araştırmaların ortak olarak üzerinde durduğu noktalar: büyük verinin analiz edileceği, bu doğrultuda insan kaynağının niteliğinin değişmesi gerekliliği, ilgili eğitimlerin ve altyapının hazırlıklarına başlanması ihtiyacı ve özellikle pazarlamada değişen müşteri davranışlarının büyük veri olarak elde edileceği şeklindedir.

Türkiye’de sektör yetkililerine farkındalık kazandırması açısından, eylem planı oluşturmada nereden başlanması gerektiğini göstermesi bakımından bu çalışma fayda sağlamaktadır. Ayrıca, çalışmanın teorik katkısına bakıldığında, bu alanda araştırma yapacak bilim insanlarına hangi konuyu ele alarak hangi yöntemleri hangi kapsamda uygulayabilecekleri yönünde de fikir verilmektedir.

Çalışmanın sadece son beş yıldaki makalelere odaklanması ve sadece bir veri tabanından faydalanması kısıt olarak gösterilebilir. Ancak çalışmanın odağı sadece Türkiye odaklı yayınlar olduğu için böyle bir araştırma planı gerçekleştirilmiştir.

Gelecek araştırmalar farklı veri tabanlarından güncel makaleler ile daha zengin ve kapsamlı çalışmalar gerçekleştirebilir, farklı araştırma sorularının üzerinde durabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Yazar, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, analizler, bulgular ve sonuçlar kısımlarının hazırlanmasını sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akgül, H., Akgül, B., Ayer, Z. (2018). Sanayi 4.0 sürecinde gazetecilik sektöründe çalışacak personelin mesleki yetenek ve yeterliliğine yönelik değerlendirme ve öngörüler. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5(8), 198-205. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/asead/issue/41059/496329>
- Aksoy, S. (2018). Sermaye Birikimi, Teknoloji ve Uluslararasılaşma Olgularını Endüstri 4.0 Döneminde Yeniden Düşünmek. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23, 1697–1706. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduibfd/issue/53210/714791>
- Aktürk, C. (2020). Pazarlama 4.0 için Genetik Algoritma Tabanlı Bir Karar Destek Modeli Önerisi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 346–356. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.554916>
- Altan, S. (2018). Türkiye’deki Yenilikçi Örgütleri Arttırabilmek için, Eğitim Sistemine Inovasyon Kavramı Üzerinden Bir Bakış ve Çözüm. *Journal Of Management, Marketing and Logistics*, 5, 124–139. <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2018.844>
- Altınbay, A., Altunal, I., Karas, G. (2017). BIST sürdürülebilirlik endeksindeki firmaların ar-ge harcamaları ve ar-ge harcamalarının karlılık üzerindeki etkisi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 4 (12), 37-46. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/asead/issue/52678/694388>
- Altuk Özden, V. E. (2018). Endüstri 4.0 ve Uluslararası Finansal Raporlama Standartlarına Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23, 1639–1650. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduibfd/issue/53210/714776>
- Apilioğulları, L. (2020). Yalın Altı Sigma ve Endüstri 4.0 Entegrasyonu ile Kalite İyileştirme Vaka Çalışması. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (5), 1497-1504. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/anemon/issue/57135/640553>
- Areta, O. & Awwad, H. (2019). Industry 4.0 Within The Framework of Supply Chain: A Literature Review And Future Research Directions. *Yorum-Yönetim-Yöntem Uluslararası Yönetim-Ekonomi ve Felsefe Dergisi*, 7(3), 129–141. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yorumyonetim/issue/51773/650699>
- Arslan, F. (2020). Endüstri 4.0 İş İlanları Üzerine Veri Madenciliği. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, 1(2), 14-16. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/estudambilisim/issue/53654/674485>
- Arucu, M. (2020). Scanning The Industry 4.0 Ecosystem in Turkey : Digitization and Innovation Studies. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, (20), 50–55. <https://doi.org/10.31590/Ejosat.733659>
- Asiltürk, A. (2019). İnsan kaynakları yönetiminin geleceği: İK 4.0. *Journal of Awareness*, 3, 527-544. <https://doi.org/10.26809/joa.2018548665>
- Ateş, E. C., Bostancı, E., & Güzel, M. S. (2020). Security evaluation of industry 4.0: understanding industry 4.0 on the basis of crime, big data, internet of thing (IoT) and cyber physical systems. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 29–50. <https://doi.org/10.28956/gbd>
- Atik, H. & Ünlü, F. (2020). Industry 4.0-Related Digital Divide in enterprises: An Analysis for The European Union-28. *Sosyoekonomi*, 28(45), 225-244. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2020.03.13>
- Avcı, N. (2019). Endüstri 4.0’da insan kaynakları yönetiminin geleceği: insan kaynakları profesyonellerinin algı ve beklentileri üzerine bir araştırma. *Vankulu Sosyal Araştırmalar Dergisi* (3), 89-109. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyuvasad/issue/48889/623109>
- Aydın, E. (2018). The impacts of capital intensity and R&D spending on manufacturing industry value added in industry 4.0 process: a panel data analysis. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 16(1), 303–314. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yead/issue/36575/416806>
- Aydın, E. (2018). Türkiye’de Teknolojik İlerleme ile İstihdam Yapısındaki Değişme Projeksiyonu : Endüstri 4.0 Bağlamında Ampirik Analiz. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 16(31), 461–471. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/comuybd/issue/44733/556087>
- Bacak, G., Yiğit, F., & Çakıroğlu, E. (2018). Treyler sektöründeki Endüstri 4.0 gelişmeleri ile nesnelere internetine dayanan nakliye çözümlerinin lojistik sektörüne etkileri. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 92–96. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejovoc/issue/41199/497928>
- Bağcı, E. (2018). Endüstri 4.0: Yeni Üretim Tarzını Anlamak. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 9(24), 122–146. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumus/issue/40078/433164>

- Balan, F , Koyuncu, G . (2020). Endüstri 4.0 bağlamında yüksek teknoloji içeren ürün ihracatı ile işgücü verimliliği ilişkisi: panel nedensellik analizi. Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi, 15(1), 1-10. <https://dergipark.org.tr/pub/girkal/issue/56284/756983>
- Balkan, D. (2019). Endüstri 4.0 Sürecinde ELECTRE Yöntemi ile Enerji Tesis Yer Seçiminin Gerçekleştirilmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1), 238–253. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.612066>
- Bayraktar, C , Gökçen, H . (2019). Makineler arası iletişim sistemlerinde güvenli veri aktarımı için bir hibrit güvenlik şema önerisi. International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 3 (1) , 56-65. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijmsit/issue/43647/533987>
- Belbağ, S , Çimen, M , Soysal, M . (2020). Üretim sistemlerinde endüstri 4.0'in envanter maliyetlerine etkisi üzerine bir senaryo incelemesi. Verimlilik Dergisi, (2), 125-143. <https://dergipark.org.tr/pub/verimlilik/issue/53197/483259>
- Bilgiç, E., & Esen, M. F. (2018). Endüstri 4.0 Veri Madenciliği ve Pazarlama: Literatür Taramasıyla Son Gelişmeler, Yeni Trendler. İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 2, 21–29. <https://dergipark.org.tr/pub/baybem/issue/38082/419591>
- Bilgin Sarı, E , Özveri, O , Şenyay, U . (2019). Endüstri 4.0'ın İş Süreçleri Yönetimine Etkisi: Akıllı Depolama Sistemi Uygulaması. Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi, 2 (2), 466-477. <https://doi.org/10.33712/mana.596709>
- Briner, R. & Denyer, D. (2012). Systematic Review and Evidence Synthesis as a Practice and Scholarship Tool. The Oxford Handbook Of Evidence-Based Management. D. Rousseau. New York, Oxford University Press: 112-129. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199763986.013.0007>
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi. Assam Uluslararası Hakemli Dergi, 7, 50–72. <https://dergipark.org.tr/pub/assam/issue/31544/345689>
- Caner, V . (2021). Fiziksel Risk Etmenleri Maruziyetine Bağlı İş Kazası ve Meslek Hastalıklarının Önlenmesinde Endüstri 4.0 Yaklaşımının Değerlendirilmesi. OHS ACADEMY, 4 (1), 55-61. <https://doi.org/10.38213/ohsacademy.882670>
- Cook, D. J., Mulrow C. D. & R. B. Haynes (1997). Systematic Reviews: Synthesis of Best Evidence for Clinical Decisions. Annals of Internal Medicine 126(5), 376-380. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-126-5-199703010-00006>
- Coşkun Arslan, M., & Demirkan, S. (2019). Endüstri 4.0 ve Muhasebe Sistemine Etkisi Üzerine Kuramsal Bir İnceleme. Enderun Dergisi, 3(1), 40–56. <https://dergipark.org.tr/pub/enderun/issue/44778/548304>
- Coşkun Arslan, M., & Karkacıer, A. (2019). Dijital Dönüşüm Sürecinde Yönetim Muhasebesinin Geleceğini Etkileyen Faktörlere Kavramsal Bir Bakış. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 6(6), 430–442. <https://dergipark.org.tr/pub/asead/issue/47256/595897>
- Çakır, N. N. (2018). Endüstri 4.0 ve Çalışmanın Geleceği. Electronic Journal Of Vocational Colleges, 97–105. <https://dergipark.org.tr/pub/ejovoc/issue/41199/497931>
- Çakıt, E , Adem, A , Dağdeviren, M . (2020). Endüstri 4.0 ergonomi için tehdit mi fırsat mı? Verimlilik Dergisi, (3), 43-57. <https://dergipark.org.tr/pub/verimlilik/issue/55291/594554>
- Çalışkan, A . (2020). Akıllı liman dönüşümünde zorlukların yorumlayıcı yapısal modelleme ile değerlendirilmesi. Beykoz Akademi Dergisi, 8 (1), 305-320. <https://doi.org/10.14514/byk.m.26515393.2020.8/1.305-320>
- Çelik, N., & Can, E. (2019). Endüstri 4.0 sisteminde iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi muhtemel problemleri ve çözüm önerileri. OHS Academy, 2(3), 119–126. <https://dergipark.org.tr/pub/ohsacademy/issue/51250/598921>
- Çelik, T. (2020). Endüstri 4.0 ile firmaların rekabet stratejileri seçimleri ve firma büyüklüğü arasındaki ilişki: Gaziantep makine halısı üreticileri örneği. Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2 (1), 1-14. <https://dergipark.org.tr/pub/gauniibf/issue/54503/658649>
- Çetin, S. K., Nayir, F., & Taskin, P. (2020). Okul Yöneticilerin Eğitimde Değişime İlişkin Görüşleri. MSKU Eğitim Fakültesi Dergisi, 7(1), 12–23. <https://doi.org/10.21666/muefd.675122>
- Çiftçioğlu, B. A., Mutlu, M., & Katırcıoğlu, S. (2019). Endüstri 4.0 Ve İnsan Kaynakları Yönetiminin İlişkisi. Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi Social, 2(1), 31–53. <https://dergipark.org.tr/pub/banusad/issue/46543/530374>

- Çiğdem, S . (2019). Endüstri 4.0 ve Dijital Emek Platformlarının İnsana Yakışır İş Bağlamında Değerlendirilmesi. *Journal of Social Policy Conferences*, (77), 157-199. <https://doi.org/10.26650/jspc.2019.77.0018>
- Demir, F., İlhan, E., & Kalaycı, N. (2019). Yükseköğretimde Hedeflenen Dönüşümü Gerçekleştirme Araçlarından Eğitim Programı 4.0. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(28), 432–466. <https://doi.org/10.35675/befdergi.643291>
- Demircan Keskin, F , Kabasakal, İ . (2020). Application of machine learning methods with dimension reduction techniques for fault prediction in molding process. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 371-378. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/apjes/issue/52467/682936>
- Demirkaya, H., & Sarpel, E. (2018). Eğitim ve Geliştirme Uygulamalarında Yeni Nesil Bilişim Teknolojilerinden Sanal Gerçeklik, Bulut Bilişim ve Yapay Zeka. *Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi*, (40), 231–245. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kdeniz/issue/41142/460145>
- Demirkol, İ., & Özcan, S. (2018). Endüstri 4.0 Ve Çağrı Merkezi Hizmetlerini Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma. *İşletme Bilimi Dergisi*, 6(3), 273–294. <https://doi.org/10.22139/jobs>
- Demiryumruk Dikici, B. (2020). Günümüzün Dijitalleşen İşletmelerinde Yeni Liderlik Ve Motivasyon Modelleri Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 15 (26) , 4185-4207. <https://doi.org/10.26466/opus.699386>
- Deral, B., Kazançoğlu, İ. (2020). Endüstriyel nesnelerin internetinin tedarik zincirinde kullanımı üzerine bir araştırma. *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 16 (1), 53-74. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/paradoks/issue/53648/684789>
- Doğan, O., & Baloğlu, N. (2020). Endüstri 4.0 Kavramsal Farkındalık Ölçeği. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 22(38), 58–81. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kmusekad/issue/55242/682183>
- Doğan, O., & Baloğlu, N. (2020). Üniversite Öğrencilerinin Endüstri 4.0 Kavramsal Farkındalık Düzeyleri. *TÜBAV Bilim*, 13(1), 126–142. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/53845/688341>
- Doğru, B. & Meçik, O. (2018). Türkiye’de endüstri 4.0’ın işgücü piyasasına etkileri: firma beklentileri, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1581-1606. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/53210/714760>
- Doğruel Anuşlu, M., & Fırat, S. Ü. (2020). Ülkelerin Endüstri 4.0 Seviyesinin Sürdürülebilir Kalkınma Düzeylerine Etkisinin Analizi. *Endüstri Mühendisliği*, 31(0), 44–58. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi/issue/52861/651168>
- Dursun, G. D., Ektik, D., & Tutcu, B. (2019). Mesleğin Dijitalleşmesi: Muhasebe 4.0. *Avrasya Sosyal Ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(6), 263–271. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/asead/issue/47256/595432>
- EBSO (2015). Sanayi 4.0 Uyum Sağlayamayan Kaybedecek, Ege Bölgesi Sanayi Odası Dergisi, Ekim. http://www.ebso.org.tr/ebso-media/documents/sanayi-40_88510761.pdf
- Ecevit Satı, Z , Oktay Yılmaz, B . (2020). Endüstri 4.0 ortamında değişen iş ve mesleklerin türkiye’de kadın istihdamına etkileri. *Strategic Public Management Journal*, 6 (11) , 54-76. <https://doi.org/10.25069/spmj.701685>
- Ediz, Ç.. (2021). Metin Madenciliği ile Endüstri 4.0’da Yeni Eğilimler. *Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi*, 7 (1) , 1-14 . <https://doi.org/10.25272/j.2149-8539.2021.7.1.01>
- Eginli, M. A., & Nacakli, Y. (2020). Uçak Bakım Eğitimlerinde Artırılmış Gerçeklik Kullanımının Değerlendirilmesi. *Journal of Aviation*, 4(1), 61–78. <https://doi.org/10.30518/jav.738367>
- Eğilmez, Ö., Koca, G . (2018). Gelişmekte olan ekonomilerde sürdürülebilir tedarik zinciri için endüstri 4.0 girişimlerine yönelik güçlüklerin değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1521-1536. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/53210/714745>
- Elibol, N. (2018). Endüstri 4.0 İle ÇHC ’nin Büyümesinin Ödeme Şekilleri ve Dijital Para Üzerine Etkisi. *Gümrük Ticaret Dergisi*, 5(12), 19–29. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumrukticaretdergisi/issue/53315/708590>
- Erdoğan, M. (2019). Denetim 4.0 ve Ötesi. *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 12(3), 809–834. <https://doi.org/10.29067/muvu.479247>
- Ertuğrul, İ., & Deniz, G. (2018). 4.0 Dünyası: Pazarlama 4.0 Ve Endüstri 4.0. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 158–170. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlissos/issue/38061/420974>
- Esmer, Y., & Alan, M. A. (2019). Endüstri 4.0 Perspektifinde İnovasyon Dr. *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 7(18), 465–478. <https://doi.org/10.33692/avasyad.595720>

- Etkeser, S , Apilioğulları, L . (2021). Designating Industry 4.0 Maturity Items and Weights for Small and Medium Enterprises. *Bilişim Teknolojileri Dergisi* , 14 (1) , 79-86 . <https://doi.org/10.17671/gazibtd.733460>
- Filizöz, B , Orhan, U . (2018). İnsan kaynakları yönetimi bağlamında endüstri 4.0: bir yazın çalışması. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19 (2), 110-117. <http://esjournal.cumhuriyet.edu.tr/tr/pub/issue/40744/451743>
- Fortune (2017) <http://www.fortuneturkey.com/akilli-uretim-cagi-endustri-40-42841>
- Gedik, Y . (2021). Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Endüstri 4.0'ın Üretim ve Tedarik Zinciri Kapsamındaki Etkileri: Teorik Bir Çerçeve .*Journal of Emerging Economies and Policy* , 6 (1) , 1-20. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joeep/issue/60112/776278>
- Gerger, A. (2019). Endüstri 4.0 Üretim Sürecinde Süreç Değişkenliğinin Optimizasyonunda Hejunka Yöntemi. *Izmir Democracy University Social Sciences Journal*, 1-17. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/idosos/issue/46719/509003>
- Goksu, N , Koska, A , Erdem, M , Yilmaz, A . (2018). Yeni ürün geliştirme noktasında endüstri 4.0 rolü: Kahramanmaraş metal mutfak sanayiinde bir araştırma. *PressAcademia Procedia*, 7 (1), 418-421. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2018.927>
- Gökçe, G., Goncu, S., Bozkurt, S. (2020) Endüstri 4.0 ve Hayvancılık. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi* 2(3), 21-26. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/uazimder/issue/56489/705781>
- Göktaş, P , Baysal, H . (2018). Türkiye’de dijital insan kaynakları yönetiminde bulut bilişim. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23 (4), 1409-1424. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/53002/704965>
- Gönçer Demiral, D . (2021). Endüstri 4.0'ın Lojistik Boyutu: Lojistik 4.0 . *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi* , (9) , 231-251 . <https://doi.org/10.21733/ibad.838751>
- Göv, S. A., & Erdoğan, D. (2020). Dördüncü Endüstri Devriminin (Endüstri 4.0) Neresindeyiz? *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 299–318. <https://doi.org/10.17336/igusbd.661236>
- Gümüšoğlu, Ş. (2019). Bilimsel yaklaşımlarla değişim, dönüşüm ve Kalite 4.0. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(2), 543–568. <https://doi.org/10.24988/deuüibf.2018332773>
- Gündoğan, M. & Babayigit, G . (2017). Operations Management Transform into Industry 4.0 Using Systems Engineer . *Journal of Turkish Operations Management*, 1 (1) , 39-50. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/40160/477707>
- Güneş, A., & Çakmakkaya, I. (2019). Çocuk Kütüphanelerinde STEM / STEAM Eğitimi Ve Makerspace Hizmeti. *Bilgi ve Belge Araştırmaları Dergisi*, 11, 25–39. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bel/issue/47763/603412>
- Gürün, F. (2019). Endüstri 4.0 ve beşeri sermayenin geleceği. *Journal of Social Policy Conferences*, (76), 67-88. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iusskd/issue/47029/589188>
- Hayırsever, F. & Orhan, A. (2018). Ters Yüz Edilmiş Öğrenme Modelinin Kuramsal Analizi. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(2), 572-596. <https://doi.org/10.17860/mersinefd.431745>
- İlgin, M , Urkan, B , Kurtul, E . (2021). Türk İmalat Sanayinin Endüstri 4.0'a Geçiş Sürecini Olumsuz Etkileyen Faktörlerin Kalite Evi ve Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Analizi . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (21) , 591-599 . <https://doi.org/10.31590/ejosat.763553>
- İmamoğlu, S , İnce, H , Türkcan, H . (2021). Endüstri 4.0 Uygulamalarının Örgütsel Çeviklik Üzerindeki Etkisi: Kavramsal Bir Çalışma. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 35 (1) , 103-124. <https://doi.org/10.16951/atauniiibd.740820>
- Kablan, A. (2018). Endüstri 4.0, “Nesnelerin İnterneti” - Akıllı İşletmeler ve Muhasebe Denetimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23, 1561–1579. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/53210/714756>
- Kagnicioglu, C , Ozdemir, E . (2017). Evaluation of SMEs in Rskışehir within the context of industry 4.0. *PressAcademia Procedia*, 3 (1), 900-908. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.672>
- Karagöz, B , Bumin Doyduk, H . (2020). Lojistik 4.0 uygulamaları ve lojistik firmalarının bakış açısı . *İnsan ve İnsan* , 7 (23) , 37-51 . <https://doi.org/10.29224/insanveinsan.513453>
- Kaya, C. T., Turkyilmaz, M., & Birol, B. (2018). Impact of RPA Technologies on Accounting Systems. *Muhasebe Ve Finansman Dergisi*, 82, 235–250. <https://doi.org/10.25095/mufad.536083>

- Kaygin, E., Zengin, Y., & Topçuoğlu, E. (2019). Endüstri 4.0'a Akademik Bakış. *Iktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 33(4), 1065–1081. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/atauniiibd/issue/49762/482502>
- Kaygisiz, E., & Sipahi, H. (2019). Y Kuşağı Üniversite Öğrencilerinin Bireysel Yenilik ve Endüstri 4.0 Bilgi Düzeyleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 18(2), 922–936. <https://doi.org/10.21547/jss.442879>
- Kılıç, L. (2020). Şişecam Enerji Yönetim Sisteminde Endüstri 4.0 Ve Nesnelerin İnterneti Uygulaması. *Politeknik Dergisi*, 23(4), 1167–1175. <https://doi.org/10.2339/politeknik.538279>
- Kili, S., & Alkan, R. M. (2018). Dördüncü Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 : Dünya ve Türkiye Değerlendirmeleri. *Girişimcilik İnovasyon Ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 29–49. <https://doi.org/10.31006/gipad.417536>
- Kiraz, A , Canpolat, O , Erkan, E , Uygun, Ö . (2019). IMPULS Kriterleri ile Endüstri 4.0 Eğiliminin Değerlendirilmesi: Bir Bulanık Bilişsel Harita Uygulaması . *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* , 7 (1) , 14-23 . <https://doi.org/10.21541/apjes.332543>
- Kiraz, A., Canpolat, O., Özkurt, C., Taşkın, H., Sarp, E. (2020) Examination of the criteria affecting Industry 4.0 with structural equation model and a pilot study, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 2183-2196. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.558947>
- Koca, K. C. (2018). Sanayi 4.0: Türkiye Açısından Fırsatlar ve Tehditler. *Sosyoekonomi*, 26(36), 245–252. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2018.02.15>
- Koçaslan, G. (2019). Sanayide Dijital Dönüşüm Süreci ve Genel İktisadi Görünüm. *Uluslararası Ticaret ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 18–29. <https://doi.org/10.30711/utead.464749>
- Koda, Y , Çelebi, A . (2021). Endüstri 4.0 Çerçevesinde Katmanlı İmalatta Sensör Uygulamaları . *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry* , 5 (1) , 85-97 . <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.837635>
- Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2018). Pazarlama 4.0. *Akademik İncelemeler Dergisi*, 13(1), 447–456. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/464805>
- Kökhan, S , Baykoç, Ö , İşleyen, S . (2020). Heterojen işgücüne sahip paralel montaj hatları için maliyet yönelimli matematiksel bir model ve sezgisel bir yaklaşım. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2) , 418-431. <https://doi.org/10.36306/konjes.661675>
- Kömürçü, S , İşevcan Ertamay, S , Güler, M . (2021). Impacts of Technological Development on Employment Structure of Tourism Industry . *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* , 19 (1) , 146-165 . <https://doi.org/10.11611/yead.814765>
- Köseoğlu, Ö., & Demirci, Y. (2017). Türkiye 'de Büyük Veri ve Veri Madenciliğine İlişkin Politika ve Stratejiler : Ulusal Politika Belgelerinin İçerik Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(15), 2223–2239. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/53208/710837>
- Kumaş, E , Erol, S . (2021). Endüstri 4.0'da Anahtar Teknoloji Olarak Dijital İkizler . *Politeknik Dergisi* , 24 (2) , 691-701. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/61515/778934>
- Kurt, A. S. (2020). Dijital Dönüşümün Ekonomiye Etkileri : Türkiye Ekonomisi' ne Yansımaları. *Opus-Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 16(30), 3083–3109. <https://doi.org/10.26466/opus.714393>
- Macit, İ . (2017). Kurumsal kaynak planlamasının endüstri 4.0 kazanımları: bir yapısal çatı modeli önerisi . *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 3 (1), 50-60. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ybs/issue/30733/332248>
- Metin, S., & Türkoğlu, İ. (2019). Elazığ Organize Sanayi Bölgesindeki Firmaların Endüstri 4.0 Algısı. *BAİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 477–496. <https://doi.org/10.11616/basbed.v19i47045.508446>
- Mil, B , Dirican, C . (2018). Endüstri 4.0 Teknolojileri Ve Turizme Etkileri. *Disiplinlerarası Akademik Turizm Dergisi*, 3 (1), 1-9. <https://doi.org/10.31822/jomat.347736>
- Mutlu Öztürk, H . (2020). Teknolojik Gelişmeler ve Gastronomi Alanına Yansımaları: Gastronomi 4.0 . *Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, 4 (2) , 222-239. <https://doi.org/10.32572/guntad.703872>
- Nuroğlu, E., & Nuroğlu, H. H. (2018). Endüstri 4.0'ı Türkiye'nin Dış Ticareti için bir Fırsat Penceresine Dönüştürmek. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 16, 329–346. <https://doi.org/10.11611/yead.458090>
- Nuroğlu, E., & Nuroğlu, H. H. (2018). Türkiye ve Almanya'nın Sanayide Dijital Dönüşümü. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler F. D.*, 23, 1537–1560. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/53210/714750>

- Okan Gökten, P. (2018). Karanlıkta Üretim: Yeni Çağda Maliyetin Kapsamı. Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi, 20(4), 880–897. <https://doi.org/10.31460/mbdd.460897>
- Okoli, C. & Schabram, K. (2010) A Guide to Conducting A Systematic Literature Review of Information Systems Research. Sprouts: Working Papers On Information Systems 10.
- Ozkan-Ozen, Y. D., & Ozturkoglu, Y. (2020). A content analysis for sustainable supply chain management based on industry 4.0. In Logistics 4.0, 307-319. CRC Press
- Öğünç, H . (2018). Nesnelerin interneti uygulamalarının tam zamanında üretim sistemi üzerindeki etkisi . Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1651-1673.
- Öktem Özgür, A , Demirbilek, T . (2020). Endüstri 4.0 ve yaşlı çalışanların istihdam edilebilirliği. İzmir İktisat Dergisi, 35 (1) , 61-76. <https://doi.org/10.24988/ije.202035105>
- Ömürgönülşen, M , Çekiç, B , Ar, İ . (2020). Lojistik firmalarında endüstri 4.0 uyum sürecinde dikkate alınacak faktörlerin bulanık DEMATEL yöntemi ile değerlendirilmesi. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi , Prof. Dr. Talha Ustasüleyman Özel Sayısı , 167-184 . <https://doi.org/10.18092/ulikidince.581659>
- Özdemir, Ş , Erkollar, A , Oberer, B . (2018). Transformation of the machines from learner to decision maker: industry 4.0 and big data. Mugla Journal of Science and Technology, 4 (2), 219-223 . <https://doi.org/10.22531/muglajsci.463474>
- Özen, H. (2019). Endüstri 4.0 ve Eğitim: Bir Türkiye Perspektifi. Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 7(5), 103–113. <https://doi.org/10.18506/anemon.506826>
- Özkan, M., Al, A., & Yavuz, S. (2018). Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi- Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye. Marmara Üniversitesi Siyasal Bilimler Dergisi, 6(2), 126–156. <https://doi.org/10.14782/ipsus.460135>
- Özkoç, H. H., & Karalar, H. (2019). K12 Ve Lisans Öğrencilerinin Endüstri 4.0 Kavramına İlişkin Algıları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 20, 1–16. <https://doi.org/10.17494/ogusbd.k12>
- Özköse, H., & Arı, E. S. (2020). Bartın Üniversitesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü Lisansüstü Derslerinin Ders İçeriklerinin Endüstri 4.0 ile Uyumunun İncelenmesi. Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(21), 39–51. <https://dergipark.org.tr/pub/bartiniibf/issue/54672/593114>
- Öztemel, E , Gürsev, S . (2018). Türkiye’de Lojistik Yönetiminde Endüstri 4.0 Etkileri ve Yatırım İmkanlarına Bakış Üzerine Anket Uygulaması. Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 30 (2) , 145-154. <https://doi.org/10.7240/marufbd.408560>
- Öztemel, E. (2018). Eğitimde Yeni Yönelimlerin Değerlendirilmesi ve Eğitim 4.0. Üniversite Araştırmaları Dergisi, 1(1), 25–30. <https://doi.org/10.26701/uad.371662>
- Öztürk, S., & Alaşahan, Y. (2019). Türkiye’de Endüstri 4.0 Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Panel Veri Analizi. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 61, 1–18. <https://dergipark.org.tr/pub/dpusbe/issue/47035/430944>
- Petekci, A . (2021). Endüstri 4.0: Fırsat mı Tehlike mi? . Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi , 1 (1) , 7-15. <https://dergipark.org.tr/pub/bibtcd/issue/60460/850422>
- Rasgen, M., & Gönen, S. (2019). Endüstri 4.0 ve Muhasebenin Dijital Dönüşümü. Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 8(3), 2898–2917. <https://doi.org/10.33206/mjss.550713>
- Saatçioğlu, Ö , Kök, G , Özispa, N . (2018). Endüstri 4.0 ve lojistik sektörüne yansımalarının örnek olay kapsamında değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1675-1696. <https://dergipark.org.tr/pub/sduiibfd/issue/53210/714783>
- Saçak, R., Gür, Ş., & Eren, T. (2019). AHP ve DEMATEL Yöntemleri ile Nesnelerin İnternetinin İşletmelerde Yapılan Uygulamalarının Analizi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(2), 82–95. <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.565761>
- Sağbaşı, A., & Gülseren, A. (2019). Endüstri 4.0 Perspektifinde Sanayide Dijital Dönüşüm ve Dijital Olgunluk Seviyesinin Değerlendirilmesi. European Journal Of Engineering and Applied Sciences, 2(2), 1–5. <https://dergipark.org.tr/pub/ejeas/issue/51436/650329>
- Serinkli, N . (2018). Endüstri 4.0’ın özel, kamu ve kooperatif sektörlerine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1607-1621. <https://dergipark.org.tr/pub/sduiibfd/issue/53210/714764>

- Sert, Y , Gür, Ş , Eren, T . (2020). Dördüncü sanayi devriminin personel seçimi süreçlerine etkisinin değerlendirilmesi . Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , (55), 191-202. <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.594976>
- Sertel, E., Şahin, Y. B., & İşlier, A. A. (2020). Endüstri Mühendisliği Eğitimi ve Endüstri 4.0 İlişkisinin ESOGU Endüstri Mühendisliği Öğrencileri Bakışıyla Analizi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(1), 236–250. <https://doi.org/10.29137/umagd.620733>
- Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, sayı 32, Denizli, s.43-57. <https://doi.org/10.30794/pausbed.424955>
- Sözen, M., & Mescioğlu, T. (2019). Endüstri 4.0' ın İtici Güçlerinin Türkiye ve Çin Üzerindeki Etkileri. International Journal Of Social Inquiry, 12(1), 287–315. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijsi/issue/46304/582087>
- Süzen, A , Şimşek, M , Kayaalp, K , Gürfidan, R . (2019). Endüstri 4.0'da Nesnelerin Kablosuz Etki Alanlarına Yapılan Saldırı Metodolojisi . Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 143-151 . <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.557886>
- Şahin, D , Yılmaz, S . (2021). Endüstri 4.0 Uygulamalarının Sağlık Kurumlarında İnsan Kaynakları Yönetimine Etkilerinin Değerlendirilmesi. Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi , 7 (1) , 142-155 . <https://dergipark.org.tr/tr/pub/usaysad/issue/62190/930614>
- Şekkeli, Z , Bakan, İ . (2018). Endüstri 4.0'ın etkisiyle lojistik 4.0 . Journal of Life Economics, 5 (2), 17-36. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jlecon/issue/37073/426330>
- Şendoğdu, A . (2020). Endüstri 4.0 devriminde robotik kaynaklar yönetimi bağlamında insan kaynakları yönetiminde yeni açılımların kaçınılmazlığı. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 34 (1), 141-161. <https://doi.org/10.16951/atauniiibd.631617>
- Şener, S., & Erekli, B. (2017). Endüstri 4.0'da Yeni İş Kolları ve Yüksek Öğrenim. Mühendis Beyinler Dergisi, 2(1), 25–37. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendis-beyinler/issue/28909/316153>
- Şengül, Ü , Selvi, B . (2021). Hızlı Tüketim Ürünlerinin Lojistiğinde Kullanılan Elektronik Sistemler Ve Endüstri 4.0: Balıkesir İli Örneği . Management and Political Sciences Review , 2 (2) , 104-129 . <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mpsr/issue/60022/844102>
- Şenol, S , Sarıoğlu, K , Başkaya, S , Beyhan Acar, A . (2020). Borsa İstanbul'da Faaliyet Gösteren İşletmelerin İnsan Kaynakları Uygulamalarının Endüstri 4.0 Bağlamında Yıllar İtibari İle Değişiminin İçerik Analizi Yöntemi İle İncelenmesi. Çalışma İlişkileri Dergisi, 11 (2) , 77-104. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cider/issue/56717/715611>
- Taner, Z , Parlak Biçer, Z . (2021). Endüstri 4.0'ın Proje Yönetim Etmenlerine Etkisi . Politeknik Dergisi, 1-1 . <https://doi.org/10.2339/politeknik.741566>
- Tanriogen, Z. M. (2018). The Possible Effects of 4th Industrial Revolution on Turkish Educational System. Eurasian Journal of Educational Research, 77, 163–184. <https://doi.org/10.14689/ejer.2018.77.9>
- Taş, H . (2018). Dördüncü Sanayi Devrimi'nin (Endüstri 4.0) Çalışma Hayatına ve İstihdama Muhtemel Etkileri. OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, 9 (16) , 1817-1836. <https://doi.org/10.26466/opus.479123>
- Tekin, Z . (2018). İşletmelerin endüstri 4.0 uygulamalarının içerik analizi yöntemiyle incelenmesi. PressAcademia Procedia, 7 (1) , 251-255. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2018.891>
- Tektüfekçi, F. (2019). Endüstri 4.0 Kapsamında Dijital Dönüşümün Güncel Elektronik Muhasebe Uygulamalarına Yansımaları ve Pragmatik Yaklaşım Olarak Mali Mühendislik BEYDER, 14(1), 43–56. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/745617>
- Tepe, S . (2021). The Impact of Industry 4.0 on Occupational Health and Safety . International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences , 33 (1) , 122-130 . <https://doi.org/10.7240/jeps.777641>
- Terzi, A . (2021). Endüstri 4.0 Sürecinde Üretim Maliyetlerinde Meydana Gelmesi Beklenen Etkiler Üzerine Bir İnceleme . Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi, 14 (2), 837-872 . <https://doi.org/10.29067/muvu.852880>
- Terzi, S , Gür, Ş , Eren, T . (2020). Sürdürülebilir tedarik zincirine endüstri 4.0 etkisinin çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 25 (1) , 511-528. <https://doi.org/10.17482/uumfd.537979>
- Toker, K . (2018). Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirliğe etkileri. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi, 29 (84), 51-64. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iuiieyd/issue/38206/441403>

- Topsakal (2018) akıllı turizm kapsamında engelli dostu mobil hizmetler: Türkiye turizm için öneriler, *Journal of Tourism Intelligence and Smartness*, 1(1), 1-13. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtis/issue/39024/445128>
- Topsakal, Y , Yüzbaşıoğlu, N , Çelik, P , Bahar, M . (2018). Turizm 4.0 - Turist 5.0: insan devriminin neden endüstri devrimlerinden bir numara önde olduğuna ilişkin bakış. *Journal of Tourism Intelligence and Smartness*, 1 (2) , 1-11. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtis/issue/41750/504116>
- Topsakal, Y , Yüzbaşıoğlu, N , Çuhadar, M . (2018). Endüstri devrimleri ve turizm: Türkiye turizm 4.0 SWOT analizi ve geçiş süreci önerileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1623-1638. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/53210/714768>
- Tortorella, G. L., Ve Fettermann, D. (2017). Implementation Of Industry 4.0 and Lean Production in Brazilian Manufacturing Companies. *International Journal Of Production Research*, 7543, 1–13. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>
- Torun, N. K., & Cengiz, E. (2019). Endüstri 4.0 Bakış Açısının Öğrenciler Gözünden Teknoloji Kabul Modeli (TKM) ile Ölçümü. *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 22, 235–250. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.442734>
- Tuncel (2019) Sektörel inovasyon sistemi, endüstri 4.0 ve Türk takım tezgâhları sanayisinin durumu. *TESAM Akademi Dergisi*, <https://doi.org/10.30626/tesamakademi.584285>
- Tunçbilek, M , Özcan, H . (2020). Endüstri 4.0 ve Sendikalar. *Econder International Academic Journal*, 4 (1) , 248-275. <https://doi.org/10.35342/econder.743042>
- Tutar, H., Terzi, D., & Tınmaz, G. (2018). Türkiye’ nin “Vizyon 2023” Stratejisi ile Almanya’ nın 2025 Stratejik Hedeflerinin Endüstri 4.0 Göstergeleri İtibariyle Karşılaştırılması. *International Journal Entrepreneurship And Management Inquiries*, 2(3), 195–212. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijemi/issue/39142/470765>
- Tutar, S. (2019). Endüstri 4.0’ın Muhasebe Mesleğine Olası Etkileri. *Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi*, 3(2), 323–344. <https://doi.org/10.29216/ueip.611209>
- Türkel, S , Arıkan, Ö . (2020). Stratejik İnsan Kaynakları Yönetimi ve Endüstri 4.0’ ın Kesişen Ekosistemi . *Toros Üniversitesi İİSBF Sosyal Bilimler Dergisi*, 7 (12) , 115-139. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iisbf/issue/54695/701727>
- Türkel, S , Bozagaç, F . (2018). Endüstri 4.0’ ın İnsan Kaynakları Yönetimine Etkileri. *Toros Üniversitesi İİSBF Sosyal Bilimler Dergisi*, 5 (9) , 419-441. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iisbf/issue/41627/498915>
- Türker, A , Göleç, A , Aktepe, A , Ersöz, S , İpek, M , Çağıl, G . (2019). Siparişlerin gecikme tahmini için veri madenciliğine dayalı gerçek zamanlı bir sistem tasarımı ve uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2) , 709-724. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.478648>
- Tüzünkan, D . (2020). Çalışma Yaşamının Geleceği Kapsamında Yetenek Geliştirme: Turizm Endüstrisi . *Journal of Social Policy Conferences*, (78), 205-227. <https://doi.org/10.26650/jspc.2020.78.0031>
- Uçak, S., & Erdem, H. H. (2020). Eğitimde Yeni Bir Yön Arayışı Bağlamında “21. Yüzyıl Becerileri ve Eğitim Felsefesi”. *Uşak Üniversitesi Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 76–93. <https://doi.org/10.29065/usakead.690205>
- Ünlü, F., & Atik, H. (2018). Türkiye’deki İşletmelerin Endüstri 4.0’ a Geçiş Performansı: Avrupa Birliği Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Ampirik Analiz. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, 17(2), 431–462. <https://doi.org/10.32450/aacd.512006>
- Yalçın, A. Y., & Çaylak, İ. (2020). Türkiye’de Dijital Dönüşüme Başlangıç için AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Sektörel Sıralama. *Academic Platform Journal Of Engineering And Science*, 8(2), 258–265. <https://doi.org/10.21541/apjes.526700>
- Yankın, F . (2019). Dijital dönüşüm sürecinde çalışma yaşamı. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7 (2), 1-38. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/trakyaiibf/issue/43037/504359>
- Yardımcıoğlu, M., Karahan, M., & Yörük, A. (2019). Dijitalleşme Işığında Muhasebe Mesleğinin Geleceği. *Muhasebe Enstitüsü Dergisi*, (61), 35–46. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/meder/issue/48329/542847>
- Yarım, M. A., & Çelik, S. (2020). Endüstri 4.0 Çağında Öğrenci Gözüyle Öğretmenin Gerekliği ve Rolü. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 31, 76–92. <https://doi.org/10.20875/makusobed.541669>
- Yazıcı, E., & Düzkaya, H. (2016). Endüstri Devriminde Dördüncü Dalga ve Eğitim : Türkiye Dördüncü Dalga Endüstri Devrimine Hazır Mi ? *Eğitim ve İnsani Bilimler Dergisi: Teori ve Uygulama*, 7(13), 49–88. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/eibd/issue/29466/315920>

- Yelkikalan, N., Özcan, S., & Temel, K. (2019). Endüstri 4.0 Farkındalığının Belirlenmesi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Örneği. Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi, 14(1), 31–44. <https://dergipark.org.tr/en/pub/girkal/issue/46790/568616>
- Yemenicioğlu, E . (2019). Üretim Sistemleri Mühendisliğinde Kesintisiz Veri Alışverişi İçin Bir Çatı Formatı: AutomationML. Mühendis ve Makina, 60 (695) , 91-100. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/795468>
- Yıldız, B . (2020). İmalat firması çalışanlarının inovasyon yeteneklerinin endüstri 4.0 algıları üzerindeki etkisi. İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 3 (2) , 153-171. <https://doi.org/10.33416/baybem.690327>
- Yıldız, D. & Genç, K. Y. (2019). Endüstri 4.0'in Entelektüel Sermayedeki Rolü: Ülkeler Arası Karşılaştırılması. Asya'dan Avrupa'ya Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, (10), 39–47. <https://doi.org/10.31455/asya.622783>
- Yılmaz, F , Önaçan, M . (2019). Otonom gemi teknolojisine dair gelişmeler ile türk denizcilik ve gemi inşa sektörüne etkileri üzerine nitel bir araştırma. Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 11 (1) , 57-86 . <https://doi.org/10.18613/deudfd.614836>
- Yılmaz, K , Özdağoğlu, A . (2020). Awareness analysis of industry 4.0 . Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (31), 7-25. <https://doi.org/10.20875/makusobed.459431>
- Yılmaz, Ü., & Duman, B. (2019). Lojistik 4.0 Kavramına Genel Bir Bakış : Geçmişten Bugüne Gelişim ve değişim. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 4(1), 186–200. <https://doi.org/10.33905/bseusbed.465962>
- Yıldız, S. C., & Firat, S. Ü. (2020). Türkiye'deki Üniversite Öğrencilerinin Endüstri 4.0 Bilgi Düzeylerinin Belirlenmesi. Endüstri Mühendisliği 31(0), 1–16. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi/issue/52861/651199>
- Yüksekbilgili, Z., & Çevik, G. Z. (2018). Endüstri 4.0 Bağlamında Türkiye'nin Yerine İlişkin Güncel ve Gelecek Eksenli Bir Analiz. Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 3(2), 422–436. <https://doi.org/10.29106/fesa.412009>
- Zhou, K., Liu, T., Ve Zhou, L. (2016). Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges, 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. <https://doi.org/10.1109/fskd.2015.7382284>
- Zorlu, G , Ozturk, M , Koseoglu, A . (2018). İşletmelerde endüstri 4.0'in stok kontrol yöntemlerine etkisi. PressAcademia Procedia, 7(1), 348-351. <https://doi.org/10.17261/Pressacad>



Journal of Turkish Operations Management

Tıbbi atık toplama araçlarının rotalaması için matematiksel model önerisi: Samsun ilinde bir uygulama

Ahad Furugi^{1*}

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

e-mail: ahad.furugi@omu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5875-1446>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 21.07.2021

Revize: 05.08.2021

Kabul: 07.09.2021

Anahtar Kelimeler:

Araç Rotalama Problemi,
Tıbbi Atık Toplama Yönetimi,
Matematiksel Model,
Optimizasyon,

Özet

Türkiye, son yirmi yılda sağlık hizmetlerinde gelişmeye ve sağlık kuruluşları sayısında hızlı bir artışa tanık olmuştur. Bu büyüme ile birlikte, üretilen tıbbi atığın miktarı da artmıştır. Dolayısıyla tıbbi atıklardan kaynaklanan çevresel ve sağlık risklerini ortadan kaldırmak için, doğru bir tıbbi atık yönetim sistemi gerekmektedir. Ayrıca tıbbi atıkların toplanması oldukça önemli ve maliyetli bir hizmettir. Bu çalışmada, tıbbi atıkların toplanmasında, araçların ulaşım mesafelerini ve maliyetini en aza indirmek için kapasite kısıtlı periyodik araç rotalama problemi ele alınmıştır. Uygulama kapsamında Samsun'da tıbbi atık yönetimi alanında faaliyet gösteren bir işletmenin, tıbbi atık toplayan araçlarının en uygun rotalarının belirlenmesi için tamsayı matematiksel model önerilmiştir. Modelin çözümünden elde edilen optimum rotalar, mevcut rotalar ile karşılaştırılmıştır. Mevcut durumla kıyasla, hem toplam rota uzunluğunda hem kullanılan araç sayısında tasarruf sağlanmıştır.

A mathematical model for routing medical waste collection vehicles: an application in Samsun

Article Info

Article History:

Received: 21.07.2021

Revised: 05.08.2021

Accepted: 07.09.2021

Keywords:

Vehicle routing problem,
Medical waste collection management,
Mathematical model,
Optimization

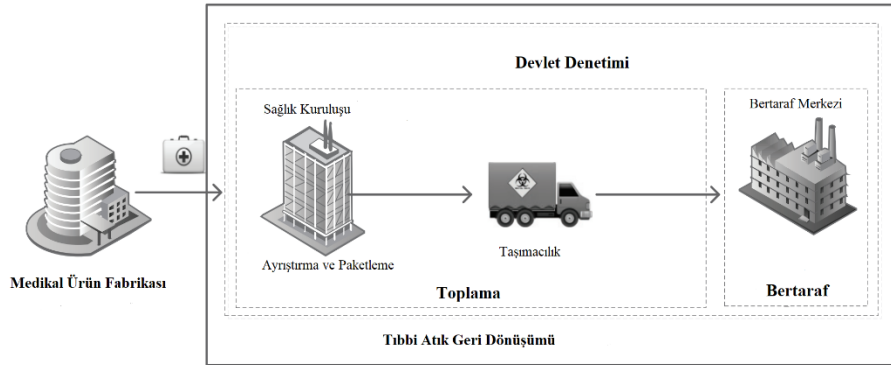
Abstract

Over the past twenty years, Turkey has witnessed an increase in the number of health organizations and the rapid growth of the health care system. With this growth, the amount of produced medical waste has also increased. Therefore, a rigorous medical waste management system is needed to eliminate medical waste's environmental and health hazards. In addition, medical waste collection is a significant and expensive service. In this study, the capacitated periodic vehicle routing problem is addressed to minimize the transportation distances and cost of the medical waste collection vehicles. An integer mathematical model has been developed to determine the most appropriate routes of vehicles that collect medical waste from health institutions for an enterprise operating in the field of medical waste management in Samsun. The optimum routes obtained from solving the mathematical model have been compared with the existing routes. Compared to the current situation, savings have been achieved in both the total length of the routes and vehicles used.

1. Giriş

Her toplumda hastaneler, laboratuvarlar, araştırma merkezleri, diyaliz merkezleri, sağlık ocakları, veterinerlik klinikleri gibi farklı sağlık merkezleri tarafından çeşitli sağlık hizmetleri sunulmaktadır. Bu tesisler günlük faaliyetleri sırasında birçok farklı atık üretmektedirler. Dünya Sağlık Teşkilatı'na (WHO) göre "sağlık kuruluşları, araştırma kuruluşları ve laboratuvarlar tarafından oluşturulan tüm atıklar ile evde yapılan tıbbi bakım (diyaliz, insülin enjeksiyonları) esnasında üretilen atıklar gibi küçük veya dağınık durumda bulunan kaynaklardan çıkan atıklar" tıbbi atıklar olarak tanımlanmaktadır (Güvez ve diğ., 2012). Eskiden, tıbbi atıklar belediye katı atıkları ile birlikte toplanıp bertaraf edilmekte idi. Ülkemizde tıbbi atıklar konusunda ilk çalışmalar 09.08.1983 tarih ve 2872 sayılı Çerçeve Kanunu ve bu kanuna bağlı olarak çıkarılan 20.05.1993 tarih ve 21586 sayılı Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) ile başlamıştır. 22.07.2005 tarih ve 25883 sayı ile Resmi Gazete'de yayınlanan "Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" ile bu alanda yapılacak uygulamalar yeniden düzenlenmiştir (Erdoğan, 2018).

Tıbbi atıklarda bulaşıcı mikrop ve virüslerin varlığı nedeniyle enfeksiyon yayılma tehlikesi oldukça yüksektir. Tıbbi atıkların doğru bir şekilde toplanıp ve imha edilmemesi ve bu sürecin yanlış yönetilmesi, HIV / AIDS, hepatit B veya hepatit C gibi ciddi hastalıklara neden olmaktadır. Bu nedenle, sağlık kuruluşlarında enfeksiyon bulaşmasını en aza indirmek için tıbbi atıklar ayrı olarak toplanması ve atılması gerekmektedir. Çoğu orta ölçekli hastane ve coğrafi olarak dağınık çok sayıda klinik, bir tıbbi atık sterilizasyon veya imha tesisine sahip değildir. Bu nedenle, bu hizmetleri sağlayabilen özelleştirilmiş bir atık yönetim işletmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işletmeler tarafından, tıbbi atıkların toplama usulüne ve tekniğine uygun olarak toplanması, geçici depolanması, taşınması ve imha edilmesi yapılmaktadır. Şekil 1'de gösterildiği gibi tıbbi atıkların doğru ve sağlıklı bir şekilde toplanması ve bertaraf edilmesi için bütün süreç çoğu hükümetlerin denetiminde gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde Tıbbi atıkların kontrolü yönetmeliğine göre tıbbi atıkların diğer atıklardan ayrı toplanması ve geçici depolanması sağlık kuruluşlarının, depolardan alınarak taşınması ve imha edilmesi belediyelerin, denetim ve yaptırım ise Çevre ve orman Bakanlığı'nın sorumluluğundadır.



Şekil 1. Tıbbi atık geri dönüşümü ve bertaraf süreci (He ve diğ., 2016)

Bu süreç içerisinde toplam tıbbi atık yönetim maliyetinin önemli bir bölümünü taşıma maliyeti oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu tür işletmelerin daha ekonomik ve verimli şekilde çalışabilmesi için uygun bir atık toplama planlamasına sahip olmaları gerekmektedir.

Atık toplama, bir Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak ele alınabilmektedir (Belien ve diğ., 2014). Araç rotalama problemi ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında yazdıkları çalışma ile ortaya çıkmıştır (Dantzig ve Ramser, 1959). Araç rotalama problemi mal, posta ve hammadde gibi çeşitli gönderilerin dağıtımında veya atık gibi çeşitli gönderilerin toplanmasında en uygun rotaların belirlenmesini amaçlayan bir kombinatoriyal eniyileme (optimizasyon) problemidir. Son 20 yılda, atık toplama probleminin çözümü için ARP kullanımı, çeşitli araştırmacılar tarafından araştırılmıştır. Angelelli ve Speranza (2002)'nin çalışmasında, farklı atık toplama sistemlerinin işletme maliyetlerini tahmin etmek için üç farklı atık toplama sistemine uygun model önerilmiş ve iki vaka çalışmasıyla (İtalya'da Val Trompia ve Belçika'da Antwerp kentleri) ilgili sonuçlar sunulmuştur. Aringhieri ve diğ. (2004a) tarafından İtalya'da geri dönüşümlü atıkların toplanması için bir vaka çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada atıklar, müşteriler tarafından atık malzeme türlerine göre uygun geri dönüşüm kutularında toplanmakta, geri dönüşüm kutusunun dolması durumunda, müşteriler dolu kutuyu boşaltmak veya boş bir kutu talep etmek için atık toplama merkezine çağrıda bulunmaktadır. Atık toplama merkezinin araçların rotalama probleminin çözümü için bir graf tabanlı model önerilmiştir. Cam, metal ve gıda gibi özel atıkların toplanması üzerine Aringhieri ve diğ. (2004b) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Li ve diğ. (2008) çalışmalarında, Brezilya'daki Porto kenti için çöp toplama ve planlama problemini tek depolu araç rotalama problemi olarak

çözmüşlerdir. Kyessi ve Mwakalinga (2009) çalışmalarında, Tanzanya'da Dar-es-salaam kenti için atık toplama probleminin modellenmesinde coğrafi bilgi sistemini (CBS) kullanmışlardır. Benzer şekilde, Firinci ve diğ. (2009), Kuzey Kıbrıs'taki atık toplama araçlarının rotalarını optimize etmek için CBS tabanlı bir pilot çalışma yapmışlardır. Fooladi ve diğ. (2015) tarafından, atık toplama araçlarının en uygun rotasını belirlemek için karma tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel model önerilmiş ve modelin çözümü için LINGO- 0.9 yazılımını kullanılmıştır. Alakaş ve diğ. (2018) çalışmalarında, Kırıkkale ili için geri dönüştürülebilir atıkların toplanma problemi ele alıp ve matematiksel model oluşturarak, haftanın her günü için araç rotalarını belirlemişlerdir. Özkök ve Kurul (2014) çalışmalarında, İstanbul'da gıda sektöründe faaliyet gösteren bir dağıtım işletmesinin, ürün dağıtımında kullandığı araç/araçlar için en uygun rotaları belirlemek için tamsayılı lineer programlama modeli kullanmışlar ve bu modelden elde edilen sonuçlar ile mevcut durum karşılaştırmışlardır.

Literatürde, tıbbi atık toplama problemi için araç rotalama ve çizelgeleme çalışmaları oldukça azdır. Shih ve Chang (2001) tarafından tıbbi atıkların toplama süreci incelenmiş ve atıkların toplama rotaları ve çizelgesi için iki aşamalı yaklaşım önerilmiştir. Türkiye'de Alagöz ve Kocasoy (2008), MapInfo ve Roadnet adlı paket programları kullanarak İstanbul şehrinin tıbbi atık toplama ve araç rotalama problemini çözmüşlerdir. Güvez ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, Kırıkkale ilinde özel bir firmanın tıbbi atıkların toplanması için uyguladığı rotayı incelemiş ve optimum rotaları belirlemişlerdir. Ouertani ve diğ. (2020) çalışmalarında, tehlikeli tıbbi atıkların toplanması ve taşınması problemini, kapasite kısıtlı araç rotalama problemi olarak ele alıp matematiksel model önermişlerdir. Romanya'nın Dolj kentinde tıbbi atıkların en az riskli rotalardan taşınması için Taslimi ve diğ. (2020) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Taslimi ve diğ. (2020) çalışmalarında, periyodik yüke bağlı kapasite kısıtlı araç rotalama modeli önermiş ve problemi çözmek için ayrıştırma tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Eren ve Tuzkaya (2021) çalışmalarında, tıbbi atıkların İstanbul ili içinde en güvenli ve en kısa yoldan taşınmasına yönelik matematiksel model önermişlerdir.

Önceki çalışmalara ilişkin literatür taraması, tıbbi atık toplama problemi için araç rotalama ve çizelgeleme çalışmalarının birkaç çalışma ile sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. literatürdeki bu alanda var olan araştırma boşluğu ve Samsun ilinde tıbbi atıkların toplanmasında kullanılan araçların rotalanması ihtiyacı, bu çalışmanın motivasyon kaynağını oluşturmuştur. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Geliştirilen matematiksel model, GAMS 24.1 sürümlü paket programı ile kodlanmış, CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Makalenin diğer bölümleri aşağıdaki sıraya göre düzenlenmiştir. İkinci bölümde, kapasite kısıtlı periyodik araç rotalama problemi tanımlanmış ve tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. Üçüncü bölümde, uygulama kısmına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, önerilen modelin çözümünden elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Son bölümde ise yapılan çalışma değerlendirilerek gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

2. Problem Tanımı

Klasik ARP'de tipik olarak planlama dönemi tek bir gündür. Ancak literatürde planlama dönemi T-gün olan araç rotalama problemlerine periyodik araç rotalama problemi (P_ARP) adı verilmiştir (Coene ve diğ., 2008). Periyodik ARP'de belirli bir dönemin planı en başta yapılmaktadır ve müşteriler bu süreçte birden fazla hizmet alabilmektedir. Müşterilere yapılacak hizmet sayısı, araç kapasitesi ve müşterilerin talep miktarlarına göre değişmektedir. Tıbbi atıklar enfeksiyon riski taşıdığı için uzun süre sağlık kuruluşlarında bekletilemez. Dolayısıyla büyük miktarda tıbbi atıkları olan kurumlarda, atığın her gün toplanması talep edilebilir. Daha az tıbbi atığa sahip merkezlerin atıkları ise iki veya üç günde bir toplanması yeterli olacaktır.

Bu bölümde tıbbi atıkların toplanmasında kullanılan araçların en iyi rotasını belirlemek için periyodik araç rotalama modeli geliştirilmiştir. Amaç, taşıma maliyetlerini minimize eden en uygun rotanın belirlenmesidir. Önerilen matematiksel model ve kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda verilmektedir:

İndisler:

- H Tüm düğümler (hastaneler, 1. ve H. düğümler depo olarak varsayılmıştır)
- N Araç sayısı
- G Günler kümesi (1,...,G)

Parametreler:

- R_{ij} i ve j. hastane arasındaki mesafe
- S_{ig} i. hastaneden atık toplanması gereken gün (ler)
- T_{ig} i. hastaneden g. günde toplanacak atık miktarı
- M_k k. aracın servis maliyeti
- C_k k. aracın kapasitesi

f_k k. aracın km başına yakıt maliyeti

Karar değişkenleri:

y_{jg} Alt turun oluşmaması için kullanılan pozitif değişken
 $X_{ijk g}$ $\begin{cases} 1, & \text{eğer } g. \text{ gün } k. \text{ araç } i. \text{ hastaneden } j. \text{ hastaneye giderse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$
 W_{kg} $\begin{cases} 1, & \text{eğer } g. \text{ gün } k. \text{ araç kullanılır ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

$$\min Z = \sum_{i=1}^H \sum_{j=1, j \neq i}^H \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G f_k * R_{ij} * X_{ijk g} + \sum_{k=1}^N \sum_{g=1}^G M_k * W_{kg}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \neq 1}^{H-1} \sum_{k=1}^N X_{ijk g} \leq N \quad \begin{matrix} \forall i = 1 \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^H X_{ipkg} - \sum_{j=2}^H X_{pjkg} = 0 \quad \begin{matrix} \forall p = 2, \dots, H-1 \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (2)$$

$$\sum_{i \neq j}^{H-1} \sum_{k=1}^N X_{ijk g} * S_{ig} = S_{jg} \quad \begin{matrix} \forall j = 2, \dots, H-1; \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (3)$$

$$\sum_{j=2}^{H-1} \sum_{k=1}^N X_{ijk g} * S_{jg} = W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall i = 1; \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (4)$$

$$\sum_{i=2}^{H-1} \sum_{k=1}^N X_{ijk g} * S_{ig} = W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall j = H; \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (5)$$

$$\sum_{i=2}^{H-1} \sum_{j=2}^H T_{ig} * X_{ijk g} \leq C_k * W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (6)$$

$$y_{jg} \geq y_{jg} + 1 - (H-1) * \left(1 - \sum_{k=1}^N X_{ijk g}\right) \quad \begin{matrix} \forall i, j = 2, \dots, H-1, \\ j \neq i \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (7)$$

$$y_{jg} \geq 1 \quad \begin{matrix} \forall j = 2, \dots, H-1 \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (8)$$

$$X_{ijk g} = 0 \quad \begin{matrix} \forall i = 2, \dots, H-1 \\ \forall j = 1 \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (9)$$

$$X_{ijk g} \leq W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall i, j = 2, \dots, H-1 \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (10)$$

$$\sum_{i=2}^{H-1} \sum_{k=1}^K X_{ijk g} = \sum_{k=1}^N W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall j = H \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (11)$$

$$y_{jg} \geq 0 \quad \begin{matrix} \forall j = H \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (12)$$

$$W_{kg}, X_{ijk g} \in \{0,1\} \quad \begin{matrix} \forall i, j = 1, \dots, H \\ \forall k = 1, \dots, N, \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (13)$$

Modelin amaç fonksiyonu, toplam taşıma maliyetlerini minimize etmektir. Kısıt (1)'de her hangi bir günde depodan atık toplamak için çıkış yapan araç sayısının toplamı, maksimum araç sayısını geçemez. Kısıt (2), bir düğüme giren ve çıkan araç sayısının eşit olmasını sağlamaktadır. Kısıt (3), herhangi bir hastanenin planlanan gününde, bir aracın atık toplama rotasına dahil edilmesini sağlamaktadır. Kısıt (4-5), herhangi bir günde kullanılan her bir aracın mutlaka depodan çıkış ve giriş yapmasını sağlamaktadır. Kısıt (6) kullanılan aracın kapasitesinin aşılmayacağını göstermektedir. Kısıt (7-8) alt tur oluşmasını engelleyen kısıtlardır. Kısıt (9-11) tamamlayıcı kısıtlardır. Kısıt (12-13) ise pozitif ve $\{0,1\}$ değişkenleri ifade etmektedir.

3. Uygulama

Uygulama, Samsun merkezde tıbbi atık toplama konusunda faaliyet gösteren bir işletmede yapılmıştır. Amaç, bu işletmenin tıbbi atık toplama araçlarının zaman ve kapasite kısıtı altında en iyi rotasını belirleme ve taşıma maliyetleri en aza indirmektir. Uygulamanın yapıldığı işletmede, merkezi depo olarak adlandırdıkları bir tıbbi atık merkezi ve bu işletmenin hizmet verdiği 26 sağlık kuruluşu bulunmaktadır. Sağlık kuruluşlarının adı ve numaraları Tablo 1'de ve harita üzerinde konumları ise Şekil 2'de verilmiştir. Çalışmanın devamında sağlık kuruluşlarının adı yerine numaraları kullanılmıştır.

Tablo 1. Sağlık kuruluşlarının adı ve numarası

Sağlık Kuruluşu No	Sağlık Kuruluşu	Sağlık Kuruluşu No	Sağlık Kuruluşu
1	OMÜ Tıp Fak. Hastanesi	14	Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hastanesi
2	Eğitim Araştırma Hastanesi	15	Çokay Diyaliz Merkezi
3	Medikal Park Hastanesi	16	Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Cerrahisi Hastanesi
4	Atasam Hastanesi	17	Fizik Tıp ve Rehabilitasyon Hastalıkları Hastanesi
5	Gazi Devlet Hastanesi	18	Dünya Göz Hastanesi
6	OMÜ Diş Hekimliği Fak.	19	Samsun Diyaliz Merkezi (Diaverum)
7	OMÜ Veteriner Fak. Hayvan Hastanesi	20	Romatem Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezi
8	Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi	21	Halk Sağlığı Merkezi (Ketem)
9	Medicana Hastanesi	22	Özel İlgi Tıp Merkezi
10	Anadolu Hastanesi (Çiftlik)	23	19 Mayıs Diyaliz Merkezi
11	Anadolu Hastanesi (Meydan)	24	FBM Lazer Estetik Plastik Cerrahi Kliniği
12	Liman Hastanesi	25	Clinica Tıp Merkezi
13	Ağız ve Diş Sağlığı Hastanesi	26	Türk Kızılayı Orta Karadeniz Bölge Kan Merkezi



Şekil 2. Sağlık kuruluşlarının harita üzerindeki konumu

Merkezi depo ve sağlık kuruluşları arası mesafeler, Google harita yol tarifi özelliği kullanılarak kilometre cinsinden hesaplanmıştır ve EK1’de verilmiştir. İşletmenin her bir sağlık kuruluşundan bir ay boyunca günlük toplanan tıbbi atık verileri kullanılarak, haftanın günleri bazında toplanması gereken ortalama tıbbi atık miktarı hesaplanmış ve Tablo 2’de verilmiştir.

Mevcut durumda, sağlık kuruluşlarından merkezi depoya tıbbi atık toplamak için 3 araç kullanılmaktadır ve araçların rotası günlük talebe göre tahminen ve tecrübeye dayalı olarak belirlenmektedir. Bu araçların iki tanesinin kapasitesi 3000 kg, diğerinin kapasitesi ise 3500 kg’dır. Araçlar için işletme tarafından servis başına sırasıyla tipine göre 300 ve 500 TL’lik bir sabit servis maliyeti (M_k) belirlenmiştir. Ayrıca yakıtın litre fiyatı 7.32 TL olduğu kabulüyle, araçların km başına yakıt maliyeti (f_k) yaklaşık 1 TL/Km olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Sağlık kuruluşlarından toplanacak haftalık tıbbi atık miktarı (kg)

Sağlık Kuruluşu No	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi
1	1502	1215	1190	1190	1133	1071
2	1107	1494	1345	909	1313	847
3	400	275	284	276	270	228
4	0	335	0	323	0	336
5	418	436	391	406	390	469
6	0	0	0	238	0	0
7	0	0	0	34	0	0
8	561	0	422	0	358	0
9	0	961	0	839	0	829
10	335	0	316	0	321	0
11	166	0	161	0	167	0
12	135	0	100	0	115	0
13	106	0	189	0	197	0
14	0	47	0	0	0	0
15	128	0	73	0	0	0
16	192	0	187	0	198	0
17	0	0	63	0	0	0
18	53	0	0	0	0	0
19	120	70	0	149	0	0
20	0	34	0	0	0	0
21	0	0	0	33	0	0
22	0	0	0	0	0	25
23	0	0	0	540	0	2

24	0	0	0	0	0	75
25	0	0	0	0	0	36
26	0	561	0	0	514	0

4. Bulgular ve Tartışma

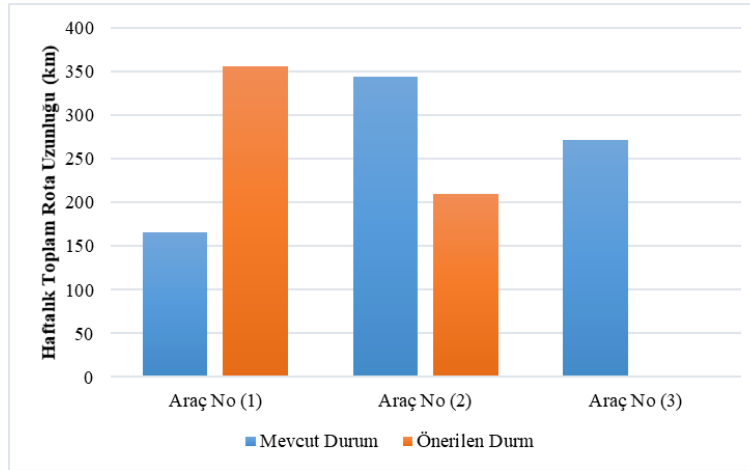
Önerilen model, GAMS paket programı ile kodlanmıştır. Problemin çözümü için CPLEX çözücü ve Intel (r) Core (TM) i7-7700 HQ 2.8 GHz işlemci ve 16 GB ram özelliğine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Problemin çözüm süresi 885 saniye olarak elde edilmiştir. Her bir araç için mevcut durumda uygulanan günlük rota ve modelin çözümünden elde edilen rota Tablo 3’de verilmiştir.

Matematiksel modelden elde edilen sonuçları ve mevcut durumu karşılaştırdığımızda, mevcut durumda tüm araçlar (1. Araç, haftada 3 gün ve 2. ve 3. araçlar ise haftada 6 gün) hizmet vermektedirler. Ancak, modelden elde edilen sonuçlara göre 3. Araçtan tasarruf edilmiş ve iki araç (1. ve 2. araçlar, haftada 6 gün) ile tüm hizmetin verilebileceği anlaşılmaktadır. Mevcut durumda toplam rota uzunluğu 782,6 km’iken, modelden elde edilen optimum sonuçta, toplam rota uzunluğunu 565,9 km olarak hesaplanmıştır. Böylelikle işletmenin kullandığı araç sayısının iki’ye düşmesinin yanı sıra, araçların haftalık kat ettiği rota uzunluğunda, 216,7 km’lik bir azalma elde edilmiştir. Araçların haftalık rota uzunluğu Şekil 3’te karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda, 1,2 ve 3 numaralı araçlar sırasıyla 166,1; 344,3 ve 272,2 km yol yaparken, önerilen durumda ise sırasıyla 356,4;209,5 ve 0 km yol yapmaktadırlar. Mevcut durumun toplam maliyeti ile önerilen durumun maliyeti (amaç fonksiyonu değeri) karşılaştırıldığında, haftalık 2316,7 TL azalma görülmektedir.

Tablo 3. Mevcut durum ve önerilen modelin çözümünden elde edilen sonuçlar

İşletmenin Mevcut Rotası		Rota Uzunluğu (km)	Modelden Elde Edilen Rota	Rota Uzunluğu (km)
Araç No (1)				
Pazartesi	D-26-2-D	29,3	D-16-1-3-12-D	60,9
Salı	-		D-2-3-1-D	53,3
Çarşamba	-		D-17-16-1-3-12-11-D	63
Perşembe	D-23-26-25-2-D	74,2	D-21-3-23-6-7-1-D	59,1
Cuma	-		D-16-1-3-12-10-11-D	64,8
Cumartesi	D-1-3-2-26-D	62,6	D-2-23-1-24-3-25-D	55,3
Araç No (2)				
Pazartesi	D-1-3-2-D	53,3	D-2-10-18-11-19-13-8-5-15-D	33,6
Salı	D-1-4-2-D	61,8	D-14-19-20-9-4-5-26-D	39
Çarşamba	D-1-3-2-D	53,3	D-2-10-5-8-13-15-D	31,6
Perşembe	D-1-6-7-3-2-D	60,8	D-4-9-19-5-2-D	36,3
Cuma	D-1-3-2-D	53,3	D-26-13-5-8-2-D	34,1
Cumartesi	D-1-4-2-D	61,8	D-22-5-4-9-D	34,9
Araç No (3)				
Pazartesi	D-12-10-11-5-13-8-16-2-D	36,3	-	-
Salı	D-4-9-5-14-15-20-2-D	48,2	-	-
Çarşamba	D-10-11-12-5-13-8-16-17-18-21-2-D	41,2	-	-
Perşembe	D-9-5-15-2-D	35,4	-	-
Cuma	D-10-11-12-5-13-8-16-21-2-D	65,6	-	-
Cumartesi	D-4-9-12-5-18-19-22-2-D	45,6	-	-
Toplam Rota Uzunluğu		782,6		565,9
Toplam Maliyet		6482,6		4165,9

D: Tıbbi atık merkezi (Merkezi Depo)



Şekil 3. Araçların haftalık rota uzunluğu karşılaştırması

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, tıbbi atıkların toplanmasında, araçların ulaşım mesafelerini ve maliyetini en aza indirmek için kapasite kısıtlı periyodik araç rotalama problemi olarak ele alınmıştır. Problem için yeni bir matematiksel model önerilerek çözüm yapılmıştır. Mevcut ve önerilen durum; araç sayısı, gidilen rota uzunlukları ve toplam maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Önerilen durumda, mevcut duruma göre, araç sayılarında, toplam rota uzunluklarında ve toplam maliyette azalma görülmektedir. Sonuç olarak, modele ait sonuçlar işletme yetkililerine sunulmuş, yetkililer tarafından işletmeye ait tıbbi atık toplama maliyetlerinde belirgin bir indirmeye sağlanacağı ve modelin uygulanabilirliği kabul edilmiştir.

Bu çalışmanın devamında, geliştirilen model diğer şehirlerde de uygulanarak benzer işletmelerde en verimli şekilde tıbbi atıkların toplanması gerçekleştirilebilir. Geliştirilen model, süt fabrikası için farklı üreticilerden süt toplama veya farklı lokasyonlarda bulunan işletmelerden periyodik olarak atık yağ toplama gibi problemlere de uygulanabilir. Ayrıca araç rotalama problemin NP-zor yapıda olduğundan, büyük boyutlu problemleri makul sürede çözmek için sezgisel veya meta sezgisel yöntemlerin geliştirilmesi üzerinde çalışmalarda yapılabilir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Alagöz, A. Z. and G. Kocasoy (2008). Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in Istanbul. *Waste Management*, 28(8): 1461-1471. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.024>

Alakaş, H. M., Ş. Kızıldaş, E. Tamer and E. Özcan (2018). Sıfır atık projesi kapsamında atıkların toplanması: kırıkale ilinde homojen çok araçlı araç rotalama uygulaması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3): 190-196. Erişim Adresi: <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>

Angelelli, E. and M. G. Speranza (2002). The application of a vehicle routing model to a waste-collection problem: two case studies. *Journal of the Operational Research Society*, 53(9): 944-952. doi:

https://doi.org/10.1007/978-3-642-56183-2_16

Aringhieri, R., M. Bruglieri, F. Malucelli and M. Nonato (2004a). An asymmetric vehicle routing problem arising in the collection and disposal of special waste. *Electronic notes in discrete mathematics*, 17: 41-47. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.endm.2004.03.011>

Aringhieri, R., M. Bruglieri, F. Malucelli and M. Nonato (2004b). A particular vehicle routing problem arising in the collection and disposal of special waste. *Presented at Tristan 2004. Guadeloupe, French West Indies*. Erişim Adresi: https://tristanconference.org/system/tristan-v/website/pdf/abstract_00112.pdf

- Belien, J., L. De Boeck and J. Van Ackere (2014). Municipal Solid Waste Collection and Management Problems: A Literature Review. *Transportation Science*, 48(1): 78-102. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1120.0448>
- Coene, S., A. Arnout and F. Spieksma (2008). The periodic vehicle routing problem: a case study. *Working paper*. doi: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1368749>
- Dantzig, G. B. and J. H. Ramser (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1): 80-91. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Erdoğan, Ö. (2018). Tıbbi atık yönetimi. Hemşirelik uygulamalarında klinik mikrobiyoloji ve enfeksiyon hastalıkları. Ankara, Hipokrat Kitabevi: 99-106. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/profile/Oezcan-Erdogan/publication/322499279_Tibbi_Atik_Yonetimi_Biomedical_waste_management/links/5a5c6875458515450278f608/Tibbi-Atik-Yoenetimi-Biomedical-waste-management.pdf
- Eren, E. and U. R. Tuzkaya (2021). Safe distance-based vehicle routing problem: Medical waste collection case study in COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*, 157: 107328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107328>
- Firinci, N., A. Celik, E. Akün and M. Atif Khan (2009). A pilot study for the optimization of routes for waste collection vehicles for the Göçmenköy district of Lefkoşa. *Proc World Acad Sci Eng Technol*, 37: 2070-3740. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1078619>
- Fooladi, S., H. Fazlollahtabar and I. Mahdavi (2015). Waste collection vehicle routing problem considering similarity pattern of trashcan and garbage unloading. *International Journal of Engineering and Industrial Management*, 5. Erişim Adresi: <http://hdl.handle.net/11067/1383>
- Güvez, H., M. Dege and T. Eren (2012). Kırıkkale’de Araç Rotalama Problemi ile Tıbbi Atıkların Toplanması. *International Journal of Engineering*, 4(1): 41-45. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/profile/Hakan-Guvez/publication/335714470_Medical_Waste_Collection_with_Vehicle_Routing_Problem_in_Kirikkale/links/5d77476d4585151ee4ab1cef/Medical-Waste-Collection-with-Vehicle-Routing-Problem-in-Kirikkale.pdf
- He, Z.-g., Q. Li and J. Fang (2016). The Solutions and Recommendations for Logistics Problems in the Collection of Medical Waste in China. *Procedia Environmental Sciences*, 31: 447-456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.099>
- Kyessi, A. and V. Mwakalinga (2009). GIS application in coordinating solid waste collection: the case of Sinza Neighbourhood in Kinondoni municipality, Dar es Salaam city, Tanzania. Report of Federation Internationale des Geometres (FIG) Working Week 2009. . Erişim Adresi: https://www.academia.edu/4909953/GIS_Application_in_Coordinating_Solid_Waste_Collection_The_Case_of_S
- Li, J.-Q., D. Borenstein and P. B. Mirchandani (2008). Truck scheduling for solid waste collection in the City of Porto Alegre, Brazil. *Omega*, 36(6): 1133-1149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.04.007>
- Ouertani, N., H. Ben-Romdhane, I. Nouaouri, H. Allaoui and S. Krichen (2020). On Solving the Hazardous Health-Care Waste Transportation Problem: a Real Case Study. 2020 International Multi-Conference on: Organization of Knowledge and Advanced Technologies (OCTA), IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/OCTA49274.2020.9151781>
- Özkök, B. A. and F. C. Kurul (2014). Araç rotalama problemine tam sayılı lineer programlama modeli ve gıda sektöründe bir uygulama. *Istanbul University Journal of the School of Business Administration*, 43(2). Erişim Adresi: <https://www.proquest.com/openview/66d20483c035e3b74c5455fe8faed612/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1796365>
- Shih, L.-H. and H.-C. Chang (2001). A routing and scheduling system for infectious waste collection. *Environmental Modeling & Assessment*, 6(4): 261-269. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1013342102025>

Taslimi, M., R. Batta and C. Kwon (2020). Medical waste collection considering transportation and storage risk. *Computers & Operations Research*, 120: 104966. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104966>

Ek1: Sağlık kuruluşları arası uzaklık matrisi

D*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
D	0	25,1	10	20,4	16,2	25,4	27,5	13,9	16,2	13,8	14	14,1	14,2	9,7	14,4	12,6	12,6	14,5	15,8	15,1	14,1	13,5	23,5	21,2	18	13,8	
1	25,1	0	17,4	8,2	21,1	18,5	3	19,1	21,7	17,5	16,4	16,1	19,4	17,6	17,9	17,6	17,7	17,9	19,2	19,8	12,5	17,4	2,4	6,5	8,8	22,7	
2	10	17,4	0	10	5,6	4,7	18,6	20	4,6	6,7	3,8	4,4	5,4	4,6	5,3	3,1	3,1	4,9	5	6,6	5,8	4	15,1	11,3	9,6	5,5	
3	20,4	8,2	10	0	13,1	10,4	9	10,5	11,2	13,7	9,6	9,2	8,4	11,2	10,1	10,5	10,4	9,8	9,8	11,4	4,8	9,1	5,9	1,8	1,5	13,1	
4	16,2	21,1	5,6	13,1	0	2,2	20,9	22,4	1,1	3,4	3,8	5,3	1,6	5,1	2,6	2,9	3,1	3,1	2,9	2,1	8,4	3,8	17,4	13,6	11,9	3,1	
5	16,2	18,5	4,7	10,4	2,2	0	19,5	20,9	0,7	2,8	1,6	2,2	3,4	0,7	3,7	1,1	1,6	1,2	1,4	2,8	7,3	1,9	15,8	12,2	10,8	4,1	
6	25,4	1,6	18,6	9	20,9	19,5	0	3,6	18,6	21,2	17	16,6	15,8	18,6	18,2	17,6	17,5	17,4	17,2	17,3	18,9	11,9	16,6	2,6	7	9	20,2
7	27,5	3	20	10,5	22,4	20,9	3,6	0	20,7	23,3	19,1	18,7	17,9	20,7	20,3	19,7	19,6	19,5	19,3	19,4	21	14	18,7	4,6	9,1	11,1	22,2
8	13,9	19,1	4,6	11,2	1,7	0,7	18,6	20,7	0	2,2	1,9	2,3	3,7	0,07	4,1	1	2,1	2	1,5	1,3	2,1	7,6	2,2	16,3	12,1	11	4,3
9	16,2	21,7	6,7	13,7	1,1	2,8	21,2	23,3	2,2	0	3,6	3,9	5,5	2,1	6,1	2,8	3,9	4,1	3,1	2,9	1	11,5	4	18,1	13,9	12,8	3,9
10	13,8	17,5	3,8	9,6	3,4	1,6	17	19,1	1,9	3,6	0	1,3	2,7	1,8	4,9	1,1	2,2	2,1	0,08	1,2	3	7	1,3	15,2	11	10,2	5,7
11	14	16,4	4,4	9,2	3,8	2,2	16,6	18,7	2,3	3,9	1,3	0	2,1	2,5	5	1,5	2	2	0,95	1,2	2,8	7,1	0,06	14,6	10,5	9,3	6,1
12	14,1	16,1	5,4	8,4	5,3	3,4	15,8	17,9	3,7	5,5	2,7	2,1	0	2,8	5,2	1,8	2,4	2,4	1,5	1,5	3,1	7,2	0,8	13,7	9,5	8,4	6,5
13	14,2	19,4	4,6	11,2	1,6	0,7	18,6	20,7	0,07	2,1	1,8	2,5	2,8	0	4,1	1	2,1	2	1,5	1,3	2,2	7,5	2,2	16,3	12,1	11	4,3
14	9,7	17,6	1	11,2	5,1	3,7	18,2	20,3	4,1	6,1	4,9	5	5,2	4,1	0	5,8	3,6	3,5	5,4	5,5	7,1	5,5	4,5	14,8	11	9,3	5
15	14,4	17,9	5,3	10,1	2,6	1,1	17,6	19,7	1	2,8	1,1	1,5	1,8	1	5,8	0	2,8	2,3	0,5	0,45	2	7,5	1,8	15,4	11,3	10,1	5,2
16	12,6	17,6	3,1	10,5	2,9	1,6	17,5	19,6	2,1	3,9	2,2	2	2,4	2,1	3,6	2,8	0	0,1	2,2	2,8	4	5,8	1,8	14,8	11	9,3	4,5
17	12,6	17,7	3,1	10,4	3,1	1,6	17,4	19,5	2	4,1	2,1	2	2,4	2	3,5	2,3	0,1	0	2,1	2,7	4,2	5,8	1,7	14,9	11	9,3	4,6
18	14,5	17,9	4,9	9,8	3,1	1,2	17,2	19,3	1,5	3,1	0,08	0,95	1,5	1,5	5,4	0,5	2,2	2,1	0	0,5	2,1	7,6	1,9	15,4	11,3	10,1	5,6
19	15,8	19,2	5	9,8	2,9	1,4	17,3	19,4	1,3	2,9	1,2	1,2	1,5	1,3	5,5	0,45	2,8	2,7	0,5	0	1,6	9,5	3,7	16,6	12,5	11,3	7
20	15,1	19,8	6,6	11,4	2,1	2,8	18,9	21	2,1	1	3	2,8	3,1	2,2	7,1	2	4	4,2	2,1	1,6	0	8,8	3,4	17,3	13,1	12	5
21	14,1	12,5	5,8	4,8	8,4	7,3	11,9	14	7,6	11,5	7	7,1	7,2	7,5	5,5	7,5	5,8	5,8	7,6	9,5	8,8	0	7,1	9,7	5,9	4,2	8,9
22	13,5	17,4	4	9,1	3,8	1,9	16,6	18,7	2,2	4	1,3	0,06	0,8	2,2	4,5	1,8	1,8	1,7	1,9	3,7	3,4	7,1	0	15	10,8	9,9	5,6
23	23,5	2,4	15,1	5,9	17,4	15,8	2,6	4,6	16,3	18,1	15,2	14,6	13,7	16,3	14,8	15,4	14,8	14,9	15,4	16,6	17,3	9,7	15	0	4,7	6,9	18,3
24	21,2	6,5	11,3	1,8	13,6	12,2	7	9,1	12,1	13,9	11	10,5	9,5	12,1	11	11,3	11	11	11,3	12,5	13,1	5,9	10,8	4,7	0	4,8	16
25	18	8,8	9,6	1,5	11,9	10,8	9	11,1	11	12,8	10,2	9,3	8,4	11	9,3	10,1	9,3	9,3	10,1	11,3	12	4,2	9,9	6,9	4,8	0	12,8
26	13,8	22,7	5,5	13,1	3,1	4,1	20,2	22,2	4,3	3,9	5,7	6,1	6,5	4,3	5	5,2	4,5	4,6	5,6	7	5	8,9	5,6	18,3	16	12,8	0

*Tıbbi atık merkezi (Merkezi Depo)



Journal of Turkish Operations Management

Sağlık çalışanlarında nozokomiyal ve laboratuvar kaynaklı hastalık maruziyeti ve proaktif yaklaşımla biyolojik risk analizi uygulaması

Nuray Alpoğlu Akbulut^{1*}, Ergün Eraslan²

¹İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara
e-mail: nurayakbulut6@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-7772-2798>

²İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara
e-mail: ergunerasslan@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-5667-0391>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 15.11.2021
Revize: 09.12.2021
Kabul: 13.12.2021

Anahtar Kelimeler:

Biyolojik risk değerlendirmesi,
Biyolojik tehlike,
Biyogüvenlik, nozokomiyal hastalık,
Laboratuvar kaynaklı enfeksiyon

Özet

Dünyada biyolojik tehlikelerin neden olduğu D grubu mesleki bulaşıcı hastalıklar en çok sağlık çalışanlarında mortalite ve morbidite nedenidir. Bu nedenle hastanelerin proaktif yaklaşımla risk analizlerinin yapılması önemlidir. Bu yaklaşımla çalışmada nozokomiyal hastalıklar, laboratuvar kaynaklı enfeksiyonlar ve bu enfeksiyonlara karşı kontrol önlemleri tanımlanmıştır. Kontrol önlemleri bağlamında bir uygulamanın 4×3 matris modeli ile biyolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Ankara’da yerleşik eğitim mikrobiyoloji laboratuvarında “Kanalizasyon numunesinden Escherichia coli saf kültür elde etme ve kültürün yatık kültürde transfer işlemi ile muhafaza edilmesi” işlemi yapılmıştır. Mevcut önlemler, bakterilerin risk grupları ve bulaş yolları dikkate alınarak işlemin risk düzeyi belirlenmiştir. Uygulamanın risk düzeyi ‘orta’ seviyede bulunmuştur. Bu sonuç bu laboratuvarlarda ek önlemlere ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın sonunda, biyogüvenlik içerikli eğitimlerin planlanması ve biyogüvenlik kılavuzları yazılması, biyogüvenlik kabinini kullanılması gibi yönetsel önlemler; laboratuvarın çıkışına lavabo yaptırılması gibi mühendislik önlemleri önerilmiştir.

Nosocomial and laboratory-derived disease exposure in healthcare workers and biological risk analysis application with a proactive approach

Article Info

Article History:

Received: 15.11.2021
Revised: 09.12.2021
Accepted: 13.12.2021

Keywords:

Biological risk assesment,
Biolojical hazard,
Nosocomial disease,
Laboratory-acquired infections

Abstract

Group D occupational infectious diseases caused by biological hazards in the world are the most common cause of mortality and morbidity in healthcare workers. With this approach, nosocomial diseases, laboratory-acquired infections and control measures against these infections were defined in the study. In the context of control measures, a biological risk assessment was made with the 4×3 matrix model of an application. In the teaching microbiology laboratory located in Ankara, the process of "obtaining Escherichia coli pure culture from the sewer sample and preserving the culture by transferring the culture in horizontal culture" was carried out. The risk level of the procedure was determined by taking into account the existing precautions, risk groups of bacteria and transmission routes. The risk level of the practice was found to be "medium". This result revealed the need for additional precautions in this laboratory. At the end of the study, managerial measures such as planning biosafety-related training, writing biosafety guidelines, using biosafety cabinets; engineering measures such as placing a sink near the laboratory exit are recommended.

1. Giriş

İnsan sağlığı üzerinde hafif veya ölüme kadar gidebilen, alerjik reaksiyonlara, zehirlenmelere ve enfeksiyonlara neden olabilen virüsler, bakteriler, mikrofunguslar, parazitler, mikrobiyal toksinler, kan ve vücut sıvıları, insan ve hayvan dokuları, değiştirilmiş hücre hatları, nükleik asit ve gen ürünleri, mikroorganizmalar *biyolojik tehlikeler (enfeksiyöz ajanlar)* olarak adlandırılır (Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları, 2014). Bu etkenlere maruz kalma sonucu ortaya çıkan meslek hastalıkları Türkiye’de meslek hastalıkları sınıflandırmasında *D grubu mesleki bulaşıcı hastalıklar* olarak sınıflandırılmaktadır. Global dünyada yılda 320 bin işçi biyolojik etmenlere bağlı enfeksiyon hastalıkları nedeniyle yaşamını yitirmektedir. Yılda 5000 kişi Avrupa da meslek hastalıkları nedeniyle ölmekte, bu ölümlerin %0,8’i mesleki bulaşıcı hastalıklar nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu ölümlerin %65,21’i sağlık çalışanlarında ortaya çıkmaktadır (Corrao, Mazzotta, La Torre ve De Giusti, 2012). Dünyada biyolojik etmenlere bağlı bildirimler mesleki hastalıkların bildirimleri arasında üçüncü sırada yer almaktadır (Zencir, 2015).

Pandemi ve Epidemiyeye Neden Olan Mesleki Bulaşıcı Hastalıkların Epidemiyolojisine bakarsak;

Son yıllarda meslek bulaşıcı hastalıklar dünyada aşağıdaki hastalıklarla işçi sağlığı gündemine oturmuştur. *DSÖ, SARS salgınında* hastalığa yakalanan 8,098 kişinin 1,707’sinin (%21) sağlık çalışanı olduğunu bildirmiştir. Ülkemizde de Kırım Kongo Kanamalı Ateşi (KKKA) salgını ile işçi sağlığı gündemine oturmuştur (Zencir, 2015). Covid 19 salgınında ise eylül 2020 verilerine göre dünyada 28 milyon insan enfekte olmuş 900bin insan ölmüştür. Bu rakamların çoğunluğunu sağlık çalışanları oluşturmuştur. 7 Nisan 2020 tarihinde İtalyada; 12 bin 680 sağlık çalışanının enfekte olduğu ve 126 sağlık çalışanının SARS-CoV-2 nedeniyle yaşamını yitirdiği bildirilmiştir (Pala ve Metintaş, 2020).

Bu bağlamda çalışmada sağlık çalışanlarında görülen biyolojik tehlikelerin neden olduğu bulaşıcı hastalıklar araştırılmıştır. Çalışmada 3 alt probleme cevap aranmıştır. Bu alt problemler sırasıyla;

1. Mikrobiyoloji laboratuvarında biyolojik ajanların riskini azaltmak için alınan mevcut kontrol önlemleri asgari gereklilikleri karşılamaktadır.
2. Biyolojik ajanlara maruz kalınan laboratuvar uygulamalarında kontrol önlemleri ile risk seviyeleri düşük tutulmaktadır.
3. Biyolojik ajan tehlikeleri riskine karşı mevcut kontrol önlemlerine ek önlemler gerektirmektedir.

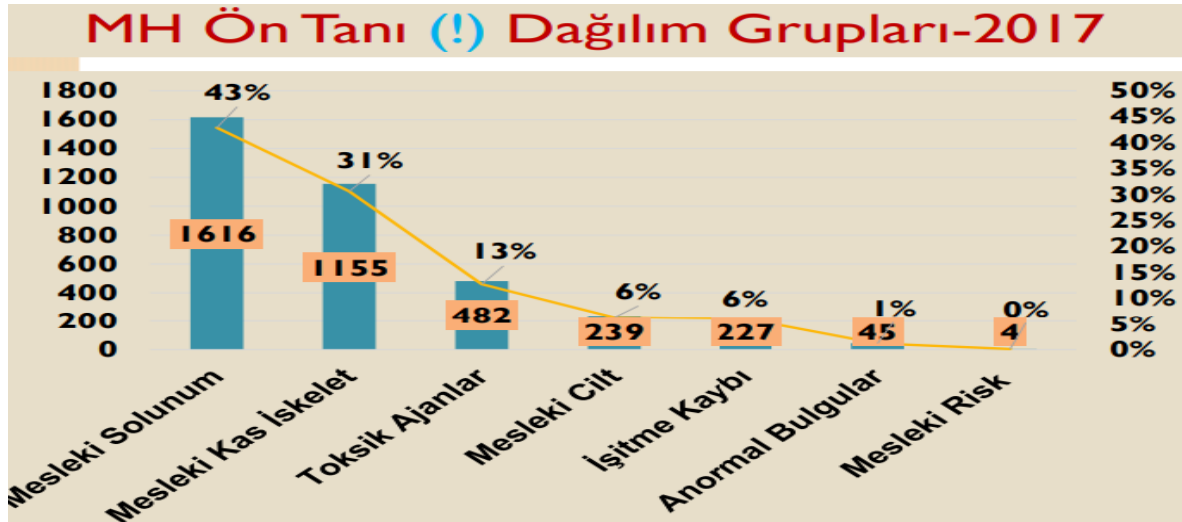
Hastane risk analizlerine örnek olması açısından çalışmada mikrobiyoloji laboratuvarlarının 4×3 matris biyolojik risk analizi tekniği kullanılarak risk analizi yapılmıştır. Böylece D grubu bulaşıcı hastalıklara neden olan biyolojik tehlikelerin proaktif yaklaşımla tespit edilmesi amaçlanmıştır.

2. Hastane Kaynaklı Enfeksiyonlar (Nozokomiyal enfeksiyonlar-HKE) nedir?

Hastaneler enfeksiyöz hastalık kapma riski olan kişileri bir araya getirmektedir. Bu nedenle hastadan personele, personelden hastaya, hastadan hastaya ve personelden personele çapraz bulaşla bu patojenler yayılmaktadır. Avrupa’da HKE’ler incelendiğinde 100.000 ölümün 36.000 pnömoni, 31.000 kan yolu enfeksiyonları, 13.000’i idrar yolu enfeksiyonları 8.000 cerrahi alan enfeksiyonlarıdır. *Staphylococcus aureus, influenza virüs, Escherichia coli ve Klebsiella* hastane kaynaklı patojenlere örnektir. Bu mikroorganizmalar bu ortamlarda ilaç direnci kazanabilmektedir (Madigan, Martinko ve Brock, 2010). Bu nedenle hastanelerde biyolojik risk analizleri yapılarak bu mikroorganizmaların bulaş yolları, risk grupları, patojeniteleri, risk düzeyleri, kontrol önlemleri (mühendislik, yönetsel ve kişisel koruyucu donanımlar) tanımlanmalıdır.

Sağlık çalışanlarında en yaygın mesleki bulaşıcı hastalıklar

Türkiye’de illere göre hastanelere başvuran hastalardaki ön tanı verilerine göre toksik ajanlara bağlı hastalıklar incelenmiştir. Buna göre toksik ajanlara bağlı hastalıklar diğer meslek hastalıklarının %13’ünü oluşturmaktadır (Atlı, 2018). (Şekil1)



Şekil 1. Türkiye’de farklı illerdeki hastanelerde ön tanı sonuçlarına göre meslek hastalıkları oranları (Atlı, 2018).

Türkiye’de sağlık çalışanlarının biyolojik etmenlere bağlı hastalıklar arasında tüberküloz, viral hepatitler, candida enfeksiyonları, kırım kongo kanamalı ateşi, SARS, SARS- CoV-2 (Covid19) başta gelmektedir. Çalışmada birinci bölümde kısaca bu hastalıkların patojenitesi, bulaş yolları, risk grupları, iş sağlığı kapsamında kontrol önlemleri verilmiştir. Sonra hastane nozokomiyal hastalıklarına karşı biyolojik risk analizi örneği verilmiştir. Örnekteki uygulama Laboratuvar Kaynaklı Enfeksiyonlara (LKE) ve Nozokomiyal Hastalıklara (HKE) neden olmaktadır.

2.1. Tüberküloz

Dahiliye doktorları, göğüs hastalıkları, patoloğlar ile diğer laboratuvar çalışanları bu hastalık açısından risk grubundadır (Gieseler, Nelson, Crispen ve Moses 1986’dan aktaran Enginyurt, 2016). Göğüs hastalıkları çalışanlarına yapılan tüberkülin testi sonuçlarına göre göğüs hastalıkları doktorları 7,4 kat daha fazla risk altındadır (Demir, Tuncay, Yentürk ve Konmaz, 2014). Silika maruziyeti olanlarda risk artmaktadır (Berk, Önal ve Güven, 2011). Hastaların tükürük sıvısının etrafa sıçraması sonucu Mycobacterium tuberculosis basilin sağlam kişi tarafından solunmasıyla bulaşmaktadır. Bu basilinin risk düzeyi (RD) 3’ dür. Bir çalışmada ilk 10 Laboratuvar Kaynaklı Enfeksiyon (LKE) etkenleri sıralanmıştır. Bu mikroorganizmalar arasında 199 olguyla Mycobacterium tuberculosis birinci sırada yer almıştır (Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları, 2014). Alınabilecek biyogüvenlik önlemleri tüberküloz hastalarının muayene ve tedavi edildiği yerlerde, bekleme ve gözlem odasında negatif basınçlı havalandırma, ultraviyole mikrop öldürücü ışın, yüksek etkili partikül hava filtresi (HEPA) uygulamalarıdır (Enginyurt, 2016).

2.2. Viral Hepatitler

Kesici-delici yaralanmalarının yaklaşık %11’i laboratuvarlarda gerçekleşmektedir. Bu yaralanmalarda %10-30 hepatit B maruziyeti; %1,5-2,5 hepatit C maruziyeti olmuştur. Laboratuvar çalışanlarının mukoza yoluyla bulaş riski %15,7; deri yoluyla bulaş riski %28, 2 oranında saptanmıştır. Perkütan yaralanmalarda en sık hepatit B, Hepatit C, Hepatit D ve HIV gibi kan yoluyla bulaşan enfeksiyonlar ortaya çıkmaktadır (Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları, 2014). Hepatit A besinlerle, Hepatit E su ile geçmektedir. Ancak Hepatit D hatalı bir virüs olup Hepatit B ile birlikte üremektedir. Hepatit B çoğunlukla karaciğer yetmezliği, hepatit C bulaşan hastaların %85’inde kronik hepatit ve siroz gelişmektedir. Hepatit A karaciğer hasarı bırakmamaktadır (Berk, Ünal, Ergun, Vidinli ve Kaplan, 2015). Hepatit A virüsü risk grubu 2; Hepatit B, C, D virüsü risk grubu 3’tür. Viral hepatitleri önlemede biyogüvenlik önlemlerinin yanı sıra işe giriş ve periyodik muayenelerin yapılması, aşılama, biyolojik izlem ve tarama yapılması sağlanmalıdır (Koruk, Tuncer, Demir, Kara ve Seyhanoglu, 2014).

2.3. Candida albicans, Candida tropicalis

Mikrobiyoloji referans laboratuvarları, geri dönüşüm endüstrisi, lağım işleri, veterinerlik, hayvan besleme, toprak dezenfeksiyonu işlerinde ve nemli ortamlarda çalışanlar *Candida albicans* ve *Candida tropicalis* maruziyeti açısından riskli gruptadır. Bu mikroorganizmalar nozokomiyal kan dolaşımı enfeksiyonlarına, mukoza enfeksiyonlarına, kutanöz enfeksiyonlara, üriner sistem kandidozuna yol açmaktadır. Kişide bağışıklığın zayıflamasıyla birlikte enfeksiyon giriş yolu ortaya çıkmakta ve dermatoz, kronik maserasyon, yaralanma, doku

hasarı oluşmaktadır (Ener, ty.) Bu etkenler grup 2 içinde (A: potansiyel alerjenik etkiler) sınıflandırılmaktadır. Laboratuvar çalışanları enfekte aerosolle bulaş yolunu kesmek için BGD 2 biyogüvenlik düzeyi koşullarında Biyogüvenlik kabini (BGK) altında işlemler yapılmalıdır.

2.4. Kırım kongo kanamalı ateşi (KKKA)

Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi (KKKA), keneler tarafından taşınan Bunyaviridae ailesine bağlı Nairovirüs grubuna ait bir virüsle oluşan ateş, halsizlik, iştahsızlık, kas ağrısı, baş ağrısı, bulantı, kusma, ishal ve ağır vakalarda kanama gibi bulgular ile seyrederek ölümlere neden olabilen zoonotik (hayvanlardan insanlara bulaşan) karakterli bir enfeksiyon hastalığıdır (Sağlığım, ty). Nairovirüslerden Crimean–Congo haemorrhagic fever risk grubu 4'tür (Biyolojik etkenlere maruziyet risklerinin önlenmesi hakkında yönetmelik, 2013). Endemik bölgelerde hastanede çalışan sağlık çalışanları, özellikle ağız, burun, dişeti ve enjeksiyon yerinden kanaması olan hastaların takibi sırasında ciddi risk altındadır. Sağlık çalışanlarına KKKA enfeksiyonu bulaşı ve ölümler, toplumdaki salgınlara paralel olarak bildirilmektedir. Bulgaristan'da 1953 ve 1965 yılları arasındaki salgından sonra %52 ölüm oranıyla 42 nozokomiyal olgu saptanmıştır. Bugüne kadar, Pakistan, Dubai, Irak, Güney Afrika, Arnavutluk, Moritanya, İran ve Türkiye'den sağlık çalışanları arasında mesleki KKKA enfeksiyonu bildirilmiştir. Ayrıca hastalık için tarım çalışanları ve hayvancılık ile uğraşanlar, çobanlar, kasaplar, mezbaha çalışanları, veteriner hekimler risk altındadır. Kırım Kongo Kanamalı Ateşi hastalığı ciddi seyirli durumlarında, vasküler bozukluklar ve kanama gelişmektedir. Enfekte kana maruz kalan sağlık çalışanlarının %8,7'sinde ve iğne yaralanması olanların %33'ünde hastalık gelişmektedir. Perkütan yaralanma en yüksek bulaştırıcılık oranına neden olur (Aktaş, Barlas, Çelebi ve Demirbilek, 2014) Hastanın izolasyonu, sağlık çalışanlarının bilgilendirilmesi ve eğitimi, bariyer önlemlerinin kullanılması ile hastalık kontrol edilmektedir (Türk Tabipler Birliği, 2010).

2.5. SARS (Severe Akut Solunum Sendromu)

Şiddetli akut solunum sendromu, Çin'in Guangdong Eyaletinde 2002 – 2003 yıllarında ilk kez görülen yeni bir enfeksiyon hastalığı olmuş ve salgına yol açmıştır. SARS salgınında 1 Kasım 2002 ile 7 Ağustos 2003 arasında toplam 8422 vaka 916 ölüm meydana gelmiştir. 23 Temmuz 2003 tarihine kadar Hong Kong'da saptanan 1755 vakanın %30 kadarının sağlık çalışanı olduğu bilinmektedir. (Özdemir, 2015). Üç ile yedi gün sonra alt solunum fazı başlamaktadır. Balgamsız, kuru öksürük veya dispne şeklinde başlayıp hipoksemiye kadar uzanabilmektedir. Olguların %10-20'sinde solunum yetmezliği çok ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Entübasyon ve mekanik ventilasyon gerekmektedir (Numanoğlu 2003'ten aktaran Akyol, 2005). Coronaviridae familyasından olan SARS virüsü risk düzeyi 3'tür. Virüsün damlacık ya da direkt ve indirekt temas ile bulaşmaktadır. N-95 maskelerinin yanı sıra koruyucu kıyafet, kep, maske ile eldiven kullanılmalıdır. Tüm personele enfeksiyon kontrol önlemleri ile ilgili eğitim organize edilmelidir (Akyol, 2005).

2.6. SARS- CoV-2 (Covid 19)

Pandemiye neden olan SARS-CoV-2 salgını solunum sistemi hastalığıdır. İlk olarak Çin de Wuhan kentinde baş gösteren bu hastalık %4 sağlık personelinde maruziyete neden olmuştur. (Burdorf, Porru ve Rugulies, 2020). Bu virüsün risk grubu 3'tür. Ateş, öksürük, kas ağrısı ve nefes darlığı ile ortaya çıkan bu hastalık daha kritik hastalarda akut solunum sıkıntısına yol açmakta ve periferik kan lenfositlerinde azalmayla seyretmektedir (de Wit, van Doremalen, Falzarano ve Munster 2016'dan aktaran Chen ve diğ., 2020). Bu hastalık enfekte kişiye dokunarak ya da enfekte olmuş damlacıkların düştüğü yüzeylere dokunarak elin göze ve burun mukozasına teması ile bulaşmaktadır (Morawska 2006'dan aktaran Morawska ve Cao, 2020). Yüzeylere yayılmış aerosoller buralarda günlerce stabil kalabilmektedir (van Doremalen vd., 2020'den aktaran Morawska ve Cao, 2020). Hastanelerde iç mekanlarda virüs partiküllerinin 10 metreye kadar taşınmaktadır. Bu nedenle yeterli havalandırma sağlanmasına özen gösterilmelidir. Çok yüksek riskli pandemi hastanelerinde aerosol üretme prosedürlerinin takip edildiği yerlerde (izolasyon odaları, morglar) negatif basınç havalandırma sistemi yapılmaktadır. Bilinen ve şüphelenilen örnekleri alırken biyogüvenlik 3 (BGD 3) önlemlerini alınmaktadır. Sağlık çalışanları şüphelenilen hastalarla 6 fitten daha yakın mesafede solunum cihazı kullanmalıdır. Solunum maskesi olarak NIOSH onaylı tek kullanımlık N 95 tercih edilmektedir. Diğer güvenlik ekipmanları olarak P 99, P 100 filtreli yüz maskesi respiratörü, yarım yüz veya tam yüz solunum cihazı, HEPA filtreli elektrikli hava temizleme respiratörü (PAPR) ya da hava solunum cihazı önerilmektedir. PAPR veya SAR aerosol üreten (invaziv örnek toplama, çalkalama işlemleri için) işlemler için kullanılmaktadır (Occupational Safety and Health Administration, 2020).

Biyogüvenlik önlemleri: Covid 19 testi olarak bilinen PCR testleri en az biyogüvenlik 2 (BGD 2) şartlarında yapılmalıdır. Bu tekniğin uygulamalarında mikroorganizmaların hedef bölgelerini çoğaltmaya yönelik Nükleik Asit Amplifikasyon tekniklerinin (NAAT) kullanılması çalışan sağlığı ve güvenliği açısından bu laboratuvarlarda çok ciddi problemlere neden olabilmektedir (Sağlık Bakanlığı Sağlıkta Kalite, Akreditasyon ve Çalışan Hakları Daire Başkanlığı, 2020).

1. Mühendislik önlemleri: Moleküler mikrobiyoloji laboratuvarları temiz alan ve kirli alan olarak ayrılmalıdır. Poliklinik, servisler ve dış kurumlardan gelen numunelerin kabulünün yapıldığı numune kabul birimi oluşturulmalıdır. Numune kabul birimi haricinde bu laboratuvarlar birbirinden ayrı ve birbirine içerden geçişi olmayan en az üç farklı oda şeklinde tasarlanmalıdır (Sağlık Bakanlığı Sağlıkta Kalite, Akreditasyon ve Çalışan Hakları Daire Başkanlığı, 2020).

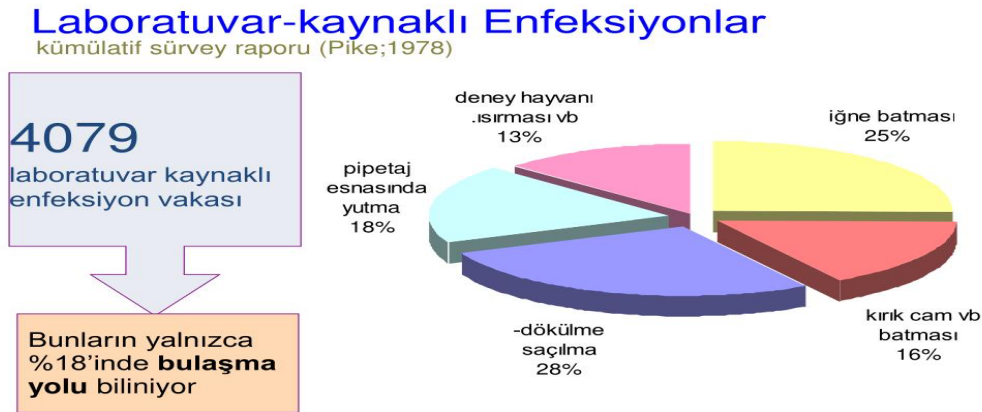
2. Yönetmelik Önlemler: Laboratuvarında biyolojik risk değerlendirmesi yapılmalıdır ve tek yönlü iş akışı uygulanmalı ve numunenin tek yönde işleneceği şekilde planlanmalıdır. Bu amaçla üç oda sistemi uygulanan laboratuvarlarda mümkünse her odada çalışacak laboratuvar teknik personeli ayrılmalıdır.

3. Ortam Kontrolleri: Moleküler Mikrobiyoloji Laboratuvarlarında TS EN ISO 15189 standardına dayalı Kalite Yönetim Sistemi (KYS) kapsamında çapraz kontaminasyonun tespiti için ortam kontrollerinde sekans bazlı 16S rRNA yöntemi önerilmektedir (Güldemir, 2018). Tüm personele biyolojik tehlikelere karşı güncel bilgilerle eğitim verilmesi LKE önlemlerinin anahtarıdır. (Ahmed, Alp, Ulu-Kiliç ve Doğanay, 2015).

Diğer HKE'lerde biyogüvenlik önlemleri: Risk grubu 2 olan mikroorganizmalar (*Hepatit A*, *Candida albicans*, *Candida tropicalis* BGD 2 önlemleri; risk grubu 3 olan mikroorganizmalar (*Hepatit B*, *C*, *D*, *SARS*, *SARS CoV2*, *Nairovirüs* ve *Mycobacterium tuberculosis*) BGD 3 önlemleri alınmalıdır. Risk 3 grubu olan mikroorganizmaların çalışıldığı yerlerde BGD 2 önlemlerine sıkı sıkıya uyulması koşuluyla çalışılabilmektedir. Bu mikroorganizmalara maruziyetin olduğu laboratuvarlarda biyolojik risk analizi yapılırken "biyogüvenlik 2 deneti listeleri" kullanılmaktadır. Çalışmada ekler bölümünde bu deneti listesi verilmiştir.

3. Laboratuvar Kaynaklı Enfeksiyonlar (LKE) nedir?

Laboratuvarında mikrobiyolojik işlemlerden dolayı ortaya çıkan enfeksiyöz aerosollerin ya da deri bütünlüğü bozulmuş deriden kanla bulaş yolu olan mikroorganizmaların enfeksiyon zinciri oluşturması LKE olarak isimlendirilmektedir. Hastane laboratuvarlarında ya da tıbbi laboratuvarlarda doku sıvısı, kan, idrar gibi biyolojik numunelerin kullanılması; aerosol oluşumuna neden olan işlemlerin yapılması, biyolojik tehlike içermesi muhtemel numunelere maruz kalma, amplifikasyon tekniklerin kullanılması nedeniyle biyolojik tehlikeler Laboratuvar Kaynaklı Enfeksiyonlara (LKE) neden olabilmektedir (Güldemir, 2018). *Salmonella spp.*, *Brucella spp.*, *Esheria coli* LKE olarak bildirilmiştir (Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları, 2014). Sulkin ve Pike'in 5.000'den fazla laboratuvarı kapsayan 30 yıllık çalışmasında, toplam 4079 LAI tespit edilmiştir (Şekil 2)



Şekil 2. Hastanelerde LKE oranları (Pike, 1978'den aktaran Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları, 2014)

Patojenite; Kişinin bağışıklık durumu, virülans faktörleri, mikroorganizma sayısına bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir. Mikroorganizma sayısının artırıldığı işlemler laboratuvar ortamlarında enfeksiyon riskini artırmaktadır. Örneğin sağlıklı bir kişide gastroenterit oluşturabilmek için 10^6 *Salmonella spp.* bakterisi yeterlidir. *Salmonella* bakterisinin amplifikasyonunun yapıldığı bir PCR testinde 10^6 'ya ulaşan mikroorganizma sayısı yeterli olmayan biyogüvenlik önlemleri durumunda kişinin bağışıklığına bağlı olarak enfeksiyon ortaya çıkarabilmektedir (Dolapçı, 2016).

Virülans; Patojenite virülansa bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir. Virülans bir mikroorganizmanın hastalık oluşturma yeteneğinin derecesidir. Mikroorganizmanın invazyon kabiliyeti ve toksijenitesi virülansını etkilemektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Enfeksiyon oluşumuna etkili patojene ve konağa ait faktörlerden bazıları

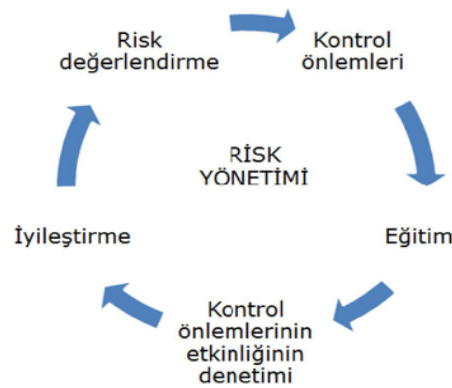
İnvazyon; Bakteri, parazit, mantar veya virüslerin konak hücrelere veya dokulara girişi ve vücutta yayılmasıdır.

Toksijenite; Mikroorganizmanın hastalığın gelişmesine katkısı olan toksin salgılaya yeteneğidir. Yüksek virülansa sahip ajanlar az sayıda olduklarında bile hastalık oluşturabilmektedir (Dolapçı, 2016). Mikroorganizmaların virülansını enfeksiyöz dozu belirlemektedir.

Enfeksiyöz doz (ED); Bir patojenin enfeksiyon oluşturması için gerekli en düşük miktarı ifade etmektedir (Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları, 2014).

Bulaş yolu; Mikroorganizmanın patojenite oluşturmasında mikroorganizmanın giriş kapısı yani bulaş yolu etkilidir. Örneğin şarbona neden olan *Bacillus anthracis* bakterisi insana sindirim yoluyla bulaştığında öldürücü değilken deri yoluyla bulaştığında öldürücü olabilmektedir. Bu nedenle bu bakterinin çoğaltılması sırasında mukozalar yoluyla ve deri yoluyla bulaş yoluna karşı koruyucu önlemlerin alınması için işleme özel biyolojik risk analizi yapılmalı ve güvenlik önlemleri risk analizinde ayrıntılı bir şekilde tanımlanmalıdır (Gül, İssi, ve Baykalır, 2013). BGD 2 güvenlik altyapısına sahip BGD 2 ve sekonder önlemlerle yapılan uygulama çalışanın sağlığını koruyacaktır. Ancak düşük dozda ele ya da mukozaya bulaş olduğunda öldürücü olabilen bu bakteriye karşı deri yoluyla bulaş yolunun kesilmesinin öneminin bilinmesi riski minimuma indirmektedir.

Özete; Bu laboratuvarlarda mikroorganizmalar arasında virülans, invazyon yetenekleri ve toksijenite, aynı mikroorganizmanın bulaş yoluna göre enfeksiyöz dozunun değişkenlik göstermesi mikroorganizma sayısının artırıldığı laboratuvar tekniklerinde standart biyogüvenlik önlemlerinin yanı sıra risk yönetimini ve biyolojik risk analizi yapılmasını kritik hale getirmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Risk Yönetimi (Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları, 2014)

Hastane laboratuvarlarında mikrobiyolojik işlemlerden dolayı (Mikroorganizmaların kültür edilmesi, pasaj, katalaz testi, aglütinasyon testi, PCR testi gibi) ortaya çıkan enfeksiyöz aerosoller LKE'lere neden olmaktadır. Bu laboratuvarlarda risk 1 ve risk 2 grubu mikroorganizmalara karşı BGD 1 ve BGD 2 önlemleri alınmaktadır. Bunun için DSÖ'nün "biyogüvenlik 1 ve biyogüvenlik 2 deneti" listeleri kullanılarak biyolojik risk analizi yapılmaktadır.

LKE'lere ve nazokomiyal hastalıklara neden olan “*Kanalizasyon numunesinden Escherichia coli saf kültür elde etme ve bu kültürün yatık kültürde transfer işlemi ile muhafaza edilmesi*” işlemi sırasında maruz kalınan mikroorganizmalar ve patojenitelerinden aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

3.1. *Salmonella spp.*

Okul laboratuvarlarında mikrobiyolojide temel işlemler dersinde kanalizasyon numunesinden *E. coli* saf kültürü elde etme işlemi sırasında *Salmonella spp.* üremesi bulaş riskine neden olmaktadır. En önemli tehlike ajanın sindirim yoluyla alınmasıdır. *S. typhi* serotipleri kan, idrar gaita numunelerinde bulunur ve tifoya neden olur. *S. Paratyphi* grubu serotipler, paratifo hastalığına neden olmaktadır ve tifodan daha az şiddette belirtiler görülüp yine ateş, baş ağrısı ve karın ağrısı gibi bulgulara rastlanmaktadır (Çalıcıoğlu, 2014'den aktaran Tonbak, Atasever ve Çalıcıoğlu, 2017). Yayımlanmış tüm rapor ve bildirelerde *Salmonellosis*'in laboratuvar ortamı için büyük bir tehlike olduğu bildirilmiştir (Miller, Songer, Sullivan, 1987'den aktaran Şeker ve Yardımcı, 2003). Bu mikroorganizma ile çalışmalarda BGD 2 önlemleri alınmalıdır.

3.2. *Shigella spp.*

Laboratuvarlarda Eosin Metilen Blue (EMB) besiyerine ekimi sırasında *Salmonella* ile birlikte *Shigella* da üremektedir. En önemli tehlike ajanın sindirim yoluyla alınmasıdır. Patojenite ortaya çıkarsa *Shigella*'lar kalın barsak mukoza epitelinde ödem, bol mukus salınması, abseler ve ülserasyonlar meydana getirmektedir. *Shigella dysenteria* türü basilli dizanteriye neden olan primer patojendir. Bu hastalığın ortaya çıkması için 10 adet canlı hücrenin vücuda girmesi yeterlidir. Kramplı karın ağrısı, halsizlik, mide bulantısı, ateş, kanlı mucooid, sulu dışkı semptomları görülmektedir. Hastalık 1-2 hafta sürmektedir (Halkman, 2012). *Shigellosis*'in laboratuvar uygulayıcıları için büyük bir tehlike oluşturduğu raporlarda bildirilmiştir (Miller, vd., 1986'dan aktaran Şeker ve Yardımcı, 2003). Bu bakteri kültürleri ile çalışmalarda BGD 2 önlemleri alınmaktadır (Şeker ve Yardımcı, 2003).

3.3. *Escherichia coli*

E. Coli normal bağırsak florasında hastalık etkisi göstermez iken immün sistemi baskılanmış konaklarda veya bakterinin gastrointestinal bariyeri aşması halinde bu suşlar enfeksiyona yol açmaktadır. Örneğin idrar yolu enfeksiyonları, menenjit, peritonit, mastit, septisemi ve pnömoni ve kadınlarda vajinal enfeksiyonlara neden olmaktadır (Berk, Önal ve Güven, 2011). Laboratuvarlarda Eosin Metilen Blue (EMB) besiyerine ekimi sırasında *Salmonella* ile birlikte *E. coli* de üremektedir. *E. coli* bakterisini ağız yoluyla aldığı anda bakteri kişide patojen etki gösterebilmektedir. Bu durumda kişinin bağışıklık sistemi ve etkenin enfeksiyon dozu ve virülansı kişide oluşan patojeniteyi belirlemektedir (Vila, Sáez-López, Johnson, Römling and Dobrindt, 2016). *E. coli* patojen olmayan suşlarının ağız yolu ile bulaş olduğunda patojeniteye sebep olan enfeksiyöz dozu 10^8 kob/gr 'dir (Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları, 2014). *E. coli* 'nin diğer serotipleri ve *E. coli* 'nin sitotoksin üreten suşları birçok yerde laboratuvar ortamı için büyük bir tehlike olarak bildirilmiştir (Dolapçı, 2016). Bu suşların ağız yolu ile bulaş olduğunda patojenitenin oluşmasında enfeksiyöz dozu 10-100kob/gr dır (Rao, Saunders ve Masterton, 1996). Laboratuvarda patojen *E. coli* suşları üreyecekse dışkı, idrar, kan ve gıda numunelerinde shiga toksin üreten *E. coli* bulunma ihtimaline karşı BGD 2 kurallarını dikkate alınmalıdır (Erol, 2007).

4. İş Güvenliği Kapsamında Biyolojik Tehlikelerin Kontrolünde İşlem Basamakları

4.1. Tehlikelerin Tanımlanması

Bir işyerinde karşılaşılan, biyolojik etken ya da prosesin potansiyel sağlık zararlarının tanımlanması ve izlem programı oluşturulmasıdır. Bu aşamada işyerlerinde muhtemel maruz kalınabilecek biyolojik tehlikelerin (virüs, bakteri, mantar vs.) tahmin edilebiliyorsa, 1. Cins ve türü, 2. Potansiyel sağlık zararları tanımlanmaktadır (Ocaktan, 2020).

4.2. Tehlikelerin Değerlendirilmesi

Biyolojik ajanların tehlikeleri iki adımda değerlendirilmektedir. Önce bulaş yolları sonra risk düzeyi belirlenmektedir. Ortam kontrolleri yapılarak maruziyet düzeyi belirlenmektedir. Enfeksiyöz ajana maruz kalan kişide ajanın yükümlülük süresi içinde laboratuvar testlerinde ajanın tespit edilmesi ile meslek hastalığı olduğu kabul edilmektedir (Eyigün, 2005).

4.3.Tehlikeleri Kontrol Altına Alınması

4.3.1. Mühendislik Önlemleri

Bazı işlem modifikasyonları veya mekanik yapılar gerektirmekte ve kaynaklarında tehlikeli maddelerin kullanımını, üretimini veya salınımını ortadan kaldıran veya azaltan veya kaynak ortadan kaldırmanın mümkün olmadığı durumlarda, mühendislik önlemleri önlemek veya azaltmak için tasarlanmaktadır. Örneğin laboratuvarlarda aerosol riskli işlemler sınırlandırıcı ve önleyici mühendislik önlemi olarak BGK altında yapılmaktadır (Enclopedia of Occupational Safety Health Administration, 2020).

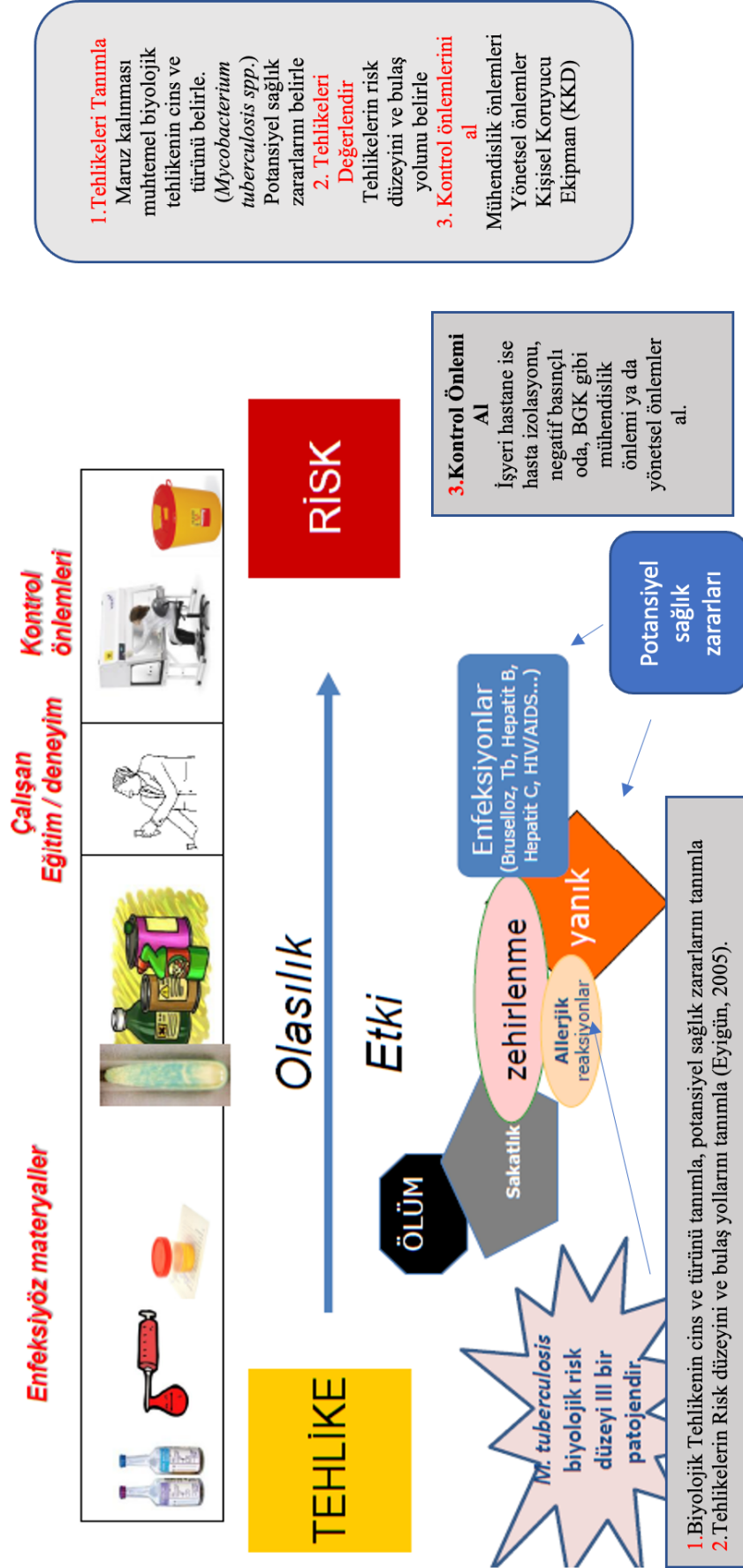
4.3.2. Yönetmelik Önlemler

Maruziyet süresini azaltma, rotasyon, iş dinlenme süresinin ayarlanması, iş planlaması, erişimin sınırlandırılması, dinlenme alanlarının belirlenmesi, yazılı prosedürler geliştirilmesi gibi uygulamalardır (Enclopedia of Occupational Safety Health Administration, 2020).

4.3.3.Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE)

Son olarak, söz konusu zararlı ajanın (ağız, burun, deri, kulak) kritik giriş noktasına, işçiye koruyucu bir bariyer yerleştirilerek yani kişisel koruyucu ekipman kullanılarak mesleki maruziyetten kaçınılabilmektedir. Kişisel koruyucu ekipman kullanımı düşünülmeden önce diğer tüm kontrol olasılıklarının araştırılması gerektiğine dikkat edilmelidir (Enclopedia of Occupational Safety Health Administration, 2020).

Risk değerlendirme



Şekil 5. Risk değerlendirme aşamaları (Encyclopedia of Occupational Safety Health Administration, 2020).

5. Materyal ve Metot

Mikrobiyoloji laboratuvarlarında sağlıklı ve güvenli bir ortam yaratmanın ilk adımı işe başlamadan önce risk değerlendirmesi yapmaktır. Risk değerlendirmesi, laboratuvarında çalışmanın yürütülmesi sırasında mevcut tehlikelerin belirlenmesi, tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilmesi ve sıralanması, bu tehlikelerin riske dönüşmesine neden olan faktörler, kontrol önlemlerinin belirlenmesi için planlanan çalışmaları içermektedir. Biyolojik tehlike riski taşıyan laboratuvarlarda diğer risk modellerinden farklı bir yöntem olan 4×3 biyolojik risk değerlendirme yöntemi uygulanmaktadır (Karabıçak, 2012). Bu makale “Okul Laboratuvarlarındaki Biyolojik Risklerin Değerlendirilmesi ve Farkındalık Düzeylerinin Tespiti, 2019” başlıklı tezden türetilmiştir.

5.1. Biyolojik risk değerlendirmesi (4×3 Matris Modeli)

Çalışmada okul mikrobiyoloji laboratuvarında “Kanalizasyon numunesinden *Escherichia coli* saf kültür elde etme ve bu kültürün yatık kültürde transfer işlemi ile muhafazası” uygulamasının 4×3 matris model biyolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Nitel veri aracı olarak kullanılan Biyolojik Risk Değerlendirme Formu (BRDF) Ulusal Mikrobiyoloji Standartları, Laboratuvar Güvenliği Rehberi’nde yer almaktadır.

BRDF yapılandırılırken; yapılan işlemin adı, işlem sırasında ortaya çıkabilecek biyolojik ajanın cins ve tür adı ve risk grubu, biyogüvenlik düzeyi ve işin yürütüm sırasında mevcut tehlike kontrolü aşama aşama tanımlanmıştır. Tehlikeli bir olayın meydana gelme ihtimali “olasılık değeri” Tablo1 ile sayısallaştırılmıştır. Tehlikenin etki değerleri ise Tablo 2 ile sayısallaştırılmıştır. Risk düzeyinin tespitinde “risk düzeyi belirleme skalası” (Tablo 3) kullanılmıştır. Bu sonuçlar neticesinde riskin kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı ve alınması gereken ek kontrol önlemleri belirlenmiştir.

Riskin gerçekleşme olasılığı uygulayıcıların işlem sırasında söz konusu tehlikeye maruz kalma olasılığıdır. Olasılık mevcut kontrol önlemleri göz önüne alınarak değerlendirilmektedir. Her olasılık için bir değer atfedilmiştir. Atfedilen bu değerler Tablo 1’de verilmiştir. Düşük için (Sıklık <%10) bu değer 1, olası için (sıklık%10-70 arasında) bu değer 2, neredeyse kesin/kesin için (sıklık>%70) bu değer 3’tür.

Tablo 1. Tehlikenin gerçekleşme olasılığı

Olasılık Değeri (OD)	Açıklama	Yüzde (%)
1	<10	Düşük
2	10-70	Olası
3	>70	Neredeyse kesin

Kaynak: T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Başkanlığı Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları Daire Başkanlığı (2014). Ankara.

Tehlike sonuçları ve karşılık gelen etki değerleri tanımlanırken buradaki seçenekler ve bunlara atfedilen etki değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Asemptomatik enfeksiyon ve kolonizasyonla sonuçlanan bulaş “hafif risk” olarak değerlendirilmiştir. Akut veya kronik enfeksiyonlar ile tedavi gerektiren durumlar “orta risk” olarak değerlendirilmiştir. Toksikite /onkojenite /alerji sekelle sonuçlanan hastalık “ağır risk” olarak değerlendirilmiştir. Yaşamsal tehlike ve ölüm “çok ağır risk” olarak değerlendirilmiştir (Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları, 2014)

Tablo 2. Tehlike sonuçları ve karşılık gelen etki değerleri

Etki Değeri (ED)	Kategori	Sonuç
1	Hafif	Asemptomatik enfeksiyon, Kolonizasyon
5	Orta	Akut/Kronik enfeksiyon/ Tedavi gerektiren hastalık
10	Ağır	Toksisite/Onkojenite/alerji/Sekelle sonuçlanan hastalık
20	Çok Ağır	Yaşamsal tehlike-ölüm

Kaynak: T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Başkanlığı Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları Daire Başkanlığı (2014). Ankara.

Risk düzeyi Tablo 3’ de 4×3 matris model skalası kullanılarak belirlenmiştir. Risk düzeyi riskin gerçekleşme olasılığı ve risk etkisinin çarpımına eşittir.

Tablo 3. Risk düzeyi belirleme matrisi

		SONUÇ			
		ED=1 HAFİF	ED=5 ORTA	ED=10 AĞIR	ED=20 ÇOK AĞIR
GERÇEKLEŞME OLASILIĞI	OD=3 KESİN	RD=3 DÜŞÜK	RD=15 YÜKSEK	RD=30 YÜKSEK	RD=60 ÇOK YÜKSEK
	OD=2 OLASI	RD=2 DÜŞÜK	RD=10 ORTA	RD=20 YÜKSEK	RD=40 ÇOK YÜKSEK
	OD=1 DÜŞÜK	RD=1 DÜŞÜK	RD=5 ORTA	RD=10 ORTA	RD=20 YÜKSEK

Kaynak: Ankara T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Başkanlığı Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları Daire Başkanlığı (2014).

Risk düzeyi hesaplama formülü gereği “olasılık × etki” çarpımı ile risk düzeyi belirlenmektedir. Olasılık değeri orta ve yüksekse mevcut kontrol önlemleri yeniden değerlendirilerek eksiklikler giderilmektedir. Etki değerinin yüksek olduğu risklerin oluşmasına neden olan tehlikeler kabul edilemez riskler olduğundan derhal ek kontrol önlemler alınmaktadır. Etki değeri orta düzeyde ise yine riski oluşturan tehlikeleri minimuma indirmek için eksik mevcut önlemleri tamamlanmakta ve ilave kontrol önlemleri alınmaktadır (Irmak, Yardım ve Temel, 2019).

6. Bulgular ve yorum

Araştırmada nitel araştırma yöntemi kullanılmış mülakat ve gözlem yoluyla veriler toplanmıştır. Evren Türkiye ‘de laboratuvar hizmetleri alanında eğitim veren 15 Mesleki Teknik Anadolu Lisesinin mikrobiyoloji laboratuvarlarıdır. Nitel araştırmalarda büyük gruplar yerine, detaylı veri sunabilecek örneklemelerin belirlenmesi gereklidir. Amaç belirli alt grupları belirleyerek karşılaştırmaları ve analizi kolaylaştırmaktır (Baltacı, 2018). Araştırmanın örneklemini yerleşik bir Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi mikrobiyoloji laboratuvarı oluşturmuştur. Nitel veri toplama aracı olarak 4 laboratuvar şefine 3 ayrı yapılandırılmış mülakat formu uygulanmıştır. Katılımlı gözlem ve yapılandırılmamış gözlem yoluyla ilk aşamada laboratuvarların mevcut biyogüvenlik durumu araştırılmıştır. Sonra laboratuvar uygulaması sırasında maruz kalınan biyolojik ajanların mevcut biyogüvenlik önlemleri dahilinde ortaya çıkardığı risk düzeyi tanımlanmıştır.

Yapılandırılmış görüşme formları ve gözlem sonuçları

Araştırmada örneklem grubunu oluşturan 4 laboratuvar şefi olarak görev yapan öğretmenlere yapılandırılmış görüşme tekniği 4 adımda uygulanmıştır.

- Biyogüvenlik Düzeyleri Deneti Listesi (Biyogüvenlik Düzeyi 1 ve Biyogüvenlik Düzeyi 2 deneti listesi) cevaplatılmıştır.
- OSHA’nın “Risk Assessment For Biological Agents General Check List” kullanılarak check-listteki sorular cevaplatılmıştır.
- Yapılandırılmamış gözlem tekniği kullanılarak alan şeflerinin refakati ile mikrobiyoloji laboratuvarı gezilerek laboratuvarın fiziksel alt yapısı ve uyarıcı işaret ve levhalar dikkate alınarak gözlem sonuçları not alınmıştır.
- “Besinlerde koliform bakteri aranması” modülü işlenirken ders öğretmenleriyle birlikte derse katılım sağlanmış ve o andaki gözlemler not alınmıştır.

Deneyin Uygulanması;

İşlemler sırasıyla şöyledir; Kanalizasyon numunesinden elde edilmiş karışık kültürden *E. coli* saf kültürü elde edilmiştir. Bunun için karışık kültürdeki *E. coli* kolonisinden öze ile bir parça alınmış, sürme tekniği ile petri kutusuna ekim yapılmıştır. 37 derecede 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Tekrar *E. coli* kolonisinden sıvı besiyerine ekim yapılmıştır. 37 derecede 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Oluşan yeni kültürden EMB agar besiyerine ekim yapılmış, inkübe edilerek saf kültür elde edilmiştir. Saf kültürden öze ile örnek alınarak nutrient agar yatık besiyerinin yüzeyine ekim yapılmıştır. 37 derecede inkübasyona götürülmüştür. Agar yüzeyinde koloniler görüldüğünde inkübasyon sonlandırılmıştır. Elde edilen stok kültür 0 ile 40 C’de soğutucuda muhafaza edilmiştir. İlk kanalizasyon suyundan alınan karışık kültürde *Salmonella* ve *Shigella* üremektedir.

6.1. Mikrobiyoloji laboratuvarında biyolojik ajanların riskini azaltmak için alınan mevcut kontrol önlemleri asgari gereklilikleri karşılamaktadır.

Çalışmada deneti listeleri, biyolojik ajan değerlendirme formu ve gözlem yoluyla ile laboratuvara ait tespit edilen mevcut kontrol önlemleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Bunlardan Tablo 4’te mevcut mühendislik önlemleri, mevcut yönetsel önlemler, mevcut kişisel koruyucu donanımlar verilmiştir.

Tablo 4. Mikrobiyoloji Laboratuvarında Mevcut Yönetmelik, Mühendislik ve Kişisel Koruyucu Donanımlar

No	Mevcut Tehlike Kontrolünde Mühendislik ve KKD Önlemleri	ML	No	Mevcut Tehlike Kontrolünde Yönetmelik Önlemleri	ML
1	Laboratuvarın bir kapısı bulunmaktadır	+	1	Laboratuvarda yemeye, içmeye, makyaj yapmaya, gıda muhafaza edilmesine izin verilmemektedir.	+
2	Laboratuvar 2 kısımdan oluşmaktadır	+	2	Ağızla pipetleme kesinlikle yapılmamakta, bunun için pipetleme yardımcılar kullanılmaktadır.	+
3	El yıkamak için çıkışa yakın lavabo vardır.	-	3	Kesici-delici cisimlerin (iğne uçları, bistüriler, lam, pipetler ve kırık cam malzeme, vb.) güvenli kullanımını için uygun politikalar geliştirilmiş ve uygulanmaktadır.	+
4	Biyogüvenlik kabini bulunmaktadır. Yıllık bakımları yapılmamaktadır. Çalışır durumda değildir.	+	4	Sıçrama ve/veya aerosollerini en aza indirecek prosedürler çoğunlukla uygulanmaktadır. Pipet yardımcılar kullanılmaktadır.	+
5	Laboratuvar fiziksel yapı olarak laboratuvar biyogüvenlik 1 fiziksel altyapısına sahiptir. Açık banko sistemi dediğimiz altı dolaplı tezgahlarda uygulamalar yapılmaktadır. Bunsen beki alevi masalarda 1 adettir.	+	5	Çalışma tezgahlarının yüzeyleri iş bittikten sonra ve potansiyel olarak enfeksiyöz materyalle dökülme-saçılma durumlarında uygun dezenfektanlarla dekontamine edilmektedir.	+
6	Tezgağın başında lavabo bulunmaktadır. Lavabolar oldukça küçüktür.	+	6	Laboratuvar ekipmanları düzenli olarak bakım-onarım öncesinde ve sıçrama durumunda uygun dezenfektanlarla dekontamine edilmektedir.	+
7	Banko yüzeyleri su geçirmez özellikli, ısıya, organik çözücülere, asitlere, alkalilere ve diğer kimyasallara dayanıklıdır. Laboratuvar alanları kolay temizlenebilecek (halı kilim yok, oturma yüzeyler tekstil değil) biçimde tasarlanmıştır.	+	7	Kültürler, stoklar ve diğer enfeksiyöz materyal atılmadan önce dekontamine edildikten sonra atılmaktadır. Fakat atıkların bertaraf tesislerine gönderilmesine yönelik uygun politikalar izlenmemektedir.	+/-
8		+	8	Laboratuvar girişinde biyotehlike işareti yanısıra laboratuvarın biyogüvenlik düzeyini, sorumlu kişinin adı ve iletişim bilgilerimi, laboratuvara giriş çıkış gerekliliklerini gösteren bir uyarı levhası vardır.	+
9	Çeker ocak bulunmakta fakat bakımları düzenli yapılmaktadır.	-	9	Laboratuvarın genel temizliği yetersizdir. Sineklerin dolaştığı hijyen açısından oldukça yetersiz bir ortam bulunmaktadır. Dolapların içleri düzensizdir. Kimyasal malzemeler ortalıkta bulunmaktadır.	+/-
10	Laboratuvarda uygun aralıklarla hava değişimi (örneğin 6-12 değişim/saat) sağlanmamaktadır.	-	10	Cihazların bulunduğu tezgâh duvarında bulunması gereken kullanma talimatları bulunmamaktadır.	+/-
11	Santrifujlerin kapaklı güvenlik kapları/taşıyıcıları veya güvenlik rotorları vardır, kaplar BGK içinde açılmaktadır.	-	11	Atıkların uzaklaştırılması, sterilizasyon, dezenfeksiyon konularına ağırlık verilmektedir. Fakat detaylı risk değerlendirme verilerine dayalı politika ve prosedürleri içeren bir laboratuvar güvenlik el kitabı bulunmamaktadır.	+/-
12	Önerilmeyen dışarı açılan pencereleri bulunmaktadır. Bu durumda bu pencerelerde bulunması gereken sineklik bulunmaktadır.	-	12	İlkyardım dolabı, acil kaçış planı, sıvı sabunluk, göz duşu bulunmaktadır. Fakat laboratuvarda ilkyarımdan sorumlu bir kişi bulunmamaktadır.	+/-

13	Biyogüvenlik kabini bulunmamaktadır. Çalışır durumda değildir.	Yıllık bakımları	+	13	Laboratuvar atıkları 3 ayrı kategoride toplanmaktadır. Bunlar kimyasal atık kabı, kesici delici atık kabı ve biyolojik atık kabıdır.	+/-
14	Çalışanlar önlük, eldiven, gözlük gibi kişisel koruyucu donanıma kolaylıkla ulaşabilmekte ve kullanmaktadır		+	14	Laboratuvar uygulamaları sırasında hayvan ve insan vücut sıvıları, katı ve sıvı atıklar, toprak, yem, gıda ve bitkilerle direkt temas vardır. Klinik biyokimya uygulamaları, histoloji, parazitoloji dersi modül uygulamaları da mikrobiyoloji laboratuvarında yapılmaktadır. Dolayısıyla çalışma faaliyetleri sırasında numune olarak gıda dışında numuneler de kullanılmaktadır.	+/-
15	Kişisel koruyucu donanım laboratuvardan ayrılrken çıkarılmaktadır (BGD2)		+	15	Yapılan işle ilgili olmayan her türlü hayvan ve bitki laboratuvara sokulmamaktadır.	+
				16	Yönetim ve çalışanların risklerin enfeksiyon zinciri, bulaş yolları ve risklerin patojeniteleri hakkında bilgisi bulunmamaktadır.	+
				17	Çalışanlar iş kazası olduğunda ya da ilkyardım ihtiyacı olduğunda, sıçrama dökülme olduğunda nasıl kontrol edebileceklerini biliyorlar.	+

Tablo 4. Deneti listeleri ve Biyolojik Ajan Değerlendirme Formu Sonuçlarına Göre Mikrobiyoloji Laboratuvarlarının Mevcut Tehlike Kontrolünde Mühendislik, KKD ve Yönetimsel Önlemler. ML=mikrobiyoloji laboratuvarı, KKD= kişisel koruyucu donanım, += var, - = yok, +/-= bir kısmı var, bir kısmı yok

Tablo 4'e göre banko yüzeyleri su geçirmez özellikte, kimyasallara ve ısıya dayanıklıdır. Bir kapıları bulunmaktadır. Laboratuvar duvarları ve yerler kolay temizlenebilecek özelliktedir. Mikrobiyoloji laboratuvarlarında standart mikrobiyoloji uygulamalarının çoğu uygulanmaktadır. Laboratuvarda mevcut kişisel koruyucu donanım olarak eldiven ve önlük kullanılmaktadır. Bu verilere göre, mikrobiyoloji laboratuvarının biyogüvenlik standartlarına göre mevcut kontrol önlemleri minimum koşulları sağlamaktadır.

6.2. Biyolojik ajanlara maruz kalınan laboratuvar uygulamalarında kontrol önlemleri ile risk seviyeleri düşük tutulur.

Okulun mikrobiyoloji laboratuvarlarında “Kanalizasyon numunesinden *Escherichia coli* saf kültür elde etme ve bu kültürün yatık kültürde transfer işlemi ile muhafaza edilmesi” uygulamasının BRDF kullanılarak biyolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Söz konusu uygulamanın biyolojik risk değerlendirmesi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kanalizasyon numunesinden Escherichia coli saf kùltür elde etme ve bu kùltürün yatık kùltürde transfer işlemleri ile muhafaza edilmesi

İşlem No:1	
TEHLİKELERİN BULAŞ YOLLARI	
1. Aerosollerle bulaş (Orta risk)	2. Sıçrama yoluyla mukoza teması (Orta risk)
3. Mukozalara doğrudan temas yoluyla bulaş (Orta risk)	4. Deriye doğrudan temas yoluyla bulaş (Orta risk)
5. Yutma yoluyla bulaş (Orta risk)	6. Perkütan yaralanma (Düşük risk)
İŞLEM SİRASINDA MARUZ KALINABİLECEK BİYOLOJİK TEHLİKELER	
1. <i>Salmonella sp.</i> (RG2)	2. <i>E. coli</i> (RG2)
MEVCUT TEHLİKE KONTROLÜ	
1. Tehlike için Mevcut Tehlike kontrolü	2. Tehlike için Mevcut Tehlike Kontrolü
Önlük	Önlük
Eldiven	Eldiven
Kescici-delici atık kabı	Kescici-delici atık kabı
Standart mikrobiyolojik uygulamalar ve yazılı prosedürler	Standart mikrobiyolojik uygulamalar ve yazılı prosedürler
İlkyardım olanağı	İlkyardım olanağı
BİYOGÜVENLİK DÜZEYİ	
1. Tehlike için Mevcut Biyogüvenlik Düzeyi	2. Tehlike için Mevcut Biyogüvenlik Düzeyi
BSL1	BSL1
1. Tehlike için Gerekli Biyogüvenlik Düzeyi	2. Tehlike için Gerekli Biyogüvenlik Düzeyi
BSL2	BSL2
TEHLİKENİN GERÇEKLEŞME OLASILIĞI	
1. Tehlike için Olası (2 puan)	2. Tehlike için Olası (2 puan)
TEHLİKE GERÇEKLEŞİRSE BEKLENEN SONUÇLAR	
1. Tehlike için Akut/Kronik enfeksiyon, tedavi gerektiren hastalık (5puan)	2. Tehlike için Akut/Kronik enfeksiyon, tedavi gerektiren hastalık (5puan)
3. Tehlike için Akut/Kronik enfeksiyon, tedavi gerektiren hastalık (5puan)	3. Tehlike için Akut/Kronik enfeksiyon, tedavi gerektiren hastalık (5puan)

Tablo 5 (devam) Uygulama İçin Biyolojik Risk Değerlendirme Formu (BRDF) İşlemin Tanımı: Kanalizasyon numunesinden Escherichia coli saf kültür elde etme ve bu kültürün yatak kültürde transfer işlemi ile muhafaza edilmesi

RİSK DEĞERLENDİRME	
RİSK DÜZEYİ (OLASILIK, SONUÇLAR)	
<i>1. Tehlike İçin</i>	<i>3. Tehlike İçin</i>
Orta risk (5-10)	Orta risk (5-10)
EK ÖNLEMLER	
<i>1. Tehlike İçin Ek Önlemler</i>	<i>3. Tehlike İçin Ek Önlemler</i>
KKD	KKD
Yüz siperi	Yüz siperi
Gözlük	Gözlük
Cerrahi maske	Cerrahi maske
Partikül filtreli maske	Partikül filtreli maske
Önü kapalı önlük	Önü kapalı önlük
N95 maske	N95 maske
MÜHENDİSLİK	MÜHENDİSLİK
Biyogüvenlik kabini	Biyogüvenlik kabini
Güvenlik siperi	Güvenlik siperi
Tek yönlü havalandırma	Tek yönlü havalandırma
YÖNETSEL	YÖNETSEL
Biyogüvenlik eğitimi	Biyogüvenlik eğitimi
İşleme Yönelik Eğitim	İşleme Yönelik Eğitim
Atık yönetimi ve dekontaminasyon prosedürleri	Atık yönetimi ve dekontaminasyon prosedürleri
Dökülme- saçılma kiti	Dökülme- saçılma kiti
Biyogüvenlik önlemleri ile ilgili yazılı prosedürler	biyogüvenlik önlemleri ile ilgili yazılı prosedürler
YORUM: Tehlike olasılığının “olası” çıkması mevcut önlemlerin düzeltici önlemlerle düzeltilmesini; tehlike etkisinin tedavi gerektiren hastalık çıkması korunma önlemlerinin (bağışıklığın güçlü tutulması, aşı yaptırılması, kişisel temizliğe dikkat edilmesi) Risk düzeyinin orta çıkması önlemlerin minimum düzeyde alındığını gösterir ve diğer düzeltici önlemlerin alınmasını sağlayan risk yönetim programının okulda uygulanmasını gerektirir	

Numune olarak çevrenin kullanılması, stok kültür hazırlanması işlemleri yüksek bulaş riski olan işlemlerdir ve Amerika'da bu işlemler Utah Üniversitesinden izin alınmasını gerektirmektedir (University of Utah, 2018). Pasaj işlemleri, aerosol riski ve sıçrama riski yüksek işlemlerdir. İşlemler sırasında sıçrama yoluyla bulaş riski olabilmektedir. *E. coli*'nin O157H7 serotipleri risk grubu 3' dür. Sıçrama olmuş dekontamine edilmemiş bir yüzeye dokunduktan sonra elin ağza götürülmesi ile yutma yoluyla bulaş olabilmektedir. Kontamine yüzeye elle yapılan tek bir temas sonrasında *E. coli*, *Salmonella* sp bakterilerin %100'e varan oranlarda ele bulaştıkları görülmektedir. *E. coli* bakterisinin yüzeyde canlı kalma süresi 1,5 saat ile 16 ay arasında değişmektedir. *Salmonella* spp'nin yüzeyde canlı kalma süresi 1 gün ile 4,2 yıl değişmektedir. *Shigella* sp'nin yüzeyde canlı kalma süresi 2 günle 5 ay arasında değişmektedir (Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları Dairesi Başkanlığı, 2014). Bu yüzden bu mikroorganizmaların bulaş yolları; aerosol yoluyla bulaş, mukoza ve deriye doğrudan bulaş, sıçrama yoluyla mukoza teması ve yutma yoluyla bulaş olarak tanımlanmıştır. Mevcut kontrol önlemleri; önlük, eldiven, kesici delici alet kabı bulundurma ve ilkyardım olanağının bulunması, standart mikrobiyoloji uygulamaları olarak tanımlanmıştır. Açık banko üzerinde bek alevi altında işlemler yapılmaktadır. Standart mikrobiyoloji uygulamalarında kişisel koruyucu donanımlarda ve mühendislik önlemlerde eksiklikler tanımlanmıştır. Bu eksiklere ilaveten laboratuvar giriş çıkışının sınırlı olmaması, işlem bazında biyolojik tehlikeler ve risk düzeyleri hakkında eğitim almamış olması, haşere kontrol programı eksikliği olarak tanımlanmıştır. BGK kullanılmaması, çıkışa yakın el yıkama lavabosu olmaması eksik mühendislik önlemleridir. Bu işlemlerde aerosolize olma riski olası işlemler BGK altında yapılmaması ve diğer önlemlerin yetersiz olmasından dolayı tehlike gerçekleşme olasılığı "2 (olası) olarak değerlendirilmiştir. *E. coli* bakterilerinin tehlikeli suşları bağırsaklarda toksijenik etki göstermektedir. Bu suşların virülansı çok yüksek ve minimal enfeksiyon dozu düşüktür. 10-200kob/g enfeksiyon dozu hastalığı oluşturmada yeterli olmaktadır. Sulu ve kanlı diyareye neden olmaktadır. *Salmonella* ve Shiga toksinleri sulu diyareye neden olmaktadır. Her üç bakteri de laboratuvar enfeksiyon etkeni olarak bildirilmiştir. Tehlike gerçekleşirse beklenen sonuçlar "Akut/Kronik Enfeksiyon-Tedavi gerektiren hastalık (5 puan)" olarak değerlendirilmiştir. Risk düzeyi, 4×3 risk düzeyi belirleme matrisinde (Tablo5)'de 2×5=10 olarak "orta risk" düzeyi ile tanımlanmıştır. BGD 1 düzeyinde eksiksiz standart mikrobiyoloji uygulamaları ve BGK altında çalışılabilmektedir. Tehlike düzeyini düşürmek için alınması gereken ek önlemler formda tanımlanmıştır.

6.3. Biyolojik ajan tehlikeleri riskine karşı mevcut kontrol önlemlerine ek önlemler gerektirir

Eğitim laboratuvarlarının laboratuvar tasarımları BGD1 düzeyindedir. Bu biyogüvenlik düzeyinde açık banko sistemi tezgahlar, kolay temizlenebilen ve dayanıklı çalışma yüzeyleri, ayrı kapısı olan, el yıkama için ayrı lavaboların bulunduğu tasarıma sahiptir. Risk grubu 1 mikroorganizmaların çalışıldığı temel seviyedeki laboratuvarlardır. Ancak bu laboratuvarlarda risk grubu 2 mikroorganizmalarla çalışılmaktadır. Bu nedenle laboratuvar BGD1 önlemlerinin yanı sıra alınması gereken ilave önlemler tanımlanmalıdır. Bu bağlamda alınması gereken önlemler aşağıda sıralanmıştır.

6.3.1. Ek mühendislik önlemleri

- (1) Mikrobiyoloji laboratuvarının çıkışına yakın lavabo yaptırılmalıdır (BGD 1 standardı).
- (2) Laboratuvar da dışarı açılan pencerelere sineklik yaptırılmalıdır (BGD 1 standardı).
- (3) Santrifüjlerin güvenli rotoları veya kapaklı güvenlik kapları vardır. Bu kaplar BGK içinde açılmasına dikkat edilmelidir (BGD 2 standardı).
- (4) Aerosol riskli işlemler BGK içerisinde yapılmalı, BGK'ların yıllık sertifikasyonu yaptırılmalıdır (BGD 2 standardı) (Arduino, Arndt, Bailin, Richard, Baumann ve Bradbury 2020).

6.3.2. Ek yönetsel önlemler

- (1) Laboratuvar da etkin bir haşere kontrol programı yürütülmelidir (BGD1 standardı).
- (2) Laboratuvar da çalışanları tehlikelerle temasın önlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik eğitim almalıdır (BGD 1 standardı).
- (3) Enfektif materyale maruziyet durumları yetkililere bildirilmeli ve gerekli tedavi olanakları sağlanmalıdır (BGD 1 standardı).
- (4) Laboratuvar güvenliği ve analizlere hazırlık modülünde laboratuvar temizliği, dezenfeksiyon, sterilizasyon ders içerikleri derslerde işlenmektedir. Ancak laboratuvar biyogüvenliği standartlarını ve biyolojik risk değerlendirme prosedürleri içeren güvenlik el kitabı bulunmalıdır (BGD 2 standardı).
- (5) Çalışanlar ve öğrenciler ders bitiminde kişisel koruyucu donanımlarını laboratuvar da bırakmalıdır (BGD 2 standardı).
- (6) Atık yönetimi uygulanmalıdır (BGD 2 standardı)

- (7) İşlemler sırasında aerosol riskli işlemleri azaltıcı prosedürlerin tamamı uygulanmalıdır (BGD 1 standardı). (Arduino, Arndt, Bailin, Richard, Baumann, Bradbury 2020).

6.3.3. Ek kişisel koruyucu donanımlar (KKD)

- (1) Gözlük, cerrahi maske, yüz siperi, partikül filtreli maske kullanılmalıdır. Önlüklerin düğmeleri iliklenmelidir (BGD 1 standardı).
- (2) Kişisel temizliğe ve el yıkama kurallarına dikkat edilmelidir. Laboratuvar önlüğü laboratuvarda bırakılmamalıdır (BGD 1 standardı) (Arduino, Arndt, Bailin, Richard, Baumann, Bradbury 2020).

7. Sonuçlar

7.1. Mikrobiyoloji Laboratuvarının uygulamaları sırasında biyolojik tehlikelerin sebeb olabileceği risk düzeyi orta düzeydedir

Okul laboratuvarlarında alınan standart mikrobiyoloji uygulamalar (yönetmelik önlemler), laboratuvar tasarımı (mühendislik önlemler) ve kişisel koruyucu donanımlarda bazı eksikliklerin bulunması biyolojik tehlikelerin bulaş olasılığının %10-70 olmasına neden olmaktadır. Uygulamalar sırasında risk 2 grubu mikroorganizmalarla çalışılmasından dolayı tehlikenin etkisi “akut/kronik enfeksiyon (tedavi gerektiren hastalık) veya toksisite, onkojenite, alerji” olarak tanımlanmıştır. Risk düzeyinin orta çıkması okulda önlemlerin minimum düzeyde alındığını ve diğer düzeltici önlemlerin alınmasını sağlayan risk yönetim programının uygulanmasına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır. Bu önlemler içerisinde en önemlisi biyogüvenlik eğitimi, işleme yönelik eğitim planlaması, biyolojik risk analizine bağlı güvenlik el kitabının yazılmasıdır.

7.2. Ortaöğretim İçerisinde Yer Alan Mesleki ve Teknik Eğitim Liselerinde Biyolojik Ajan Riskini Azaltmak İçin Alınan Mevcut Kontrol Önlemleri Minimum Koşulları Sağlamaktadır.

Uygulamalar sırasında eksik mühendislik önlemleri (BGK kullanılmaması), eksik yönetsel uygulamalar (aerosol azaltıcı uygulamalarda, genel temizlikte yetersizlikler) ve eksik KKD yüzünden biyolojik risk analizlerinde tehlike olasılığı %10-%70 arasında “olası” olarak tanımlanmıştır. Bu önlemleri eksiksiz yerine getirerek tehlike olasılığı %10’un altına düşürülmelidir.

7.3. Biyolojik ajanlara maruz kalınan laboratuvar uygulamalarında kontrol önlemleriyle risk düzeyinin düşürülmesi sağlanmamaktadır

Mevcut kontrol önlemleri minimum koşulları sağlanmasından dolayı tehlike olasılığı %10-%70 arasında tanımlanmıştır. *E. coli* bakterilerinin tehlikeli suşları bağırsaklarda toksijenik etki göstermekte, Salmonella ve Shiga toksinleri sulu diyareye neden olmaktadır. Bu nedenle tehlike etkisi “tedavi gerektiren hastalık” olarak tanımlanmıştır. Bu işlemin risk düzeyi “orta” düzeydedir. Bu nedenle kontrol önlemlerinin optimum düzeye çıkarılmasına ve öğrenci ve öğretmenlerin bağışıklığını güçlü tutacak önlemler alınmasına, aşı yaptırılmasına, kişisel hijyenine dikkat etmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

7.4. Biyolojik Ajan Tehlike Riskine Karşı Mevcut Kontrol Önlemlerine İlave Tedbirler Gerektirmektedir

Laboratuvar risk düzeyinin “orta” olarak belirlenmesi riskleri minimize etmek için ek kontrol önlemlere ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur. Araştırmada laboratuvar mühendislik önlemleri açısından BGD 1 tasarımının yeterli olması için çıkışa yakın lavabo yaptırılması ve pencerelere sineklik taktırılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Risk 2 grup mikroorganizmalarla çalışıldığından BGD 1 tasarımlarına ilave BGD 2 tasarımları yaptırılabilir. Bunlar çift kapı, HEPA filtre ile vakum koruma hatları, tek yönlü havalandırma tasarımlarıdır. BGD 1 laboratuvarında risk 2 grup mikroorganizmalarla stok kültür hazırlama işlemleri için BGD 2 koşulları sağlanmalıdır. Aerosol oluşturacak manipülasyonlar BGK altında, standart mikrobiyoloji uygulamalarına eksiksiz uyularak yapılmalıdır.

Sıçrama riskini azaltmak için eldiven ve önlükle birlikte maske ve gözlük kullanılarak işlemler yapılmalıdır. Örneğin pipet yerine mikropipet ve aerosol filtreli pipet uçları kullanılmalıdır. Öze yerine insineratörler tercih edilmelidir. İnsineratör yoksa tek kullanımlık özeler kullanılmalıdır. Enfektif aerosol riski olan santrifüjleme işlemlerinde güvenlik kapağı olan rotorları kullanılmalı ve BGK kullanılmalıdır. Boyama sırasında, preparat fiksasyonu gibi aerosol riski yüksek uygulamalarda lam ısıtıcıları kullanılmalıdır. Cam malzemeler yerine plastik olanları tercih edilmelidir.

8. Tartışma

Biyolojik ajan riski taşıyan okul laboratuvarlarında su, gıda, toprak ve hava numuneleri yerine çevre örnekleri ya da kan, gaita numuneleri tercih edilmemelidir.

Ayrıca BGD 1 düzeyinde çalışılabilecek mikroorganizmalar *Citrobacter*, *E. coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*'dir. Bu bakterilerin açık banko sisteminde "kültür, saf kültür, izolasyon ve sayım" işlemleri yapılabilmektedir. Bu işlemler standart mikrobiyoloji uygulamaları eksiksiz yerine getirildiği takdirde açık banko sisteminde yapılabilmektedir. Amaç eğitim laboratuvarlarında saf kültür hazırlamaksa daha masum mikroorganizmalarla çalışılmalıdır (University of Utah, 2018). Numune seçimi eğitim laboratuvarında riski azaltan faktörlerdendir.

İşlem sırasında maruz kalınan tehlike ve kontrol önlemlerine yönelik uzman kişilerce eğitimler organize edilmelidir. Öğrenci ve öğretmenlerin sağlık kayıtları tutulmalı, aşı takibi yaptırılmalıdır. Güvenli davranış modellerini içeren, uygulamalar işlem basamakları uygulanırken öğrencilere uygulanmalıdır (1. basamak önlük giyilmeli, eldiven takılmalıdır; 2. basamak 15 dakika önce çalıştırılan BGK altında petri kabından tek kullanımlık öze ile *E. coli* kolonisinden örnek dikkatlice alınmalıdır).

Her bir modül uygulamasının ayrı biyolojik risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Alınması gereken kontrol önlemler tespit edilerek yönetime, öğretmenlere, öğrencilere ve laboratuvar çalışanlarına, temizlik çalışanlarına, mikrobiyologlara düşen sorumluluklar belirlenmeli; her uygulamaya dönük risk değerlendirmesine dayalı laboratuvar güvenliği el kitabı çıkartılmalıdır. Çalışanlara ve öğrencilere numune ile uygulama yaptırmadan önce işlem basamakları güvenli davranış modelleriyle uygulanmalıdır. Tüm uygulayıcılara her uygulamadan önce risk değerlendirmesine bağlı ortaya çıkan tehlike, bulaş yolları, kontrol önlemleri ve risk düzeyleri konularında eğitim verilmeli ve tutanak altına alınmalıdır. Stok kültür hazırlanır ya da transfer edilirse biyotehlike olduğundan, büyük kültürler kullanılıyorsa biyokabin kullanılması ya da aerosol azaltıcı prosedürlerin takip edilmesi sağlanmalıdır. Antibiyotik dirençlilik suşları geliştiren mikroorganizmalar eğitim laboratuvarlarında kullanılmamalıdır; 6 mikroorganizma (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumonia*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, and species of *Enterobacter*) ciddi hastalıklara neden olduğundan, bu mikroorganizmalardan uzak durulmalıdır (National Institutes of Health 2019).

Araştırmada uygulanan mülakat ve risk analizi sonucundan anlaşılacağı üzere, laboratuvar ortamlarında biyolojik risklere maruziyet ve kazalar olasıdır. Bu maruziyetten kaçınmak için Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı ile Sağlık Bakanlığı arasında iş birliği yapması ve iş sağlığı güvenliği politikaları içerisinde hastane ve eğitim laboratuvarlarının biyogüvenliği konularına yer vermesi önemlidir. Türkiye hastane ve eğitim laboratuvarlarında biyolojik tehlikelere karşı proaktif yaklaşımla biyolojik risk değerlendirmesine dayanan biyogüvenlik kılavuzlarının çıkarılması bir ihtiyaç haline gelmiştir. Biyogüvenlik kapsamında kullanılacak numunelerin, uygulanabilecek işlemlerin sınırlandırılması gerekmektedir. Bu kılavuzlarda; her uygulamada ortaya çıkan biyolojik ajanlar, risk grupları, bulaş yolları, kontrol önlemleri ve risk düzeylerinin tanımlanması gerekmektedir. Biyolojik risk taşıyan işyerlerinde risk analizine dayalı kalite yönetim sistemlerinin geliştirilmelidir. Biyogüvenlik kılavuzlarının yayımlanması koruyucu sağlık hizmetleri kapsamında çalışanların sağlığının ve çevre sağlığının kontrol altına alınmasında önemlidir. Bu nedenle laboratuvarların biyogüvenlik düzeyini irdeleyen bu çalışma biyolojik risklerin çalışıldığı benzer çalışmalara yol haritası oluşturması açısından alana katkı sağlayacaktır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Nuray ALPOĞLU AKBULUT problem analizinin yapılması, bilimsel yayın araştırması ve makalenin oluşturulması; Ergün ERASLAN, risk analizinin yapılmasında ve kontrolü konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Ahmed, S. S., Alp, E., Ulu-Kilic, A., & Doganay, M. (2015). Establishing molecular microbiology facility in developing countries. *Journal of infection and public health*, 8(6), 513-525 doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2015.04.029>

Aktaş, D., Barlas, G., Çelebi, B., Demirbilek, Y. (2014). Q Ateşi Salgını. Bulaşıcı Hastalıkların Sürveyansı ve Kontrolü" Projesi Ulusal Toplantısı ve II. Ulusal Saha Epidemiyolojisi Konferansı II. Ulusal Saha Epidemiyolojisi Konferansı, Ankara.

Akyol, A. D. (2005). Şiddetli Akut Solunum Yetmezliği Sendromu Sars ve korunma önlemleri Sars. *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 21(2), 107-123.

Arduino, M.J., Arndt, W.D., Bailin, H. Richard G. Baumann, R.G., Bradbury, S. R.,Delarosa P (Ed.).(2020). *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories*. Washington: NIH. Erişim adresi: <https://www.cdc.gov/labs/pdf/CDC-BiosafetyMicrobiologicalBiomedicalLaboratories-2020-P.pdf>

Atlı, K., (2018). Meslek Hastalıkları ve İşyeri Hekim [Power Point Slaytı].

Baltacı, A. (2018). Nitel araştırmalarda örnekleme yöntemleri ve örnek hacmi sorunsalı üzerine kavramsal bir inceleme. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 231-274.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/497090>

Berk, M., Önal, B., Güven, R., (2011). Meslek Hastalıkları Rehberi. Ankara: İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. Erişim adresi: <https://www.csgb.gov.tr/medias/4597/rehber20.pdf>

Berk, M., Ünal N., Ergun A., R., Vidinli, N., Kaplan E. (2015). Meslek Hastalıkları ve İşle İlgili Hastalıklar Tanı Rehberi. Ankara: İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.Erişim adresi: <https://aybu.edu.tr/GetFile?id=d74a6790-d2ed-42ea-ab03-1a236f083553.pdf>

Biyolojik Etkenlere Maruziyetin Önlenmesi Hakkında Yönetmelik (2013, 15 Haziran). Resmi Gazete (Sayı:28678). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/06/20130615-3.htm>

Burdorf, A., Porru, F., & Rugulies, R. (2020). The COVID-19 (Coronavirus) pandemic: consequences for occupational health. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 46(3), 229-230.

Chen, N., Zhou, M., Dong, X., Qu, J., Gong, F., Han, Y., ... & Zhang, L. (2020). Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *The lancet*, 395(10223), 507-513.doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30211-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30211-7)

Corrao, C. R. N., Mazzotta, A., La Torre, G., & De Giusti, M. (2012). Biological risk and occupational health. *Industrial health*, 50(4), 326-337. doi: [10.2486/indhealth.ms1324](https://doi.org/10.2486/indhealth.ms1324)

Demir, M., Tuncay E., Yentürk, E.,Kanmaz, D. (2014). Göğüs Hastalıkları Hastanesi Çalışanlarında Tüberküloz Riski, *Anatol J Clin Investing*, 8(2), 57-61.Erişim adresi: https://www.academia.edu/45248428/G%C3%B6%C4%9F%C3%BCs_Hastalıkları_Hastanesi_%C3%87ali%C5%9Fanlarında_T%C3%BCberk%C3%BCloz_Enfeksiyon_Riski

Dolapçı, İ., (2016). Bakteriyal Patojenite ve Virülans Faktörleri. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Mikrobiyoloji. Erişim adresi: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/172709/mod_resource/content/0/Bakteriyel%20patojenite%20ve%20vir%C3%BClans%20-%20C4%B0%C5%9Ftar%20Dolap%C3%A7%C4%B1.pdf

Enginyurt, Ö. (2016). Tüberküloz Farkındalık Değerlendirmesi. *Klinik Tıp Aile Hekimliği*, 8(6), 25-35. Erişim adresi:<https://asosindex.com.tr/index.jsp?modul=journalvolumeissue&volume=8&issue=6&year=2016&journal-id=119>

Ener, B. (ty.) Candida Enfeksiyonları [PowerPointslaytı]. <https://www.klimud.org/public/uploads/dosya/1352728008.pdf>

Encyclopaedia of Occupational health& safety, (2012). Occupational hygiene. Herrick, R.F.(Ed.). Erişim adresi: <https://www.iloencyclopaedia.org/>

Erol, İ. (2007). *Gıda hijyeni ve mikrobiyolojisi*. Ankara: Pozitif.

Eyigün, C. P. (2005). Ortaya Çıkışından Bugüne SARS: Güncel Durum. *Flora*, 10(3), 108-118. Erişim adresi http://www.floradergisi.org/managete/fu_folder/2005-03/2005-10-3-108-118.pdf

- Gül, Y., İssi, M. & Baykalır, B., G., (2013). Araştırma laboratuvarlarında biyogüvenlik zoonotik hastalıklar ve tıbbi atıkların bertarafı. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 8(1), 81-96. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/33970>
- Güldemir, D. (2018). Moleküler mikrobiyoloji laboratuvarında ortam kontrolü nasıl yapılır? *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 75(2). https://jag.journalagent.com/turkihijyen/pdfs/THDBD-83713-RESEARCH_ARTICLE-GULDEMIR.pdf
- Halkman AK (2006) Gıda mikrobiyoloji laboratuvarı güvenliği. *Orb On-Line Journal of Microbiology*. 04(06): 10-14. <http://eskisite.mikrobiyoloji.org/pdfler/702060602.pdf>
- Irmak H, Yardım, N., Temel, F. Keklik K (2019). Laboratuvar güvenliği el kitabı. T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü Tüketici Güvenliği ve Halk Sağlığı Laboratuvarları Dairesi Başkanlığı Ankara, 2019 <https://samsunism.saglik.gov.tr/Eklenti/63706/0/labaratuvarguvenligielkitabipdf.pdf>
- Karabıçak, N. (2012). Klinik mikrobiyoloji laboratuvarlarında biyogüvenlik. Başustaoglu, A. C., Güney M. (Ed), *Laboratuvar risk değerlendirmesi* içinde (s.191-202). Ankara: Klimud.
- Koruk, İ., Tekin-Koruk, S., Tuncer, K., Demir, C., Kara, B., & Şeyhanoğlu, A. S. (2014). Şanlıurfa'da Sağlık Çalışanlarının Mesleki Bulaşıcı Hastalıklara Karşı Aşılama Düzeyi. *Klimik Journal/Klimik Dergisi*, 26(1). Erişim adresi: <https://www.klimikdergisi.org/wp-content/uploads/2021/01/sanliurfa8217da-saglik-calisanlarinin-mesleki-bulasici-hastalıklara-karsi-asilanma-duzeyi.pdf>
- Madigan, M. T., Martinko, J. M. & Brock, T. D. (2010). *Brock mikroorganizmaların biyolojisi*. Palme
- Morawska, L. and Cao, J. (2020) Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. Elsevier,1-3. Doi: [10.1016/j.envint.2020.105730](https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730)
- Ocaktan, M., E. (2020). İş Hijyeni. İş Sağlığı Yönünden Hastalık Etkenleri İçinde (60-82). Atatürk Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi.
- Occupational Safety and Health Administration, (2020). Guidance on Preparing Workplaces for COVID-19. U.S:Department of LaborOccupational Safety and Health Administration Erişim adresi: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3990.pdf>
- Özdemir, L. (2015). Şiddetli Akut Solunum Sendromu-SARS. *Türkiye Klinikleri J Public Health-Special Topics*. 1(3),37-45.
- Pala, S. Ç., & Metintaş, S. (2020). COVID-19 Pandemisinde Sağlık Çalışanları.*Estüdam Halk Sağlığı Dergisi*, 5, 175-187. doi: <https://doi.org/10.35232/estudamhsd.789806>
- Rao, G. G., Saunders, B. P., & Masterton, R. G. (1996). Laboratory acquired verotoxin producing Escherichia coli (VTEC) infection. *The Journal of hospital infection*, 33(3), 228-230.
- T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Başkanlığı Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarları Daire Başkanlığı (2014). Ulusal mikrobiyoloji standartları, laboratuvar güvenliği rehberi. Erişim adresi: https://hastane.ksu.edu.tr/depo/belgeler/Ulusal%20Mikrobiyoloji%20Standartlar%C4%B1.compressed_1710261701460340.pdf
- T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Sağlıkta Kalite, Akreditasyon ve Çalışan Hakları Dairesi Başkanlığı (2020). *SKS Işığında COVID-19 Tani Laboratuvarları Kalite Yönetimi Rehberi*. Erişim adresi:<https://shgmkalitedb.saglik.gov.tr/TR-66534/sks-isiginda-covid-19-tani-laboratuvarlari-kalite-yonetimi-rehberi-hakkinda.html>
- The University of Utah, (2018). *Guidelines For Microbiology Teaching Laboratories*, Erişim adresi: <https://oehs.utah.edu/topics/biosafety-guidelines-for-teaching-laboratories>
- Tonbak, F., Atasever, M., & Çalıcıoğlu, M. (2017). Salmonella risk in poultry meat. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 12(1), 90-98.
- Türk Tabipler Birliği (2010). Kırım Kongo Kanamalı Ateşi Bilimsel Değerlendirme Raporu, Ankara. Erişim adresi: https://www.ttb.org.tr/kutuphane/kirim_kongo_rpr.pdf

Sağlığım, (ty). Sağlığım,halk sağlığına yönelik bilgiler. Erişim adresi: <https://sagligim.gov.tr/kirim-kongo-kanamali-atesi.html>

Şeker, H. & Yardımcı, H. (2003). Mikrobiyoloji laboratuvarlarında biyogüvenlik. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 01(04), 3-32. Erişim adresi: <http://www.mikrobiyoloji.org/pdf/702030402.pdf>

Zencir, M. (2014). Mesleki bulaşıcı hastalıklar: sağlık çalışanlarının sağlığı örneği. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 14 (51), 60-69 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/msg/issue/49201/628111>

Ek-1. Biyogüvenlik Düzeyleri Deneti Listesi

Biyogüvenlik Düzeyi 1

Aşağıdaki soruları "EVET" (E) , "HAYIR" (H) veya "UYGUN DEĞİL" (UD) biçiminde yanıtlayınız.

	E	H	UD
Laboratuvarın bir kapısı vardır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
El yıkamak için çıkışa yakın bir lavabo vardır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratuvarda yemeye, içmeye, makyaj yapmaya, kontakt lens takmaya-çıkarmaya, tüketim amacıyla gıdaları saklamaya izin verilmemektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ağızla pipetleme yasaktır, bunun için pipetleme yardımcıları kullanılmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kesici-delici cisimlerin (iğne uçları, bistüriler, lam, pipetler ve kırık cam malzeme, vb.) güvenli kullanımı için uygun politikalar geliştirilmiş ve uygulanmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sıçrama ve/veya aerosoller en aza indirecek prosedürler uygulanmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Çalışma yüzeyleri iş bittikten sonra ve potansiyel olarak enfeksiyöz materyalle dökülme-saçılma durumlarında uygun dezenfektanla dekontamine edilmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kültürler, stoklar ve diğer enfeksiyöz materyal atılmadan önce dekontamine edilmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratuvarda etkin bir haşere kontrol programı yürütülmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tüm çalışanlar görevleri ve tehlikelerle temasın önlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik eğitim almaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Çalışanlar önlük, eldiven, gözlük gibi kişisel koruyucu donanıma ulaşabilmekte ve kullanmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dışarı açılan pencerelerde (eğer varsa) sineklik bulunmalıdır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Banko yüzeyleri su geçirmez, ısıya, organik çözücülere, asitlere, alkalilere ve diğer kimyasallara dayanıklıdır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratuvar alanları kolay temizlenecek (halı, kilim yok, oturlan yüzeyler tekstil değil vb.) biçimde tasarlanmıştır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Yukarıdaki soruların tümüne EVET yanıtı vermediyseniz, laboratuvarınızın fiziksel altyapısını veya uygulamalarını gözden geçirerek, gerekli değişiklikleri yapmayı düşünmelisiniz!

Biyogüvenlik Düzeyi 2

Aşağıdaki soruları "EVET" (E) , "HAYIR" (H) veya "UYGUN DEĞİL" (UD) biçiminde yanıtlayınız.

	E	H	UD
Laboratuvarın kendiliğinden kapanan ve kilitlenebilen bir kapısı vardır. Laboratuvara yalnızca yetkili kişilerin girişine izin verilmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
El yıkamak için çıkışa yakın, musluğu otomatik ya da ayakla kontrol edilen, bir lavabo vardır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratuvarda yemeye, içmeye, makyaj yapmaya, kontakt lens takmaya-çıkarmaya, tüketim amacıyla gıdaları saklamaya izin verilmemektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ağızla pipetleme kesinlikle yapılmamakta, bunun için pipetleme yardımcıları kullanılmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kesici-delici cisimlerin (iğne uçları, bistüriler, lam, pipetler ve kırık cam malzeme, vb.) güvenli kullanımı için uygun politikalar geliştirilmiş ve uygulanmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sıçrama ve/veya aerosoller en aza indirecek prosedürler uygulanmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Çalışma yüzeyleri iş bittikten sonra ve potansiyel olarak enfeksiyöz materyalle dökülme-saçılma durumlarında uygun dezenfektanla dekontamine edilmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratuvar ekipmanları düzenli olarak, bakım-onarım öncesinde ve kontamine materyalle dökülme-saçılma durumlarında uygun dezenfektanla dekontamine edilmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tüm potansiyel enfektif materyal atılmadan önce dekontamine edilmelidir. Atıklar, laboratuvar alanının dışında dekontamine ediliyorsa, enfektif materyaller dayanıklı, sızdırmaz kaplarda saklanmalı ve güvenli bir biçimde taşınmalıdır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratuvar girişinde biyotehlike işareti yanısıra laboratuvarın biyogüvenlik düzeyini, sorumlu kişinin adı ve iletişim bilgilerini, laboratuvara giriş-çıkış gerekliliklerini gösteren bir uyarı levhası vardır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratuvarda etkin bir haşere kontrol programı yürütülmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tüm çalışanlar görevleri ve tehlikelerle temasın önlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik eğitim almaktadır. Çalışanların standart ve özellikli mikrobiyoloji uygulamaları açısından yeterlilikleri değerlendirilmekte ve sadece yeterli bulunanların çalışmasına izin verilmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Enfektif materyalle temasta sonuçlanabilecek tüm olaylar yetkililere sözlü ve yazılı bildirilmekte ve gerekli profilaksi/televi olanakları sağlanmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Çalışanlara yönelik bir tıbbi sörveyans programı yürütülmekte ve gerekli aşılama olanakları sunulmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Risk değerlendirme verilerine dayalı politika ve prosedürleri içeren bir laboratuvar güvenlik el kitabı bulunmalı ve buna çalışanlar tarafından kolaylıkla ulaşılabilirliği.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Çalışanlar önlük, eldiven, gözlük gibi kişisel koruyucu donanıma kolaylıkla ulaşabilmekte ve kullanmaktadır. Kişisel koruyucu donanım laboratuvardan ayrılırken çıkarılmalıdır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Enfektif aerosol üretme potansiyeli olan tüm işlemler bakımı düzenli olarak yapılan ve yıllık olarak sertifikalandırılan biyogüvenlik kabinlerinde (BGK) yapılmaktadır. BGK, kapılardan, açılır pencerelerden, insan trafiğinden ve hava akımını bozabilecek diğer etmenlerden uzakta konuşlandırılmalıdır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Yapılan işle ilişkili olmayan her tür hayvan ve bitki laboratuvara sokulmamaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Santrifüjlerin kapaklı güvenlik kapları/taşıyıcıları veya güvenli rotorları vardır ve kaplar BGK içinde açılmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vakum hatları HEPA filtre (veya eşdeğeri) ile korunmakta ve bunlar uygun aralıklarla değiştirilmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dışarı açılan pencereler önerilmemekle birlikte, eğer varsa sineklik bulunmalıdır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Banko yüzeyleri su geçirmez, ısıya, organik çözücülere, asitlere, alkalilere ve diğer kimyasallara dayanıklıdır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratuvar alanları kolay temizlenecek (halı, kilim yok, oturuş yüzeyler tekstil değil vb.) biçimde tasarlanmıştır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratuvarda uygun aralıklarla hava değişimi (örneğin 6-12 değişim/saat) sağlanmaktadır. Çıkış havası, bir dökülme-saçılma durumunda bulaşı önlemek için, yerleşim alanlarından uzağa verilmektedir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kimyasal çeker ocağın (eğer bulunduruluyorsa) bakımları düzenli yapılmakta ve yıllık olarak sertifikalandırılmaktadır.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Yukarıdaki soruların tümüne EVET yanıtı vermediyseniz, laboratuvarınızın fiziksel altyapısını veya uygulamalarını gözden geçirerek, gerekli değişiklikleri yapmayı düşünmelisiniz!

Kaynak: T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Başkanlığı Mikrobiyoloji Referans

Laboratuvarları Daire Başkanlığı (2014) Ulusal Mikrobiyoloji Standartları Laboratuvar Güvenliği Rehberi

Ek 2: Biyolojik Ajan Değerlendirme Formu

Bölüm A.		
İşyerinde tehlike var mı?	Evet	Hayır
1. Çalışma Faaliyetleri		
1.1. Çalışanların insanlarla direkt teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2. Çalışanların hayvanlarla direkt teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3. Çalışanların toprak veya bitkilerle direkt teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.4. Çalışanların sıvı, sprey veya aerosol şeklinde suyla teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.5. Çalışanların herhangi bir doğal ürünle direkt teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.6. Çalışanların doğal veya işlenmiş gıda maddeleri ile direkt teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.7. Çalışanların insan veya hayvanların katı veya sıvı atıkları ile teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.8. Çalışanların insan veya hayvanların vücut sıvıları ile teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.9. Çalışanların insan veya hayvan cesetleri ile teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Çalışanlar		
2.1. Çalışanlar maruz kaldıkları tehlikelerden haberdar mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2. Çalışanlar özellikle biyolojik hastalık riski altında olan hamile çalışanlar, alerji, astım ve bağışıklık sistemi zayıf olanlar risk altında mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.3. Hamile çalışanların biyolojik ajanlarla teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.4. Yönetim ve çalışanların biyolojik ajanların enfeksiyon zinciri, muhtemel bulaşma yolları ve solunum, sindirim ve deri ile emilim gibi sebeplerle taşınabildiği hakkında bilgisi var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.5. Temizlikçi veya bakım işçisi gibi biyolojik ajanlarla temas eden çalışan var mı? (Ör. Çöp konteynırlarının boşaltılması sırasında vb.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.6. İşyerinde uyarı veya güvenlik işaretleri kullanılıyor mu? Çalışanlar uyarı veya güvenlik işaretlerini kullanmak zorunda mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.7. Yeni veya genç çalışanların biyolojik ajanlarla teması var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.8. Konuşulan ana dilden farklı bir dilde konuşan yabancı bir çalışan var mı? (Konuşulan ana dili anlamakta zorlanan çalışan var mı?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. İşyeri		
3.1. Atık malzemeler özel önlemler alınarak mı bertaraf ediliyor?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.2. Atık malzemeler güvenli koşullarla mı bertaraf ediliyor?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.3. Atık malzemelere kolayca ulaşılabilir mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.4. İşyerleri düzenli olarak ve dezenfekte edilerek temizleniyor mu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5. Çalışanlar için ayrı tuvaletler var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.6. İşyerinin havalandırılması gerekiyor mu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.7. Çalışanların, maruziyetlerin izlenmesi ya da sağlık gözetiminin sonuçları hakkında bilgisi var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. İş Organizasyonu		
4.1. Basılı prosedürlerin doğru şekilde uygulanıp uygulanmadığı kontrol ediliyor mu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Kişisel Koruyucu Donanımlar (KKD)		
5.1. Çalışanların kişisel koruyucu donanımlara ihtiyaçları var mı? (Kullanıyorlar mı ?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.2. İşyerinden ayrılırken çalışanlar kişisel koruyucu donanımlarını kullanıyorlar mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.3. Çalışanların solunum korumasına ihtiyaçları var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.4. Çalışanlar için biyolojik ajanlarla kirlenmiş suların sıçraması veya dökülmesi riski var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Hijyen		
6.1. Çalışanlar çalıştıkları yerde mi yemek yiyip, su içiyorlar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.2. Tüm çalışanların ulaşabileceği yerlerde ve yeterli sayıda el yıkama lavaboları var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.3. Çalışanların yara veya çizikleri var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. İlk Yardım/Tahliye		
7.1. Çalışanlar yanlış giden bir durum olduğunda nasıl kontrol edeceklerini ve herhangi bir problemi kime rapor edeceklerini biliyorlar mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.2. Acil kaçış planı var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3. İşyerinde ilk yardım çantaları var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.4. İşyerinde ilk yardım sorumlusu olarak personel var mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>