



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

YEAR: 2022

VOLUME: 6

NUMBER: 1



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

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 Küçükkoç	Department of Industrial Engineering, Balıkesir University, Turkey	ikucukkoc@balikesir.edu.tr
Assoc. Prof. Dr. Nasr Hamood Mohamed Al-Hinai	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



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

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 Universitat 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	farzadsattari@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 Yildirim 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 Yildirim Beyazıt University, Turkey	gbudak@ybu.edu.tr
Asst. Prof. Dr. İbrahim Yılmaz	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim 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 Moores 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 for Occupational Safety and Health, USA	mzs0053@auburn.edu
Dr. Adem Pınar,	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



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

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 Hanalioğlu	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	serpiller@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

Dengeli iş yükü ataması için şoför çizelgeleme problemi: Bir lojistik firmasında uygulama Ömer Şeker, Hacı Mehmet Alakaş, Ahmet Cürebal, Tamer Eren	897-916
Comparison of Covid-19 Vaccines Under Different Coverage Levels and Delivery Periods Mustafa Demirbilek	917-927
Stok yönetimi için ABC - Küresel Bulanık AHS - ELECTRE tabanlı melez grup karar verme yöntemi ve bir uygulama Yavuz Selim Özdemir	928-942
Modelling and predicting the growth dynamics of Covid-19 pandemic: a comparative study including Turkey Nadi Serhan Aydın, Erfan Babae Tirkolae	943-954
Sezgisel ağ tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları ile tesis yeri optimizasyonu: itfaiye tesisleri yer seçimi örneği Arif Çağdaş Aydinoğlu, Süleyman Şişman, Irem Ergül	955-976
Bir imalat firmasında en iyi ürün kalitesi için lazer ile kesim parametrelerinin en iyilenmesi Mustafa Yurdakul, Taha Tükel, Yusuf Tansel İç, İbrahim Ülke, Arif Balcı, Serkan Güneş	977-996
Toplu ulaşım sistemlerinde çok amaçlı şoför çizelgeleme problemi: Kırşehir ili örneği Emre Yazıcı, Koray Akkaş, Sefa Mergen, Ahmet Koç, Hacı Mehmet Alakaş	997-1009
Web sitesi tasarım aşamasındaki kriterlerin önem derecelerinin bulanık fucom ile belirlenmesi Sultan Handenur Atçı, Kumru Atalay	1010-1027
Quality function deployment implementation on service sector Gamze Unsal, Yücel Öztürkoğlu	1028-1041
Bir kamu kurumunun yemekhane bölümündeki tehlike kaynaklarının sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemleriyle önceliklendirilmesi Gülin Can, Arzum Uzun	1042-1055
Performance measurement in cargo distribution center a case study Pervin Ersoy, Burak Çetiner	1056-1064
Investigation of a non-linear cramér-lundberg risk model Zulfiye Hanalioglu, Yusup Allyyev, Tahir Khaniyev	1065-1075
Novel last mile delivery models in terms of sustainable urban logistics Şaban Fatih Yılmaz, Nadide Aktaş, Neslihan Demirel	1076-1091



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Classification of SARS-CoV-2 variants in Turkey Hilal ARSLAN	1092-1101
Geri dönüşüm atıklarının toplanmasında rota optimizasyonu: alanya ilçesinde bir uygulama Mehmet Gümüş, Emir Hüseyin Özder, Elif Hatınoğlu, Ayşe Uçar	1102-1112
Order picker routing problem ın a single block warehouse Esra Boz, Nil Aras	1113-1120
Farklı tarımsal üretim yöntemleri sonucu elde edilen ürün kalitesi analizi için sürdürülebilir melez bulanık ÇKKV yaklaşımı uygulaması Yavuz Selim Özdemir, Şeyda Savalan	1121-1133
Dağıtık üretim içeren dağıtım şebekesi genişleme problemi için yeni bir matematiksel model Ayşenur Yurtsever, Berna Dengiz, Burçin Çakır, İsmail Karaoğlan	1134-1152



Journal of Turkish Operations Management

Dengeli iş yükü ataması için şoför çizelgeleme problemi: Bir lojistik firmasında uygulama

Ömer Şeker¹, Hacı Mehmet Alakaş^{2*}, Ahmet Cürebal³, Tamer Eren⁴

¹Lojistik Programı, Mucur Meslek Yüksek Okulu, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir
e-mail: omerseker@ahievran.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-5475-3636>

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

³Institute of Information Systems, University of Hamburg, Von-Melle-Park 5, 20146 Hamburg, Germany
e-mail: ahmet.curebal@uni-hamburg.de, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1031-659X>

⁴Endüstri 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: 08.04.2021
Revize: 09.05.2021
Kabul: 24.05.2021

Anahtar Kelimeler:

Şoför Çizelgeleme,
Matematiksel Programlama,
Lojistik,
Karayolu Taşımacılığı

Özet

Türkiye’de son yıllarda e-ticaret, yeni ürünlere olan ilginin artması gibi nedenlerden dolayı lojistik sektöründe de iş yükü artmıştır. Ürünlerin üretim noktasından tüketim noktasına kadar ki sürecinde depolama, taşıma, stok yönetimi temel faaliyetleri yürütülmektedir. Taşımacılığın hem pandemi öncesinde hem de yaşamakta olduğumuz pandemi döneminde üretimin devam etmesi ve ihtiyaçların karşılanması için önemli bir faaliyet olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, taşımacılıkta sürekliliğin sağlanmasında önemli bir rolü olan şoförlerin çizelgenmesi problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemde, İstanbul merkezli çıkış noktasından 31 farklı varış noktasına haftanın altı günü sefer düzenleyen bir lojistik firması için şoför çizelgenmesi yapılmıştır. Şoförlerinin izin hakları, yasal sınırlar ve dengeli çalışma prensipleri göz önünde bulundurularak matematiksel programlama modeli kurulmuştur ve 150 şoför için aylık çalışma çizelgesi oluşturulmuştur.

Driver scheduling problem for balanced workload assignment: Application in a logistics firm

Article Info

Article History:

Received: 08.04.2021
Revised: 09.05.2021
Accepted: 24.05.2021

Keywords:

Driver Scheduling,
Mathematical Programming,
Logistics,
Road Transportation

Abstract

In recent years, the logistics sector's workload has also increased due to reasons such as e-commerce and the increased interest in new products in Türkiye. Main activities of storage, transportation, and stock management are carried out in the production process from production to the end of consumption. It is seen that transportation is an important activity for continuing production and meeting the needs both before the pandemic and during the pandemic period we are living in. In this study, the problem of scheduling drivers, which has an important role in ensuring continuity in transportation, has been addressed. In this problem, a driver scheduling was made for a logistics company that operates from Istanbul-main departure to 31 different destinations six days a week. A mathematical programming model was established considering the drivers' permission rights, legal limits, and balanced working principles, and a monthly-work schedule was created for 150 drivers.

1. Giriş

Lojistik fonksiyonları tedarik zincirinin en temel unsurlarındandır. Taşıma, depolama ve stok yönetimi başta olmak üzere birçok faaliyeti bünyesinde barındırır. Bu faaliyetler içerisinde taşıma faaliyeti en yüksek maliyete sahip olan faaliyettir (Tokay, Deran ve Arslan, 2011). Ülkemizde yurtiçi taşımacılık kapsamında makro taşımalar kamyon ve tır gibi araçlarla yapılırken, mikro taşımalar genelde kamyonet, panelvan ve minibüs gibi daha küçük vasıtalarla yapılmaktadır. Taşımacılık faaliyeti kesintisiz devam etmesi gereken bir faaliyet olduğundan dolayı, bu faaliyetin içinde bulunan her unsur ayrı bir öneme sahiptir. Şoförler, araçlar, araç yükleme-boşaltma ekipmanları, yükleme-boşaltma personeli bu unsurlardandır. Çalışma düzeninin planlanması ve taşımacılık faaliyetinin devamı için mevcut personelin çizelgelemesi dikkat edilmesi gereken bir durumdur.

Karayolları Trafik Yönetmeliği, bu hizmet faaliyetinin yerine getirilmesinde önemli bir rol üstlenen kamyon şoförleri için, araç kullanma ve dinlenme sürelerine ilişkin esasları belirlemiştir. Şoför atama ve çizelgeleme problemi, çalışma düzeninin planlanması için yapılan diğer personel çizelgeleme uygulamalarıyla benzerlik gösterir. İller arası yapılan taşımacılık faaliyetinde kısa, orta ve uzun rotalar boyunca çalışacak şoförlerin çalışma saatleri, izin süreleri gibi durumları dengeleyecek şekilde adaletli bir çalışma planının yapılması son derece önemlidir. Bu problemleri çözerken adil paylaşım temel ilke olarak kabul edilmektedir (Eren, Özder ve Varlı, 2017). Çalışma şartları zor kabul edilebilecek seviyede olan şoförlerin memnuniyetinin sağlanarak çalışma veriminin artırılması, üzerinde durulması gereken önemli bir durumdur.

Bu çalışmada, yurtiçi taşımacılık faaliyeti yürüten bir lojistik firmasında çalışan şoförler için atama ve çizelgeleme planı sunulmuştur. İstanbul merkezli sevk noktasından farklı illerdeki 31 aktarma merkezine pazar günleri hariç sefer yapan bu firmada, 60 km/s ortalama hız varsayımı ve yasal sürüş sınırları çerçevesinde rotaların gidiş-dönüş zamanları tayin edilmiştir. Rota uzunluğuna göre tek veya çift şoför çalıştırılması planlanarak, 2021 yılı ocak ayı sefer verileri bazında şoförlerin sürüş sürelerinin dengelenmesi hedefine yönelik olarak 1 aylık şoför çizelgeleme takvimi oluşturulmuştur.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde şoför çizelgelemeyle alakalı literatürde yapılan çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde, şoför çizelgeleme problemi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde bir lojistik firmasında yapılan uygulama ele alınmıştır ve son bölümde sonuçlar ve önerilerden bahsedilmiştir.

2. Literatür araştırması

Şoför çizelgelemenin literatürde, otobüs, toplu taşıma aracı, kamyon, tren, servis sürücüsü gibi alanlarda yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların sadece çizelgelemeyi ele alanları olduğu gibi, rotalama ve çizelgelemeyi birlikte ele alanları da mevcuttur. Çalışmada, literatürü kamyon şoförü çizelgeleme olarak sınırladık. “Kamyon şoförü çizelgeleme” adı ile yapılan aramadan sonuç çıkmamıştır. “Truck driver scheduling” adıyla yapılan arama sonuçları ise Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu makaleler incelenip, yinelenen makaleler çıkarıldıktan sonra kamyon şoförü çizelgeleme kapsamında 34 makale incelenmiştir. İncelenen makalelerde kullanılan yöntemlerin özet tablosu Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Veritabanları bazında arama sonuçları

Arama Adı	Aranılan Veritabanı					
	<i>Scholar</i>	<i>ScienceDirect</i>	<i>Web of Sciences</i>	<i>IEEE Xplore</i>	<i>PubMed</i>	<i>Scopus</i>
Truck driver scheduling	260	55	21	21	155	26

Erera, Karacık ve Savelsbergh (2008) çalışmalarında parsiyel nakliye sektörü için dinamik sürücü planlamasını ele almışlardır. En iyi yük dağıtım sürelerini ve bazı sabit süreli planlama dönemleri için sürücü belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaca ulaşmak için ağgözlü aramaya dayalı bir teknik önermişlerdir. Önerilen tekniğin güvenilirliği farklı testlerle onaylanmıştır. Goel (2009a) Avrupa karayolu taşımacılığında ekip sürücüleri için zamanlama sorunlarını incelemiş ve kamyon şoförü çizelgeleme problemini ele almıştır. Sorunun çözümünde derin öncelikli arama yöntemini kullanmış ve hesaplama deneyleri, önerilen algoritmanın çok kısa sürede uygun programları bulabileceğini göstermiştir. Goel (2009b) çalışmasında ABD Hizmet Saatleri Yönetmeliği kapsamında kamyon şoförü çizelgeleme problemini ele almıştır. Çözüm için seyahat hesaplama yöntemi ile

derin öncelikli arama algoritması önermiştir. Goel ve Kok (2009) çalışmalarında ABD Hizmet Saatleri Yönetmeliği'ni dikkate alarak kamyon şoförü programlama sorunlarını incelemiştir. Varsa, O (λ^2) zamanında uygun bir program bulan, geniş öncelikli arama ve derin öncelikli arama algoritması sunmuşlardır. Kısıtlayıcı olmayan zaman pencereleri durumunda, derin öncelikli aramanın doğrusal zamanda sona ereceğinin belirtmişlerdir. Oughalime, İsmail, Liang ve Ayob (2009) Kebangsaan Malezya Ulaşım Departmanı'ndaki toplam vardiya sayısını ve toplam vardiya maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan araç ve sürücü çizelgeleme sorununu ele almışlardır. Problem çözümünü tamsayı programlama ve hedef programlama modellerinin sırasıyla araç çizelgeleme problemi ve sürücü çizelgeleme problemi için sunulduğu sıralı yaklaşım kullanarak yapmışlardır. Archetti ve Savelsbergh (2009) çalışmalarında karayolu taşımacılığı sektöründe sürücü çizelgeleme problemini ele almışlardır. Haftalık dinlenme sürelerinin dikkate alınması gerekmiyorsa ve ziyaret edilecek her konum tek bir zaman penceresine sahipse, ABD Hizmet Saatleri Yönetmeliği'ne uygun programların polinom zamanında belirlenebileceğini göstermişlerdir. Goel (2010a) çalışmasında AB Hizmet Saatleri Yönetmeliği'ne göre kamyon sürücülerinin sürüş ve çalışma saatlerinin programlanması için geniş öncelikli arama algoritması ile çeşitli varyasyonlar sunmuştur. Bu yaklaşımın, belirtilen zaman aralıkları içinde ziyaret edilecek bir dizi yer olduğunda, eğer böyle bir program varsa yönetmeliğe uygun bir program bulmasını garanti edeceğini göstermiştir. Goel (2010b) çalışmasında Avustralya Ağır Araç Sürücüsü Yorgunluk Yasasını incelemekte ve Avustralya kamyon sürücüsü çizelgeleme problemini formüle etmektedir. Her müşterinin belirli bir zaman aralığında ziyaret edilmesi gerektiği bir durum için, Avustralya düzenlemelerine uygun bir programın olup olmadığını belirlemek üzere ilk sezgisel yaklaşımı sunmuştur. Knust ve Schumacher (2011) çalışmalarında bir petrol şirketinde tank kamyon sürücülerini planlamasını ele almışlardır. Yasal kısıtlamalar, toplam çalışma süresi aralıkları, istenen sürücüler gibi kısıtları karşılayıp her pozisyona bir sürücü atama amacına yönelik olarak, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerdiler. Sonuçlar algoritmanın kısa sürede uygulanabilir programlar oluşturabildiğini göstermiştir. Wen, Krapper, Larsen ve Stidsen (2011) çalışmalarında Danimarka'da bir süpermarkete taze gıda ulaştırma problemi için bir haftalık planlama ufku dahilinde araç rotalama ve şoför çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çözüm için değişken komşu arama meta sezgisel yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçların benzer yönlendirme problemlerini çözmek için uygulanabileceğini göstermişlerdir.

Goel (2012a) çalışmasında nakliye şirketlerindeki kamyon sürücüsü programlarının süresini, Avustralya Ağır Araç Sürücüsü Yorgunluk Yasası'na uygun olarak nasıl en aza indirebileceğini ele almıştır. Karma bir tamsayılı programlama formülasyonu sunulmuştur. Önerilen bu model program sürelerini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Goel (2012b) Kanada Ticari Araç Sürücülerini Hizmet Saatleri Yönetmeliği'ne uygun olarak kamyon sürücüsü programlarının süresini en aza indirmek için karma bir tamsayılı programlama ve yinelemeli bir dinamik programlama yaklaşımı sunmuştur. Hesaplamaların, programların süresinin yalnızca uygulanabilir programlar aranırken elde edilen programların süresine kıyasla önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir. Goel (2012c) kamyon şoförlerinin yalnızca müşteri lokasyonlarında ve uygun dinlenme alanlarında dinlenebileceği kamyon şoförü çizelgeleme problemini karma tamsayılı programlama ile formülize etmiştir. Sunulan modelin çok esnek olduğunu ve farklı kurallar dizisi için yapılandırılabilceğini belirtmiştir. Dinamik bir programlama yaklaşımı ile ABD ve AB çalışma saati düzenlemeleri için etkinliğini göstermiştir. Goel ve Kok (2012a) Avrupa karayolu yük taşımacılığında takım sürücülerinin çizelgeleme problemini ele almışlardır. AB Hizmet Saatleri Yönetmeliği'ne uygun program oluşturma amacıyla derin öncelikli geniş ikincilikli arama sezgisel yöntemini kullanmışlardır. Goel ve Kok (2012b) belirli zaman aralıkları içinde ziyaret edilmesi gereken bir dizi konumun olduğu ABD kamyon şoförü çizelgeleme problemini incelemiştir. Tek zaman pencereleri durumunda problemi $O(\lambda^2)$ zamanında çözen bir programlama yöntemi sunmuşlardır. Goel, Archetti ve Savelsbergh (2012) Avustralya Ağır Araç Sürücüsü Yorgunluk Yasası'na uygun olarak kamyon sürücüsü takvimi oluşturmayı amaçlamışlardır. Dört sezgisel yöntem önerilmiş ve yapılan hesaplamalar sezgisel yöntemlerin etkinliğini gösterirken, en etkili sezgisel yöntemin, hemen hemen tüm örnekler için uygun bir çizelge bulabileceğini göstermişlerdir. Yalnızca nadir durumlarda, uygulanabilir bir programın kesin algoritma ile bulunabileceğini belirtmişlerdir. Sezgisel yöntemlerin gerektirdiği hesaplama çabasının, kesin algoritmanın gerektirdiği hesaplama çabasına göre çok daha az olduğunu göstermişlerdir. Goel ve Rousseau (2012) Kanada kamyon sürücüsü çizelgeleme problemini ele alarak, önemli ölçüde daha az hesaplama süresi gerektiren iki sezgisel yaklaşımla kesin bir algoritmanın performansını değerlendirmişlerdir. Sonuçlar sezgisel yaklaşımların etkinliğini göstermiştir. Ayrıca çalışma saatlerine ilişkin Kanada düzenlemelerinin ABD düzenlemelerinden önemli seviyede daha izin verici olduğunu belirtmişlerdir. Rancourt, Cordeau ve Laporte (2013) ABD'de uzun mesafeli yolculuklar sırasında kamyon sürücüsünün güvenliğine ilişkin kuralları ele almışlardır. İncelenen sorunu, her araç tarafından ziyaret edilen müşterilerin sırasını belirleyen bir yönlendirme bileşeni ve her müşterinin dinlenme sürelerini ve hizmet süresini planlamayı içeren bir programlama bileşeni olmak üzere iki

baskın bileşen üzerinden değerlendirmişlerdir. Bir tabu arama sezgisel yöntemi içine yerleştirilmiş farklı zamanlama algoritmaları geliştirmişlerdir. Sonuçlar, uzun mesafeli taşımayı planlarken gelişmiş bir planlama prosedürü kullanmanın faydalarını doğrular nitelikte olmuştur. Drexl, Rieck, Sigl ve Press (2013) Avrupa'da uzun mesafeli karayolu taşımacılığında ortaya çıkan eşzamanlı araç ve mürettebat rota belirleme ve planlama problemini ele almışlardır. Bir sürücünün bir kamyonu sabit bir şekilde atanmasına ilişkin araç rotalama literatüründeki olağan varsayımı terk etmişlerdir. Bunun yerine, coğrafi olarak dağınık aktarma istasyonlarında kamyon/sürücü değişikliklerine izin veren durumu dikkate almışlardır. Çözüm için bir büyük komşuluk arama meta sezgisel yöntemi önermişler ve sonuçlar yaklaşımın geçerliliğini göstermiştir.

Goel (2014) çalışmasında ABD'de ki yeni hizmet saatleri düzenlemelerini incelemiştir. Yeni düzenlemenin ayrıntılı bir modelini oluşturmuş ve kural değişikliğinin operasyonel maliyetler ve yol güvenliği üzerindeki etkisini değerlendirmek için yeni bir simülasyon tabanlı yöntem sunmuştur. Önceki metodolojilerin aksine, önerilen metodoloji, rotaları ve programları optimize ederek taşıyıcıların daha katı düzenlemelerin ekonomik etkisini en aza indirebileceğini dikkate almıştır. Simülasyon sonuçları, günlük sürüş süresi sınırlarını düşürmenin paraya çevrilen güvenlik yararının, operasyonel maliyetlerdeki artışla aynı büyüklükte olduğunu göstermiştir. Goel ve Vidal (2014) araç rotalama ve kamyon şoförü çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışma saati düzenlemelerini dikkate alarak nakliye maliyetlerini en aza indirmeyi ve önerilen hibrit bir genetik algoritma ile sorunu çözerek farklı ülkelerdeki kurulların maliyet ve kaza riskleri üzerindeki etkiyi değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Sonuçlar, AB kurullarının Kanada, Avustralya ve ABD kurullarına kıyasla daha fazla güvenlik sağladığını göstermiştir. Rancourt ve Paquette (2014) ABD'deki çalışma ve dinlenme saatlerine ilişkin yasal gereklilikler kapsamında çok amaçlı bir araç rotalama ve kamyon sürücüsü çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemin çözümünde bir tabu arama algoritması sunmuşlardır. İşletim maliyetleri ile sürücü memnuniyeti arasındaki ve kullanılan araç sayısı ile işletme maliyetleri arasındaki ödünleşmeleri değerlendirmişlerdir. Koubâa, Dhoub, Dhoub ve El Mhamedi (2016) 2000 yılından bu yana kamyon şoförü çizelgeleme problemini ele alan çalışmaları dört kritere göre sınıflandırarak literatür çalışması sunmuşlardır. Koç, Bektaş, Jabali ve Laporte (2016) çalışmalarında ABD Hizmet Saatleri kapsamında sürüş, yakıt ve rölanti maliyetini hesaba katan kapsamlı bir hedef doğrultusunda uzun mesafeli kamyon sürücüsü çizelgeleme sorununun bir uzantısı olan Rölanti Seçenekleriyle Kamyon Sürücüsü Planlama Problemini (TDSP-IO) incelemişlerdir. Üç rölanti çalışma seçeneği altında problemin çözümü için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli oluşturularak, gerçek örnekler üzerinden kapsamlı hesaplama deneyleri yapmışlardır. CO2 emisyonlarının maliyeti, rölanti seçenekleri, EPS ve APU ekipmanlarının maliyeti, yakıt ve elektrik fiyatları gibi farklı sorunlu bileşenler arasındaki değiş tokuşlara ışık tutmak için kapsamlı analizler gerçekleştirmişlerdir. Sonuçların birçoğunun parametrik varyasyonlara göre oldukça sağlam olduğunu göstermişlerdir. Goel ve Irnich (2017) çalışma saati kısıtlamalarını dikkate alarak araç rotalama problemini zaman pencereleriyle genelleştiren kombine araç rotalama ve kamyon sürücüsü çizelgeleme problemini ele almışlardır. ABD ve AB yönetmeliklerine uygun rotaların oluşturulması adına dinamik programlama tabanlı etiketleme algoritması kullanan bir dal-fiyat algoritması önermişlerdir. Bu algoritma, optimalliği kanıtlamak için Araç Rotalama ve Kamyon Şoförü Çizelgeleme'yi çözen ilk algoritmadır. Koç, Jabali ve Laporte (2017) rölanti seçenekleri ile araç rotalama ve kamyon sürücüsü çizelgeleme problemini ele almışlardır. Uyarlanabilir geniş komşu araması ile karma tamsayılı doğrusal programlamayı birleştiren çok başlangıçlı bir matematiksel algoritma geliştirmişlerdir. Solomon test yatağından türetilen örneklerle ilgili kapsamlı hesaplama sonuçları sunmuşlardır. Bernhardt, Melo, Bousonville ve Kopfer (2017) çalışmalarında sürücülerin dinlenme süreleri, molaları ve yakıt ikmali için ortak bir değerlendirmenin neden önemli olduğunu ve zaman aralığı seçiminin, sürücü faaliyetlerinin planlanmasının ve yakıt ikmal duraklarının ve miktarlarının buna göre nasıl belirlenebileceğini ele almışlardır. Müşterilere hizmet vermek üzere seçilen rota boyunca farklı yakıt fiyatlarına sahip belirli bir müşteri konumları ve benzin istasyonları dizisi için, karma bir tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Ayrıca, rota boyunca dikkate alınacak benzin istasyonlarının sayısını ve dolayısıyla çözüm alanını ve hesaplama çabasını azaltan bir ön işleme sezgisel yöntemi açıklamışlardır. Gerçek verilerden türetilen örnekler için sayısal deneyler yapmışlardır.

Bowden ve Ragsdale (2018) kabul edilebilir bir uyanıklık seviyesini korurken, zaman aralıklarına ve hizmet saatleri düzenlemelerine uygun olarak Kamyon Sürücüsü Çizelgeleme Problemi için yorgunluğa duyarlı bir model sunmuşlardır. Ticari kamyon sürücülerini için daha güvenli sürüş programları, seyahat eden halk için daha güvenli ve daha uygun maliyetli yollar geliştirmek için bir başlangıç noktası görevi göreceğini belirtmişlerdir. Vital ve Loannou (2019) uzun yolculuklarda rota boyunca dinlenme alanlarının park edilebilirliğini ve ABD Hizmet Saatleri kısıtlamalarını dikkate alan kamyon sürücüsü planlama probleminin bir türü için karma bir tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır. Her dinlenme alanının park edilebilirliği, yalnızca sürücünün o

konumda durması gerektiğinde uygulanan bir dizi zaman aralığı olarak modellemişlerdir. Bu kısıtlamaların etkisini test etmek için CPLEX'te deneyler yapmışlardır. Sonuçlar, sürücü/şirket maliyetini arttırmadan sürücülerini yoğun dinlenme alanlarına göndermeyecek daha gerçekçi programlar oluşturulabileceğini göstermiştir. Benkebir, Le Pouliquen, Trévien, Bounceur, Euler, Pardiac ve Sevaux (2019) AB kamyon sürücüsü problemini ele alarak toplam nakliye maliyetini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Çözüm için genetik algoritma ve yerel bir komşu arama algoritması geliştirmişlerdir. Literatürdeki ve gerçek hayattaki örnekler üzerinden deneyler yapmışlardır. Goel'in çalışmalarındaki örneklerinde yapılan testlerin büyük bir bölümünde toplam araç sayısı üzerinde önemli iyileştirmeler sağladığını göstermişlerdir. Tilk ve Goal (2020) servis saatleri düzenlemelerine uygun olarak araç rotalama ve kamyon sürücüsü çizelgeleme problemi için geriye dönük bir etiketleme yöntemi ve geriye doğru yöntemle oluşturulan etiketlerin bir ileri etiketleme yöntemiyle oluşturulan etiketlerle nasıl birleştirilebileceğini gösteren bir çalışma sunmuşlardır. Bu çift yönlü etiketlemeyi dal-fiyat-kesme algoritmasına dahil ederek ABD ve AB için değerlendirmişlerdir. Çift yönlü dal ve fiyat ve kesme yaklaşımının tek yönlü muadillerinden ve önceki yaklaşımlardan önemli ölçüde daha hızlı olduğunu göstermişlerdir. Mayerle, Chirolı, Figueiredo ve Rodrigues (2020) çalışmalarında yakıt ikmali için ara duraklı, uzun mesafeli, tam yüklü yolculuklarda ağır araç güzergahı ve sürücü programlaması için farklı politikaların ekonomik etkisini ve düzenlemeye dayalı yemek ve dinlenme dönemlerini belirlemek için bir metodoloji sunmuşlardır. Matematiksel bir model ve bir durum-uzay grafik arama yaklaşımı önererek araç rotasının bir varyantı için algoritmik bir çözüm geliştirmişlerdir. Minimum maliyetle maksimum sürüş ve minimum dinlenme süresi gereksinimlerini dikkate alarak Brezilya'daki kamyon sürücüsü örneğini incelemişlerdir. Goel, Vidal ve Kok (2020) çalışmalarında kamyon şirketlerinin karlılıklarını en üst düzeye çıkarmak için hangi koşullar altında tek veya takım sürüşü kullanmaları gerektiğini ele almışlardır. Rotaları ve mürettebat kararlarını eşzamanlı olarak optimize etmek için yeni bir optimizasyon yaklaşımı sunmuşlardır. Çeşitli maliyet faktörleri için, ekip ve tek sürücülerden oluşan bir filonun işletilmesi, sektördeki tipik kar marjlarına kıyasla operasyonel maliyetleri önemli ölçüde azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Sartori, Smet ve Berghe (2021) çalışmalarında yeni bir problem türü olan birbirine bağlı güzergahlara sahip kamyon sürücüsü çizelgeleme problemini bir matematiksel model ve bir etiket yayma algoritmasını ile incelemişlerdir. Deneylerin, algoritmanın çok sayıda birbirine bağlı rotayı hızlı bir şekilde planlayabildiğini ve matematiksel programlama yaklaşımından daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Personel çizelgeleme ile ilgili farklı sektörlerde yapılan çalışmalardan birkaç örnek de aşağıda verilmiştir:

Bedir, Eren ve Dizdar (2017) çalışmalarında vardiya problemini ergonomik koşulları dikkate alarak incelemişlerdir. Uygulama, çalışma saatlerinin ve ergonomik risk faktörlerinin değerlendirilmesi amacıyla yönelik olarak tekstil sektörüne ait bir mağazada yapılmıştır. 39 personelin aylık çizelgeleme planı için AHP ve hedef programlama yöntemlerini kullanmışlardır. Varlı ve Eren (2017) bir hastanede çalışan hemşirelerin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Vardiyalı çalışan bu personellerin atandıkları vardiya sayılarını eşitleme ve vardiyaların peş peşe olması hedefleri için hedef programlama modeli önermişlerdir. Varlı, Alağaç, Eren ve Özder (2017) çalışmalarında Kırıkkale Üniversitesi mühendislik fakültesinde çalışan araştırma görevlilerinin sınav gözetmenlikleri için çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. 9 günlük sınav programında, 36 tane araştırma görevlisinin adaletli bir şekilde çizelgelenmesi için hedef programlama yardımıyla atamaları yapılmıştır. Demirel, Yelek, Alağaç ve Eren (2018) bir metro hattında çalışan güvenlik personelinin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Dört istasyonda toplam 43 personel için, atandıkları vardiya sayılarını eşitleme hedefi doğrultusunda hedef programlama yöntemi ile bir aylık atama ve çizelgelenmeleri yapılmıştır. Eren, Özder, Alakaş ve Özcan (2019) çalışmalarında bir üniversite kampüsünde çalışan güvenlik personelinin belirli noktalara atanması problemini ele almışlardır. 75 güvenlik personelinin bir aylık zaman ufku için çizelgesi elde edilmiştir. Problemin çözümünde kısıt programlama modeli kurulmuştur. Sonuçların mevcut programdan daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Cürebal, Koçtepe ve Eren (2020) tanıtım ve organizasyon sektöründe görevli personellerin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. 84 personelin 15 günlük bir zaman periyodu için, personel yetkinlikleri ve görevlerin önem derecelerini dikkate alarak atama ve çizelgelenmeleri yapılmıştır. Görev önem dereceleri AHP ile belirlenirken problemin çözümü hedef programlama yöntemiyle yapılmıştır.

Problem ele alınırken literatürden farklı olarak, şoförler sefer süresi boyunca sürüş yapmasalar dahi çalışıyor kabul edilerek iş yükü atamaları dengelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca yasal sınırlar dahilinde, şoförlerin günlük alabilecekleri mesafeler dikkate alınarak kısa ve uzun rotalar oluşturulmuş ve bu rotalara farklı sayıda şoför tahsis edilerek seferlerin zamanında tamamlanması amaçlanmıştır. Çalışmamız, kamyon şoförü çizelgeleme konusunda Türkiye'de yapılan ilk çalışmadır.

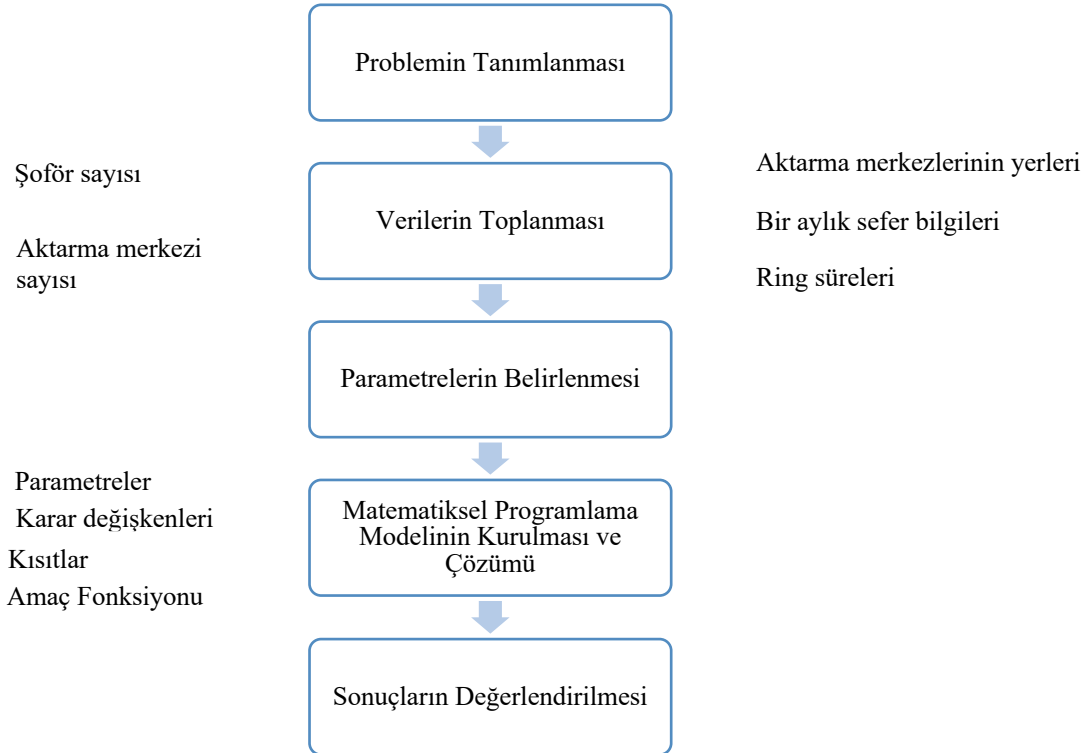
pratikte karşılığı yoktur (Goel, 2012c). Türkiye’de bu düzenlemeler AB Servis Saati Düzenlemeleri’yle aynıdır. Bu düzenlemelere göre aşağıdaki kurallara uyulma yükümlülüğü vardır:

- Günlük sürüş süresi en fazla 9 saattir ve bu durum haftada 2 defayı aşmamak kaydıyla 10 saate çıkartılabilir.
- Haftalık toplam sürüş süresi 56 saati, iki haftalık toplam sürüş süresi 90 saati geçemez.
- Sürekli araç kullanma süresi 4,5 saati geçemez.
- Şoförler 4,5 saat sürekli araç kullandıktan sonra istirahat yapmaz ise, en az 45 dakika mola vermek zorundadır. Bu molalar 4,5 saatlik kesintisiz araç sürüş süreleri içerisinde 15 dakikadan az olmayan molalar halinde de olabilir.
- Şoförler bir gün içerisinde kesintisiz olarak 11 saat dinlenmek zorundadır. Bu dinlenme süresi, iki veya üç farklı zamanda kullanılabilir ve birinin kesintisiz 8 saatten az olmaması gerekir. Bu durumda dinlenme 1 saat artırılarak günlük 12 saat yapılır.
- Günlük 11 saatlik kesintisiz dinlenme süresi aynı hafta içinde 3 defayı geçmemek şartıyla en az 9 saate indirilebilir.
- Araç iki veya daha fazla şoförle kullanılıyor ise, her şoförün 30 saatlik süre içinde kesintisiz olarak 8 saat dinlenmesi gerekmektedir.
- Şoförlerin haftalık çalışma süresi 6 gündür. Haftada en az 1 gün (24 saat) izin kullanmak zorundadırlar.

4. Bir lojistik firmasında şoför çizelgeleme

Bu çalışmada, lojistik sektöründe faaliyet gösteren köklü bir firmada, aktarmalar arası çalışan şoförlerinin 2021 yılı ocak ayı çalışma çizelgesi oluşturulmuştur. 150 şoförün, günlük değişen sefer miktarlarına göre 31 rotaya dengeli bir şekilde atama ve çizelgeleme çalışması matematiksel programlama yardımıyla çözülmüştür.

Uygulama adımlarını gösteren akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Uygulama akış şeması

4.1 Problemin tanımı

Müşterilerinin çoğunluğu İstanbul'da bulunan bir lojistik firması, bu müşterilerden aldığı ürünleri Türkiye genelinde sahip olduğu 31 aktarma merkezine kamyonlarla sevk etmektedir. Çıkışlar Anadolu yakasındaki lojistik merkezinden yükün durumuna göre direkt veya birden fazla aktarma merkezine uğramalı olarak yapılmaktadır. Şoförler görevlendirildikleri aktarmalara ulaşıp yükü boşalttıktan sonra, yasal sürüş ve dinlenme sürelerine uygun olarak çıkış noktasına geri dönmektedirler. Aktarma merkezlerine ulaşan kargolar, o aktarmanın sorumlu olduğu dağıtım alanına kendi araçları ve şoförleriyle yapılmaktadır. Dolayısıyla aktarma merkezi-nihai tüketici arasında yapılan taşımacılık faaliyetinde çalışan şoförler kapsam dışında tutulmuştur.

Aktarma merkezleri arasında Kocaeli, Bursa gibi kısa hat taşınması olanların yanında, Diyarbakır, Erzurum gibi uzun hat taşınmasına konu olan rotalar da mevcuttur. Bu farklı rotaların varlığı, bazı şoförlerin daha fazla çalışmasına ve birkaç gün evine uğrayamamasına sebebiyet verirken, bazı şoförlerin ise daha rahat bir çalışma düzeninde devam etmesine olanak tanımaktadır. Her ne kadar bu dengenin sağlanması için çalışma planları hazırlansa da optimum çözüm sağlanması çok mümkün görünmemektedir.

Seferler haftanın 6 günü yapılmakta ve pazar günleri sefer yapılmamaktadır. Araçların yüklenmesi ilgili günün gece yarısı saat 24:00 ile 05:00 arasında tamamlanmakta ve ortalama olarak saat 04:00 civarı araçlar harekete geçmektedir. Bu durumda cumartesi günü seferi için görevlendirilen bir şoförün pazar günü çalışmaya başladığını söyleyebiliriz.

Tüm bu durumlar göz önüne alındığında, sefer için gerekli belgelerin takibi ve araç sürme haricinde başka bir işle ilgilenmeyen şoförlerin (araç yükleme ve boşaltma yapmıyorlar), ocak ayı boyunca toplamda 26 günlük ve günlük olarak değişebilen sefer sayılarına göre, çalışma sürelerini dengeleyen aylık çalışma çizelgesi yapılması amaçlanmaktadır.

Problem yapısı değerlendirildiğinde seferler birer görev ve seferleri yerine getiren şoförler özdeş makineler olarak düşünüldüğünde problem, paralel makine çizelgeleme problemine benzemektedir. Paralel makine çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanının minimizasyonun amacıyla olduğu gibi, seferler de şoförlere atanarak en yüksek sürüş süresinin minimizasyonu amaçlanmıştır.

4.2 Verilerin toplanması

Probleme ilgili veriler lojistik firmasından ve yapılan araştırmalardan elde edilmiştir. İlk olarak firmadan sevk noktası ile seferlerin yapıldığı aktarma merkezlerinin isim, adet ve adres bilgileri alınmıştır. Güzergâh bilgileriyle bu rotaların uzunlukları Google Maps yardımıyla elde edilmiştir. Gidiş dönüş süreleri, mesafelerin ortalama hıza bölünmesiyle elde edilmiş ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

Çalışma için 2021 yılı ocak ayı örnek alınmıştır. İstanbul çıkış noktasından 31 farklı noktaya gerçekleştirilen tüm sefer bilgileri yine firmadan alınarak, uğramalı seferler (Örnek: İstanbul-Eskişehir-Afyon-Antalya) için nihai noktalar seferin yapıldığı yer olarak düzenlenmiş ve Tablo 4'te gösterilmiştir. Varsayımlar başlığı altında anlatacağımız rotanın kısa-uzun olması durumuna göre şoför sayısı değişeceği için, kısa rotalarda çizelgelenecek şoför sayısı sefer sayısına eşit iken, uzun rotalarda şoför sayısı sefer sayısının 2 katı olacaktır. Toplam da 689 sefer için 1029 şoför atanması yapılmıştır.

4.3 Varsayımların belirlenmesi

Kamyon çizelgeleme problemiyle alakalı birçok şey stabil değildir ve veri olarak bunlara ihtiyaç vardır. Bu yüzden problemin çözümü bazı varsayımlar üzerinden yapılmıştır. Bu varsayımlar şunlardır:

- Kamyonların sefer süreleri boyunca ortalama hızı 60 km/s olarak kabul edilmiştir.
- Araç yükleme ve boşaltma işlemlerinin şoförlerin dinlenme saatinde yapıldığı varsayılmıştır. Dolayısıyla 9 saatlik günlük sürüş süresine etkisi olmadığı söylenebilir.
- Şoförlerin günlük ve haftalık yasal sürüş ve dinlenme süreleri dikkate alınan tasarım hesaplamalarında aşılamaz. Dolayısıyla bunlarla ilgili bir kısıt yazmaya gerek kalmamıştır.
- Şoförlerin yasal dinlenme sürelerini uygun dinlenme yerlerinde geçirdikleri kabul edilmiştir.

- Şoförlerin sefer esnasında iken sürüş yapmadıkları süreler de çalışılan süre olarak kabul edilmiştir.
- Tek şoförün bir günlük sürüş ile alabileceği mesafe 550 km olarak kabul edilmiştir. Bu mesafeye kadar olan rotalar kısa, bu mesafeden uzun olan rotalar uzun rota olarak adlandırılmıştır. Kısa rotalarda 1 şoför çalışırken uzun rotalarda iki şoför çalıştığı varsayılmıştır. Kısa ve uzun rotalar Tablo 5'te gösterilmiştir.
- Şoförlerin, sürüş, dinlenme, yemek molası, araç yükleme boşaltma gibi durumlar bazında tüm rotaların gidiş-dönüş süreleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre aynı gün içerisinde gidip gelenler kısa, 2 güne kadar sürenler orta ve iki günden fazla zaman alanlar uzun ring olarak isimlendirilmiş ve modelde orta ring için iki, uzun ring için üç gün atanmama kısıtı eklenmiştir. Bu sınıflandırma Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 3. Rota uzunlukları ve süreleri tablosu

<i>Çıkış</i>	<i>Variş</i>	<i>Km</i>	<i>Ring sürüş süresi (saat)</i>	<i>Variş</i>	<i>Km</i>	<i>Ring sürüş süresi (saat)</i>
İstanbul	Adana	870	29	Gaziantep	1080	36
	Afyon	400	13	Hatay	1050	35
	Aksaray	620	21	İzmir	480	16
	Ankara	375	12	Kayseri	710	24
	Antalya	660	22	Kocaeli	70	3
	Aydın	530	18	Konya	610	20
	Balıkesir	310	10	Malatya	1070	36
	Bodrum	740	25	Manisa	460	15
	Bursa	190	6	Mersin	930	31
	Çanakkale	430	15	Merzifon	585	20
	Denizli	550	18	Muğla	650	22
	Diyarbakır	1300	44	Samsun	680	23
	Düzce	165	6	Şanlıurfa	1200	40
	Elâzığ	1180	40	Tekirdağ	180	6
	Erzurum	1280	43	Trabzon	1030	34
	Eskişehir	280	9			

Tablo 4. 2021 yılı ocak ayı İstanbul çıkışlı günlük sefer sayıları

Rota no	Rota adı	Gün																														
		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	27	28	29	30	31
1	Adana	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0		
2	Afyon	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0		
3	Aksaray	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	Ankara	2	2	3	2	3	2	2	1	3	2	3	3	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	2	3	2	2	
5	Antalya	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
6	Aydın	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0		
7	Balıkesir	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8	Bodrum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
9	Bursa	2	1	2	2	3	2	2	1	2	2	2	3	2	1	2	2	3	2	4	1	3	2	2	2	3	2	3	2	2		
10	Çanakkale	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
11	Denizli	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
12	Diyarbakır	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	
13	Düzce	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
14	Elâzığ	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
15	Erzurum	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	
16	Eskişehir	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	Gaziantep	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	
18	Hatay	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
19	İzmir	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	1	3	2	3	2	2	2	2	2	2	
20	Kayseri	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
21	Kocaeli	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	
22	Konya	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
23	Malatya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
24	Manisa	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
25	Mersin	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	
26	Merzifon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
27	Muğla	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
28	Samsun	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
29	Şanlıurfa	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	
30	Trabzon	0	0	2	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	2	1	0
31	Tekirdağ	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1

* 3., 10., 17., 24. ve 31. günler pazar gününe denk geldiği için o günler sefer yoktur.

Tablo 5. Kısa ve uzun rotalar

Kısa rota (1 Şoför)	Afyon, Ankara, Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Denizli, Düzce, Eskişehir, İzmir, Kocaeli, Manisa, Tekirdağ
Uzun rota (2 Şoför)	Adana, Aksaray, Antalya, Bodrum, Diyarbakır, Elâzığ, Erzurum, Gaziantep, Hatay, Kayseri, Konya, Malatya, Mersin, Merzifon, Muğla, Samsun, Şanlıurfa, Trabzon

Tablo 6. Ring sınıflandırması

Kısa ring	Balıkesir, Bursa, Düzce, Eskişehir, Kocaeli, Tekirdağ
Orta ring	Adana, Afyon, Aksaray, Ankara, Antalya, Bodrum, Kayseri, Konya, Merzifon, Muğla, Samsun, Aydın, Çanakkale, Denizli, İzmir, Manisa
Uzun ring	Diyarbakır, Elâzığ, Erzurum, Gaziantep, Hatay, Malatya, Mersin, Şanlıurfa, Trabzon

4.1. Problemin matematiksel programlama modeli

Bu bölümde 150 şoförün 31 farklı rotaya, değişen sefer sayıları bazında 31 günlük çizelgeleri yapılmıştır.

Parametreler ve karar değişkenleri

n	: Personel sayısı	$n = 150$
m	: Gün sayısı	$m = 31$
t	: Rota sayısı	$t = 31$
i	: Personel indeksi	$i = 1, \dots, n.$
j	: Gün indeksi	$j = 1, \dots, m.$
k	: Rota indeksi	$k = 1, \dots, t.$
D_{jk}	: j. gün k. rotada görev alacak personel sayısı	$j = 1, \dots, m \quad k = 1, \dots, t.$
S_k	: k. rotanın sürüş süresi	$k = 1, \dots, t.$
O	: Orta ring kümesi	
U	: Uzun ring kümesi	
x_{ijk}	$= \begin{cases} 1, & \text{i. personel j. gün k. rotaya atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$	$i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, m \quad k = 1, \dots, t.$
h_{ij}	$= \begin{cases} 1, & \text{i. personel j. gün izinliyse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$	$i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, m.$
C	: Herhangi bir şoföre atanan en yüksek sürüş süresi	

Matematiksel modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları

$$\text{Min } C \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = D_{jk} \quad \forall j, k \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^t x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$h_{ij} + h_{ij+1} + h_{ij+2} + h_{ij+3} + h_{ij+4} + h_{ij+5} + h_{ij+6} \geq 1 \quad \forall i, j / 25,26,27,28,29,30 \quad (4)$$

$$x_{ijk} + x_{i(j+1)k} + x_{i(j+2)k} \leq 1 \quad \forall i, j / 30 \quad k \in O \quad (5)$$

$$x_{ijk} + x_{i(j+1)k} + x_{i(j+2)k} + x_{i(j+3)k} \leq 1 \quad \forall i, j / 29,30 \quad k \in U \quad (6)$$

$$\sum_{j=4}^{17} \sum_{k=1}^t x_{ijk} * S_k \leq 90 \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_{j=18}^{31} \sum_{k=1}^t x_{ijk} * S_k \leq 90 \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t x_{ijk} * S_k \leq C \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, m \quad k = 1, \dots, t.$$

$$h_{ij} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, m.$$

$$C \geq 0$$

(1) numaralı denklem matematiksel modelde herhangi bir şoföre atanan en yüksek sürüş süresinin minimizasyonunu amaçlamaktadır. (2) numaralı denklem herhangi bir gündeki herhangi bir rotanın personel

ihtiyacını karşılayan talep kısıtını ifade etmektedir. (3) numaralı denklem herhangi bir personelin aynı gün en fazla bir rotaya atanabileceğini gösteren kısıttır. (4) numaralı denklem haftada bir gün izin yapılması gerektiğini ifade etmektedir. (5) numaralı denklem orta ringe atanan şoförlerin sonraki iki gün başka bir rotaya atanmamasını sağlamaktadır. (6) numaralı denklem uzun ringe atanan şoförlerin sonraki üç gün başka bir rotaya atanmamasını sağlamaktadır. (7) numaralı denklem ocak ayının ilk pazartesi gününden başlayarak, iki haftalık süre boyunca sürüş süresinin doksan saati aşamayacağını ifade etmektedir. (8) numaralı denklem ocak ayı içindeki üçüncü ve dördüncü haftalar boyunca sürüş süresinin doksan saati aşamayacağını ifade etmektedir. (9) numaralı denklem sürüş sürelerini dengeleyen kısıtı belirtmektedir.

4.2. Matematiksel modelin sonuçları

Ele alınan problem personel ve rota sayısı itibarıyla büyük çaplı bir problemdir. 144151 adet karar değişkeninden ve 113461 sayıda kısıttan oluşan model IBM Ilog Cplex Optimization Studio programı ile çözülmüştür. Modelin çözümü, "Intel (R) Core (TM) i5-10300H CPU @ 2.50 GHz" işlemcili, 16 GB bellek ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayarda yapılmıştır. Problem 3600 s. zaman sınırı ile çalıştırılmış ve bu zaman sınırına göre elde edilen en iyi sonuçlar verilmiştir. Aylık sürüş sürelerini dengelemeyi amaçlayan çözümde, 126 şoförün 90-95 saat aralığında aylık sürüş yaptığı, kalan 24 şoförün 82,5-89,5 saatler arası toplam sürüş yaptığı Tablo 7'de görülmektedir. Bu seviyede büyük bir problemde oluşan bu farklar makul kabul edilebilir. Sürüş yapmasa dahi yolculuk boyunca araçta yaptığı istirahatler çalışma süresinden kabul edilmektedir. Bundan dolayı aylık sürüş sürelerine ana depoya dönüşüne kadar geçen yük indirme bindirme süreleri de eklendiğinde toplam çalışma süresi elde edilmektedir.

Şoförlerin atandıkları toplam seferlere bakıldığında; 86'sının 7 sefere, 38'inin 6 sefere ve 19'unun 8 sefere atandıkları, kalan 7 şoförün ise 5'er ve 9'ar adet sefer yaptığı Tablo 8'de görülmektedir. Atama tablosu incelendiğinde 5 sefer yapan şoförlerin ağırlıklı olarak uzun rotalara, 9 sefer yapan şoförlerin ise çoğunlukla kısa rotalara atandıkları görülmektedir. Modelin atama tablosu EK 1'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Toplam sürüş sürelerinin şoför sayısı bazında dağılımı

<i>Toplam sürüş süresi (saat)</i>	<i>Şoför sayısı</i>	<i>Toplam sürüş süresi (saat)</i>	<i>Şoför sayısı</i>
82,5	2	90	8
83,5	1	90,5	6
85	1	91	7
86	2	91,5	12
86,5	4	92	12
87	2	92,5	8
87,5	3	93	11
88	1	93,5	8
88,5	4	94	12
89	1	94,5	15
89,5	3	95	27

Tablo 8. Sefer sayılarının şoför sayısı bazında dağılımı

<i>Sefer sayısı</i>	<i>Şoför sayısı</i>
5	4
6	38
7	86
8	19
9	3

Sonuçlar değerlendirildiğinde şoförlerin sürüş sürelerinin genellikle 90 saat ve üzerinde olduğu görülmektedir. Sürüş sürelerinin 90-95 aralığında değiştiği ve dengeli bir atama yapıldığı görülmektedir. Ayrıca sefer sayıları açısından da 6,7 ve 8 sefere atanan şoför sayılarının yoğun olduğu görülmektedir. Orta ve kısa uzunluktaki rotalara sefer sayılarının fazla olması iş yükü ve sefer sayısının dengeli dağılımını sağladığı düşünülmektedir. Rotaların belirlenmesinde ve bu rotalarda görev alacak şoför sayısı belirlenirken sürüş süreleri dikkate alınmıştır. Yöneticiler tecrübelerine göre değişken sürüş sürelerini de dikkate alıp rota sınıflandırmasını daha ayrıntılı yapabilir ve sınıf sayısını artırabilirler.

İlgili firmada uygulanmakta olan her rota için tek şoför çalıştırılması durumu, şoförlerin yasal sınırların dışına çıkarak trafik cezası almalarına ve trafik güvenliğini tehlikeye sokmalarına sebep olmaktadır. Rotalara göre yapılan şoför düzenlemesi, araçların varış yerine zamanında varmasını sağlayarak teslimatların gecikmesinin de önüne geçmektedir. Mevcut çalışma planlarında göz ardı edilebilen dengeli iş yükü ataması sağlanmıştır.

Matematiksel programlama, belirlenen kısıtlar altında tutarlı bir şekilde en uygun çözümü üretmektedir. Şirketlerin iş hedeflerindeki en yüksek verimlilik düzeylerine ulaşmasına yardımcı olur. Uygulama da kabul edilen ring sınıflandırması ve kısa-uzun rota durumu problemi daha karmaşık bir hale getirmiş ve sonucun optimal olmasını etkilemiştir. Rota ayrımı, katedilen mesafeye şoför ve araç sayısında yaşanan değişimden dolayı bu faktörlerin maliyet parametreleri ilave edilerek de yapılabilir. Böylelikle şirketin seferlerde personel ihtiyacının karşılanmasında maliyet etmeni de dikkate alınmış olacaktır.

5. Sonuç

Taşımacılık sektörünün önemi küreselleşmenin etkisiyle daha da artmıştır. Son yıllarda, üreticiler maliyetlerden tasarruf etmek amacıyla üretim tesislerini iş gücünün ucuz olduğu bölgelere kurmaktadır. Ürünün, üretilen noktadan tüketilecek olan noktaya zamanında hareket ettirilmesi, taşıma faaliyeti içindeki tüm unsurların koordineli bir şekilde planlanmasıyla mümkündür. Araç ve şoför planlamaları bu unsurların başında gelir.

Bu çalışmada bir lojistik firmasının bir aylık seferleri için kamyon şoförü çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Ocak ayı verilerinin kullanıldığı çalışmada, 26 gün sefer yapıлып beş gün pazar gününe denk geldiği için ilgili günlerde sefer yapılmamıştır. 31 farklı aktarma merkezine sürekli değişebilen günlük sefer adetleri bazında kısa rotalara bir, uzun rotalara iki şoför görevlendirilerek, mevcut 150 şoför toplamda 1029 kez bu rotalara atanmıştır. Aktarmaların farklı illerde olması dolayısıyla oluşan rota uzunluk farkları sürüş sürelerini de direkt etkilemiştir. Ele alınan problemde aylık sürüş süreleri matematiksel model ile dengelenmiştir. Şoförlerin sürüş sürelerinin dengelenmesi çalışan memnuniyetini artıracaktır.

Sonraki çalışmalar sürüş sürelerinin dengelenmesine ek olarak, sefer sayıları, kısa-uzun rotalara atanma sayıları gibi değişkenleri de dengeleyecek amaçlar da dikkate alınabilir. Ayrıca çıkış noktası birden fazla olan daha karmaşık problemler için de çalışmalar yapılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada Ömer Şeker, verilerin toplanması, hedef programlama modelinin kurulması, modelin çözümü için kodlama yaparak yöntemin uygulanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması; Hacı Mehmet Alakaş, problemin tanımlanması, hedef programlama modelinin kurulması, modelin çözümü için kodlama yaparak yöntemin uygulanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması; Ahmet Cürebal, konu ve literatür araştırmasının yapılması, hedef programlama modelinin kurulması, modelin çözümü için kodlama yaparak yöntemin uygulanması; Tamer Eren, bilimsel yayın araştırmasının yeterliliğinin incelenmesi, yöntem ve uygulamanın incelenmesi ve genel makale incelemesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Bu makalenin yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynakça

- Archetti, C., & Savelsbergh, M. (2009). The trip scheduling problem. *Transportation Science*, 43(4), 417-431. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1090.0278>
- Bedir, N., Eren, T., & Dizdar, E. N. (2017). Ergonomik personel çizelgeleme ve perakende sektöründe bir uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 657-674. doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.331259>
- Benkebir, N., Le Poulighen, M., Trévien, J. F., Bounceur, A., Euler, R., Pardiac, E., & Sevaux, M. (2019). On a multi-trip vehicle routing problem with time windows integrating European and French driver regulations. *Journal on Vehicle Routing Algorithms*, 2(1), 55-74. doi: <https://doi.org/10.1007/s41604-019-00016-3>
- Bernhardt, A., Melo, T., Bousonville, T., & Kopfer, H. (2017). Truck driver scheduling with combined planning of rest periods, breaks and vehicle refueling (No. 14). *Schriftenreihe Logistik der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der htw saar*.
- Bowden, Z. E., & Ragsdale, C. T. (2018). The truck driver scheduling problem with fatigue monitoring. *Decision Support Systems*, 110, 20-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.03.002>
- Cürebal, A., Koçtepe, S., & Eren, T. (2020). Tanıtım Festivalinde Personel Çizelgeleme Problemi: Bir Uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 6(3), 217-229. doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.05>
- Demirel, B., Yelek, A., Alağaç, H. M., & Eren, T. (2018). Ankaray güvenlik personelinin vardiya çizelgeleme probleminin hedef programlama yöntemi ile çözümü. *Demiryolu Mühendisliği*, (8), 1-17.
- Drexler, M., Rieck, J., Sigl, T., & Press, B. (2013). Simultaneous vehicle and crew routing and scheduling for partial-and full-load long-distance road transport. *Business Research*, 6(2), 242-264.
- Eren, T., Özder, E. H., Alakaş, H. M., & Özcan, E. (2019). Kısıt Programlama Yaklaşımıyla Güvenlik Personeli Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(2), 16-25.
- Eren, T., Özder, E. H., & Varlı, E. (2017). Hedef Programlama Yaklaşımı ile Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 114-127. doi: <https://doi.org/10.31466/kfbd.342344>
- Erera, A., Karacık, B., & Savelsbergh, M. (2008). A dynamic driver management scheme for less-than-truckload carriers. *Computers & operations research*, 35(11), 3397-3411. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2007.01.019>
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European journal of operational research*, 153(1), 3-27. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00095-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00095-X)
- Goel, A. (2009a). Scheduling Working Hours of Team Drivers in European Road Transport. doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1532148>
- Goel, A. (2009b). Truck Driver Scheduling and U.S. Hours of Service Regulations. doi: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1370345>
- Goel, A. (2010a). Truck driver scheduling in the European Union. *Transportation Science*, 44(4), 429-441. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1100.0330>
- Goel, A. (2010b). Truck Driver Scheduling and Australian Heavy Vehicle Driver Fatigue Law. In *Proceedings of the 8th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT2010)*, 201-210.
- Goel, A. (2012a). A mixed integer programming formulation and effective cuts for minimising schedule durations of Australian truck drivers. *Journal of Scheduling*, 15(6), 733-741. doi: <https://doi.org/10.1007/s10951-012-0282-0>

- Goel, A. (2012b). The Canadian minimum duration truck driver scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 39(10), 2359-2367. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.12.016>
- Goel, A. (2012c). The minimum duration truck driver scheduling problem. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 1(4), 285-306. doi: <https://doi.org/10.1007/s13676-012-0014-9>
- Goel, A. (2014). Hours of service regulations in the United States and the 2013 rule change. *Transport Policy*, 33, 48-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.02.005>
- Goel, A., Archetti, C., & Savelsbergh, M. (2012). Truck driver scheduling in Australia. *Computers & Operations Research*, 39(5), 1122-1132. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.05.021>
- Goel, A., & Irnich, S. (2017). An exact method for vehicle routing and truck driver scheduling problems. *Transportation Science*, 51(2), 737-754. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.2016.0678>
- Goel, A., & Kok, L. (2009). Efficient truck driver scheduling in the United States. Working paper, University of Twente.
- Goel, A., & Kok, L. (2012a). Efficient scheduling of team truck drivers in the European Union. *Flexible services and manufacturing journal*, 24(1), 81-96. doi: <https://doi.org/10.1007/s10696-011-9086-3>
- Goel, A., & Kok, L. (2012b). Truck driver scheduling in the United States. *Transportation science*, 46(3), 317-326. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1110.0382>
- Goel, A., & Rousseau, L. M. (2012). Truck driver scheduling in Canada. *Journal of Scheduling*, 15(6), 783-799. doi: <https://doi.org/10.1007/s10951-011-0249-6>
- Goel, A., & Vidal, T. (2014). Hours of service regulations in road freight transport: An optimization-based international assessment. *Transportation science*, 48(3), 391-412. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.2013.0477>
- Goel, A., Vidal, T., & Kok, A. L. (2020). To team up or not: single versus team driving in European road freight transport. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 1-35. doi: <https://doi.org/10.1007/s10696-020-09398-0>
- Knust, S., & Schumacher, E. (2011). Shift scheduling for tank trucks. *Omega*, 39(5), 513-521. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.10.009>
- Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O., & Laporte, G. (2016). A comparison of three idling options in long-haul truck scheduling. *Transportation Research Part B: Methodological*, 93, 631-647. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.08.006>
- Koç, Ç., Jabali, O., & Laporte, G. (2017). Long-haul vehicle routing and scheduling with idling options. *Journal of the operational research society*, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1057/s41274-017-0202-y>
- Koubâa, M., Dhoub, S., Dhoub, D., & El Mhamedi, A. (2016). Truck driver scheduling problem: literature review. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1950-1955. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.916>
- Mayerle, S. F., Chiroli, D. M. D. G., de Figueiredo, J. N., & Rodrigues, H. F. (2020). The long-haul full-load vehicle routing and truck driver scheduling problem with intermediate stops: An economic impact evaluation of Brazilian policy. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 140, 36-51. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.07.021>
- Oughalime, A., Ismail, W. R., Liong, C. Y., & Ayob, M. (2009). Vehicle and driver scheduling modelling: A case study in UKM. In *2009 2nd Conference on Data Mining and Optimization, IEEE*, 53-59. doi: <https://doi.org/10.1109/DMO.2009.5341911>
- Rancourt, M. E., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2013). Long-haul vehicle routing and scheduling with working hour rules. *Transportation Science*, 47(1), 81-107. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1120.0417>
- Rancourt, M. E., & Paquette, J. (2014). Multicriteria Optimization of A Long-Haul Routing and Scheduling Problem. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 21(5-6), 239-255. doi: <https://doi.org/10.1002/mcda.1516>
- Sartori, C., Smet, P., & Vanden Berghe, G. (2021). Scheduling hours of service for truck drivers with interdependent routes. *Scheduling hours of service for truck drivers with interdependent routes*.

Tilk, C., & Goel, A. (2020). Bidirectional labeling for solving vehicle routing and truck driver scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 283(1), 108-124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.10.038>

Tokay, S. H., Deran, A., & Arslan, S. (2011). Lojistik maliyet yönetiminde izlenebilecek stratejiler ve muhasebe eğitiminden beklentiler. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 29, 225-244.

Varlı, E., Alağaç, H. M., Eren, T., & Özder, E. H. (2017). Goal Programming Solution of the Examiner Assignment Problem. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(2), 105-118.

Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hemşire çizelgeleme problemi ve hastanede bir uygulama. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 34-40.

Vital, F., & Ioannou, P. (2019). Long-haul truck scheduling with driving hours and parking availability constraints. In *2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, IEEE, 620-625. doi: <https://doi.org/10.1109/IVS.2019.8814011>

Wen, M., Krapper, E., Larsen, J., & Stidsen, T. K. (2011). A multilevel variable neighborhood search heuristic for a practical vehicle routing and driver scheduling problem. *Networks*, 58(4), 311-322. doi: <https://doi.org/10.1002/net.20470>

EK 1: Her bir şoföre ilgili günlerde atanan sefer numaraları

Şoför No	GÜN																															
	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	27	28	29	30	31	
1		28			22			5				22							13			12				7			5			
2							12				8			12						22			21				7			5		
3		4				12						31									15				27			28				
4					17						31					8				5			22				15					
5				3			8					21			24			4			18				1			7				
6		19			31				5				28							15							6					
7					8			22			19			27						7			31				19					
8		18					22							20									29				19			20		
9		28			13			9					17						27			17					1			7		
10			27					1					31							4			18				27			27		
11		9			16			10						18						17				1				24				
12			17					13					19			19												13			10	
13				5					10				17					5				27				5			17			
14				14				9						22							15					27			24			
15						27			8			19				5						18				8			27			
16						14						10			30			29				4				30			5			
17		30	15			30							1					22			8				17							
18						13			28			18				14					22			14					30			
19				9			4				30		19				19				5					27			19			
20						5			15					17							13			12					8			
21					13				17				5			27					31					5			17			
22							28				17				13					22			9			19			14			
23					5			21					20			12					9			15			4			9		
24					12							1				24				27			5			4			21			
25		4				9						13				20				31			5			17				8		
26					4						29					28						5			17				29			
27			27			20							28					19			15				5			28				
28						29								24				31				8			15							
29			15			31					28			7				13				27				31						
30								1			12				8						22			26			14			30		
31			22			15						20								24			14				19					
32			5				1								15				19			19			21			5				
33			20			20							14							19			4			31				9		
34		12				7					4				21					9			31					15				
35			14			4						4							25				18				18					
36						24					31					30				8			9			12				19		
37				8			17					20								5			26				22			18		
38			28					15						10						4			3			28			2			
39					29				24				29								23				9			19				

GÜN																																	
Şoför No	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	27	28	29	30	31		
40					5					2			5				17				24			28			4						
41					19			14			19			5					4			21				1							
42		5			18				30					7					12			25								9			
43		17				25				17											29			31					30				
44				7			25					7			17						5			9				12					
45	20			8						13				29					5			22					15						
46					25							15								27		5			14				4				
47				15								5		18					30			5			9				31				
48				31				15					21						10			14					8			13			
49					31						5			15					5			2				17							
50				4			30					4							5			19			19				18				
51				28			31							25								29					30			12			
52		10			25							28									21			8		15				24			
53	5					27			20			8			8						28			28		21			22				
54	11												8								19			7		18				17			
55		9			9				28					12					9			25					4			19			
56					29					20					2				28			25							18				
57						19						15										22			10		18				5		
58					20			17								14								12				5			22		
59	8					14								9					31				11				17						
60		18				28							27			21				30			1			30				15			
61	18							28				2										18				12				5			
62	1					18							27			20							7			28				24			
63	8			22				4							20						28			4			8			8			
64				12									14				9					24			9			20			8		
65						1					21			8								8			14			14					
66		30			4			19						5						19			15						8				
67						8						7			28					4			27			8			12				
68	25					21			18				21								23			19					14				
69				31					12				4							7			5				4			5			
70	30			5			8						31								4			27		8			5				
71	17						14						9								22		11				5			28			
72					19			27				9			19							5			25				27				
73					30			17					5			17						25				4			13				
74	21	12				29							13			4						4			6								
75					31				22						22				8				27					28			17		
76					19						29									5			20			19			31				
77	29				21			9				22			9							18					1			6			
78		22				15									20					30			24				17				4		
79		20			20			6						30									31				11			27			
80					5				21				12								8			1				2			25		

GÜN

Şoför No	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	27	28	29	30	31	
81			14				22						5					29				1			10			21				
82	27		31				8						15							7						22			20			
83							13				9			22			18				27				29				15			
84		19		22			27						4				21			5					20			25				
85	6		22				5				4			17			8				30							9				
86		4				8						14				22				27				28				17				
87	27		28					18					30				24			4					12							
88				5				20					8			13				8				17			20		27			
89	13		3					6					12							25							5		28			
90			5				19						4			15					28						18					
91						22		5				8									12					31			29			
92			17					4			19			4						9				20				17				
93	9		21				18						5			15					14				1							
94				12							18											12				19			20			
95	20			9				8					15								5				20				17			
96			25				20					22						17				5			13			12				
97			24					13					29						5			21			24			31				
98			25				18						22			22							28			18			7			
99	29						30						28			9						14				5			18			
100						17					27			13				12				13					28			14		
101			30								5				11			28			13				18				12			
102	1			12										25					9			17			21			19				
103				8			5					24			9						23				30			12				
104	5		20				9				5			31				5			9					5			22			
105			9				28						20			18					12				24			30				
106		8				30					9			20				15				20			4			5				
107	24			11			20															22				25			4			
108	28		20				21							15								12				20			22			
109		6											30					18				4			12			5				
110		14				19								11								17				22			4			
111							11				19				12							20				22			5			
112		8					5					12									12				22				19			
113		13			4			2						9							28			12				12				
114		19		28			28				7			18						21			9			13			27			
115							15						1						20			29			20			20				
116	15						5				8			27								19				24			9			
117					5			19			15					12						21						17				
118							22				27				5				20			17				5			31			
119							5				18				4				12				15				30					
120	17					22			22			4									5								30			
121	25						7						31								29				5			17				
122			19					7				4			4							27							17			

GÜN

Şoför No	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	27	28	29	30	31
123				19				29							5			9			19						21			15	
124		4			18											8			28			20					20			18	
125						28			9			31						29				6			9			22			
126				4				19							19			15				21			5			25			
127					24			8				18							31				8				14				
128	22			4			4					27			30					29						29				21	
129		5				14					24				19						8				28			9			
130							24				9			29					22			30					5			23	
131	12				9						28			22						29					9			18			
132					18						20				28			14				28					17				
133	19				17				14				9									3			8			4			
134							31					17				4			9			5			5			28			
135					12								30			27			25				13				22			14	
136	5								17										17				17				27			28	
137	15										12					19						31						31			
138	7	5			15							5			25							22						25			
139				5				30				12				10						19			25				13		
140					5									14							6			15			17				
141	5			11									17									9					19			23	
142		18			4						22			8				1				4				1					
143				21			12						24					14				22				22			4		
144		24							12					25							31				7			10			
145					28			29				27			28							28				4			31		
146		7			31							30			12						17				27			9			
147	2			17					5					5				16				10					9			5	
148		21			10			4				1						27			30			14				8			
149	22					5			5					4						19			9				9			12	
150		12				9							22					1					8			14			22		



Journal of Turkish Operations Management

Comparison of Covid-19 vaccines under different coverage levels and delivery periods

Mustafa Demirbilek^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, Gaziantep Islam Science and Technology University, Gaziantep
e-mail: mustafa.demirbilek@gibtu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1520-2882>

Article Info

Article History:

Received: 19.05.2021
Revised: 10.08.2021
Accepted: 06.09.2021

Keywords:

COVID-19,
SIR Network Model,
Vaccination,
Simulation

Abstract

Ongoing COVID-19 pandemic has caused many hospitalizations, deaths, and huge economic cost worldwide for approximately one and half years. Vaccination has been the most important intervention strategy to stop infectious diseases as COVID-19. Several COVID-19 vaccines have been developed, produced, and delivered for people in several countries. These vaccines have different efficacy levels in between the first and second doses as well as after the second dose and durations to reach the maximum efficacy levels. In this study, we compared three COVID-19 vaccines, Moderna, Biontech, and Sinovac in terms of the number of infected and death people by considering their efficacy levels and durations to reach the maximum efficacy levels on SIR (Susceptible-Infected-Recovered) network model. Since it is a great problem to access enough vaccines for people worldwide, we also consider different coverage levels and delivery periods in the model. The proposed SIR network model is calibrated according to actual COVID-19 cases of six countries. Results show that Biontech is the best vaccine to decrease overall cases; however, results of Moderna and Biontech are quite close and differences between results are not statistically significant in some scenarios. Sinovac vaccines do not perform well compared to Moderna and Biontech. Moderna and Biontech vaccines reduce the number of cases by %24 compared to 17% for Sinovac under 10% coverage level whereas they reduce the number of cases by 70% compared to 58% for Sinovac under 50% coverage level.

1. Introduction

Infectious diseases such as measles, chickenpox, HIV, influenza have been dramatically affecting societies all over the world since the civilization began. For example, the bubonic plague, also called as “Black death”, caused millions of deaths, decreased the population of Europe by between 30% and 60%, and had continuously appeared till 19th century (Demirbilek, 2020). 1918 Spanish Flu, the worst disease outbreak in the last century, caused deaths between 20 and 50 million, more than casualties during WW1 (The Lancet Infectious Diseases, 2018). Recently, COVID-19 pandemic caused 142 million cases and 3.04 million deaths in the world, 4.3 million cases and 35,740 deaths in Turkey since January 2020 (Worldometer, 2021) and the numbers are notably increasing day by day.

To be able to stop or at least slow down effects of the pandemic, some intervention strategies such as vaccine, quarantine, antiviral drugs, lockdowns, etc. exist (Demirbilek, 2021a). One of the most important and common strategies is vaccination. In one hand, vaccination decreases the chance of death and hospitalization for individuals significantly. On the other hand, vaccination is helpful to achieve the herd immunity for societies in a short time (Couch, 1999). 107 vaccine candidates have been developed so far for ongoing COVID-19 pandemic while only 14 of them have been approved by several authorities (COVID-19 Vaccine Tracker, 2021). Pfizer Biontech, Astra Zeneca, Moderna, Sinovac, Sputnik can be shown as examples for important COVID-19 vaccines that have been produced and delivered large quantities in many countries. Although companies have been spending incredible amount of effort to test, produce, and deliver vaccines, the number of vaccines is still insufficient to be able to inoculate the most vulnerable group of people and achieve herd immunity (Fig. 1).

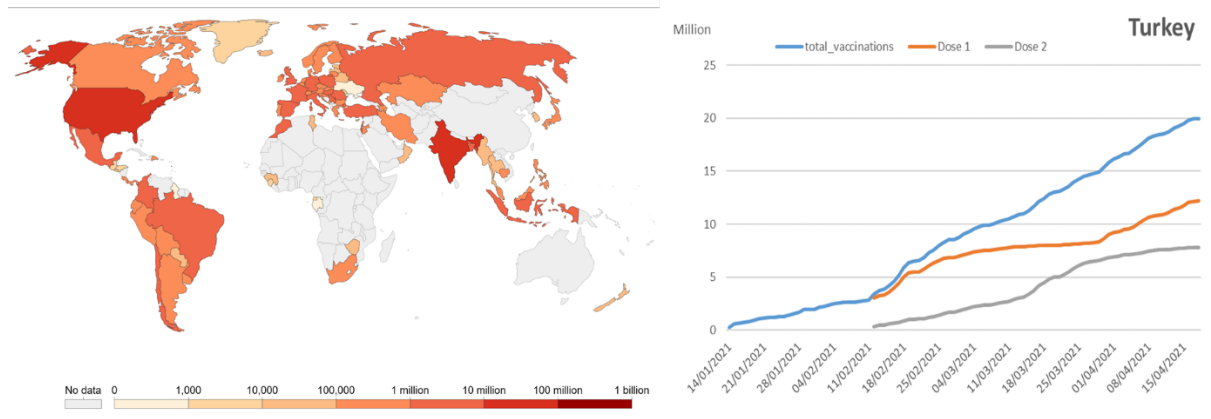


Figure 1. The total number of people that have been fully vaccinated (Our World in Data, 2021) (at the left) and the number of vaccines delivered in Turkey between January 14 and April 15 (T.C. Sağlık Bakanlığı Covid-19 Aşısı Bilgilendirme Platformu, 2021)

Each vaccine has different efficacy level, side effects, price, durations to reach the maximum efficacy level, storage and logistic conditions. The efficacy level or rate is simply the percentage reduction in a disease in a group of people who received a vaccination in a clinical trial. For example, 80% efficacy rate means that one person is infected over 5 vaccinated people. Since the immunity system in a body gradually responds inactivated virus in vaccine, vaccines cannot reach their full efficacy levels in bodies immediately. Particularly, if the vaccination needs more than one dose, the duration to reach the maximum effect takes longer. Therefore, overall efficacy levels and durations to reach the maximum efficacy levels are significant factors to protect individuals from being sick and to achieve herd immunity in the short time. Vaccine companies have revealed different efficacy levels and durations so far. It is important to observe effect of vaccines on the number of COVID-19 related cases based on a vary of efficacy levels and durations to reach the maximum efficacy levels. In this study, we consider three different vaccines, Sinovac, Pfizer Biontech and Moderna, with different efficacy levels and durations to evaluate their effects on the number of cases. To be able to test each vaccine, we first develop a network SIR (Susceptible-Infected-Recovered) model to mimic spread dynamics of COVID-19 pandemic. The model is calibrated based on actual COVID-19 related cases of six different countries. We also consider a vary of coverage levels, simply the proportion of the number of vaccinated people to the whole population, and delivery periods, times available vaccines are distributed. Since different features of vaccines have been revealed recently, any study that examines effects of different vaccines on the number of COVID-19 related cases have not been found in the literature. Main aims of this study are the followings:

- Comparisons of three popular vaccines, Moderna, Biontech and Sinovac in terms of total number of infected and death people during a pandemic,
- Consideration of different vaccine features such as efficacy levels between the first and second doses, maximum efficacy levels, and durations,
- Development of a new SIR Network Model mimicking real life interactions of individuals and spread of the disease,
- Calibrations of parameters in the model based on real COVID-19 cases.

Next section, the proposed model is explained. In Section 3, experimental settings and the calibration process are represented. In Section 4, results of simulations are demonstrated and discussed. We conclude our results and mention some limitations and assumptions.

2. Material and Method

2.1. SIR (Susceptible-Infected-Recovery) Compartmental Models

This model claims that individuals must present in a state, susceptible, infected, or recovered, in a specific time. All people but initially infected start in susceptible state. Whenever a susceptible person is infected, he/she moves to the infected state. Only infected people spread the disease to susceptible people. After predefined recovery time, infected people move to the recovery state or die. These people no more spread the disease or get infected. Fig. 2 shows transmission dynamics in the SIR model.

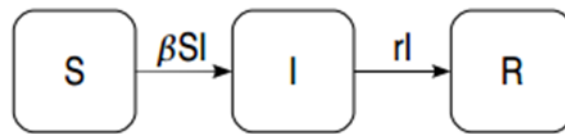


Figure 2. Transmission dynamics in the SIR model (Demirbilek, 2020)

In Figure 3, β shows the proportion of individuals moving to the infected compartment after interactions susceptible (S) people with infected (I) people whereas r represents the rate of recovery in a prespecified time (hour, day, etc.). The rate, β , is related to the spread speed of disease. If β is high, it means that the pandemic quickly spread as well as vanish through a population. Moreover, the recovery rate, r , is related to the recovery period. The longer recovery periods mean the less recovered people in a time lap (Demirbilek, 2021b).

2.2. Network Models

Network models have successfully been used in a variety of areas to inspect phenomena for which interrelationships matter (Craig et al., 2020). In economics, these cover job remittments in labour markets (Calvó-Armengol and Jackson, 2007), ways of international trade (Chaney, 2014), the diffusion of technology (Banerjee et al., 2013), and contagion in financial markets (Elliott, Golub, and Jackson, 2014). Since their suitable structure to model the pattern of transmission, network models can be adapted to model and analyse disease transmissions. Each person in the system is considered as a node and links connect people in same network. If there is no a link between two individuals, they cannot directly contact with each other and spread the disease. However, indirect links can exist if there are some nodes ensured connections between those two.

Although many studies (Walters et al., 2018; Prieto et al., 2012) related to modelling of different diseases have been conducted with SIR compartmental models, network models have been rarely employed for modelling disease purposes since the computational time is the most important obstacle to model relatively big size populations. The existing network models are mostly used for general simulation purposes via off-the-shelf-ready software and websites. FluTE (Chao et al., 2010), epiDMS (Liu et al., 2016), EpiFire (Hladish et al., 2012), FRED (Grefenstette et al., 2013), STRIDE (Kuylén et al., 2017) can be shown as examples for that software. Although this software can be very useful for researchers to observe how changing some parameters can affect some specific results, they do not allow users to configure network types, population structures, all parameters or to embed different environments such as schools, workplaces, and stores to the main frame. Although some provide open-source codes for software, they are very complex to make some modifications and to be executed in reasonable computational times. Therefore, a new flexible network model is coded in this study to consider different age groups in the population, environments such as schools, homes, and workplaces.

In this study, we consider three environments, homes, schools, and workplaces, where people are randomly assigned and connected in the fashion of random networks. Each person must be assigned to a home. Based on their ages, people will be assigned to a school or workplace. Each home, school, and workplace are consisted of a given number of people. We assume that people spend the half of their days at home (Period 1) and the other half at school or workplace (Period 2) daily. We also consider people that stay at home in whole day such as babies, unemployments and elders. Fig. 3 demonstrates the network structure of the study.

Disease transmission in our model is similar to compartmental SIR models. The first half of the day, people only contact with others in their homes. The rate of the fact that a susceptible person, i , is infected by n infected people in his/her home, r_i , is calculated as in Equation 1 (Demirbilek, 2021b).

$$r_i = 1 - p^n \quad (1)$$

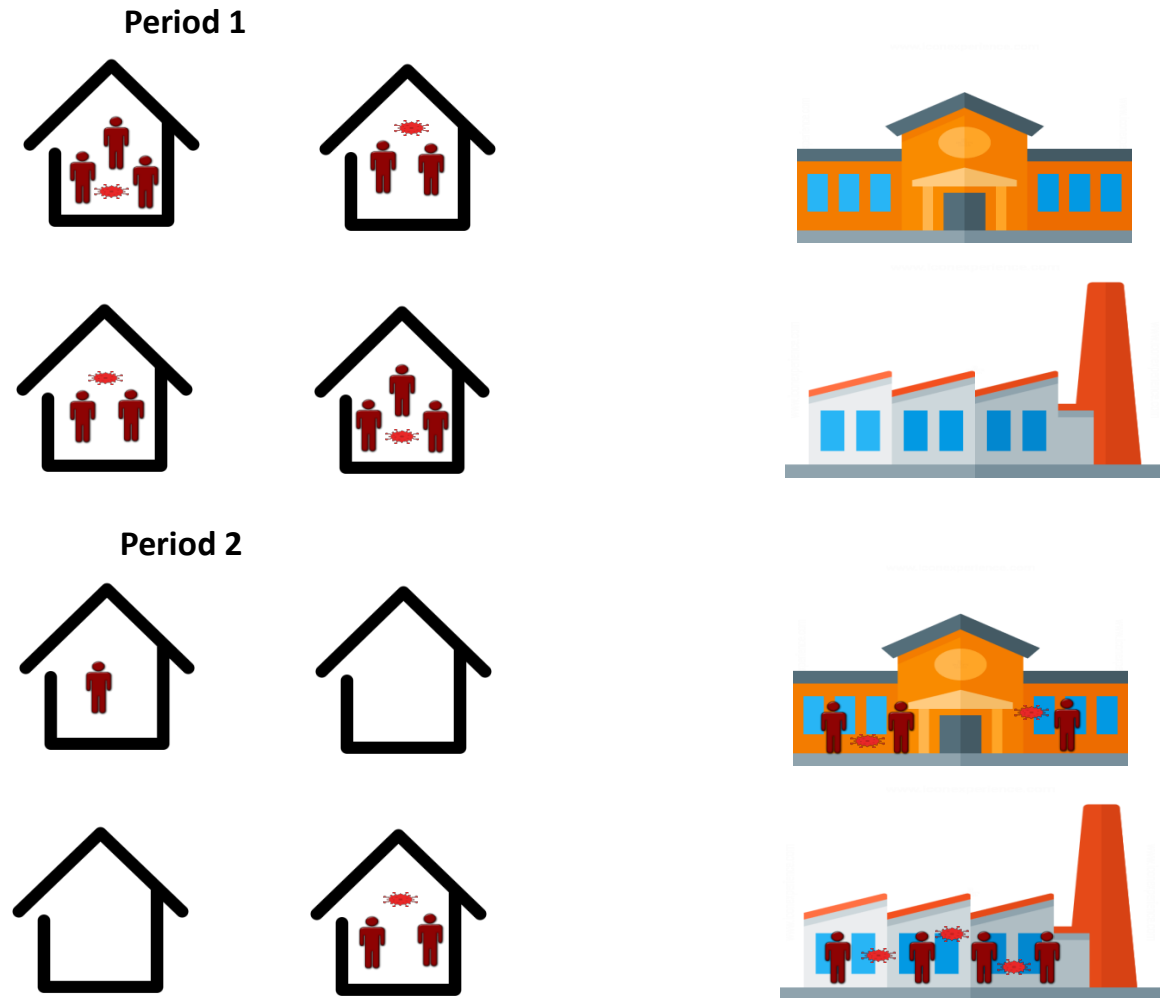


Figure 3. The network structure of this study

P is the transmission probability and assumed to be same for everyone. If r_i is equal or greater than a randomly generated number between 0 and 1, the person is infected. Vaccination directly decreases r_i with the associated efficacy rate. Note that the greater number of infected people exists in the network of a person, the more chance he/she is infected. The other half of the day, people in homes are assigned to schools or workplaces according to their ages while some people (babies, elders, and unemployment people) stay at their homes. The infected rate of each person in school, home, or workplace is calculated based on the number of sick people in their networks. Some people are infected if the calculated rate is equal or greater than randomly generated number. Same procedure is repeated in each day during the pandemic horizon. Whenever a person is infected, a recovery period is assigned to him/her. The person continues to infect people until his/her recovery period finishes. After the person is recovered, neither he/she can infect anybody nor be infected.

Algorithm 1 Pseudo code for pandemic simulation with different scenarios

```

1: Initialize Population
2: Distribute Individuals to Homes, Schools and Workplaces
3:  $DP \leftarrow$  Delivery Period  $\triangleright$  30,60,120 Days
4:  $CL \leftarrow$  Coverage Level  $\triangleright$  10%,30%,50%
5:  $Vaccine \leftarrow$  Vaccine Type  $\triangleright$  Moderna, Biontech, Sinovac
6:  $Trial \leftarrow$  Trials  $\triangleright$  30
7:  $Day \leftarrow$  Set Pandemic Horizon  $\triangleright$  360 Days
8:  $DailyVaccine \leftarrow$  Population* $CL/DP$ 
9: for  $t = 1$  To  $Trial$  do
10:   Initialize Infected Individuals
11:   for  $i = 1$  To  $Day$  do
12:     if  $i$  in  $DP$  then
13:       Randomly Selected People  $\leftarrow$   $DailyVaccine$ 
14:       Set Efficacy Rate of  $Vaccine$  to Each Vaccinated Person
15:     end if
16:     Calibrate Chance of Vaccinated People to be Infected according
    to  $Vaccine$ 
17:     People in Homes are Interacted and Infected
18:     Workers Move from Homes to Workplaces
19:     Students Move from Homes to Schools
20:     People in Homes, Schools, and Workplaces are Interacted and In-
    fected
21:     if  $i$  in Period of Dose 2 for  $Vaccine$  then
22:       Increase the Efficacy Rate of  $Vaccine$  for Vaccinated People
23:     end if
24:     Record Death and Infected Individuals
25:     Set Remaining Recovery Times
26:   end for
27:   Record Total Death and Infected People
28: end for
29: Print Average Number of Death and Infected People

```

Figure 4. Pseudocode for the pandemic simulation

Fig. 4 shows pseudocode for the proposed pandemic model. First two lines represent initialization of population and distribution of people to homes, schools, and workplaces. Next, the delivery period, coverage level, and vaccine type are defined for trials (Line 3-5). Each of 30 trials includes a 360-day pandemic horizon. If a day in the pandemic horizon stays in the vaccine delivery period, the number of unvaccinated and susceptible people are randomly selected and vaccinated (Line 12-15) according to the number of daily vaccines calculated division of the number of people that should be covered by the delivery period (Line 8). As represented on Fig. 3, people interact with only their home mates in the first half of the day whereas they interact with home, school and work mates in the second half of the day. Susceptible people can be infected during these interactions. However, the probability of being infected decreases with the efficacy rate of vaccine if the person is inoculated (Line 16-20). If the time of second dose comes for a person inoculated the first dose, the efficacy rate of vaccine starts to increase from the level between dose 1 and 2 to the maximum level linearly (Line 21-23). Finally, the number of cases is reported trial by trial to be able to calculate results.

3. Experimental Settings

A-year (360 days) pandemic horizon is considered in this study. The peak times fall into around middle of the pandemic. The population is divided into five different age groups, 0-4, 5-19, 20-24, 25-64, 65 and above based on 2019 demographic data, Statistic Association of Turkey. It is assumed that people in 0-4 and 65+ age groups stay at their homes in all day (two periods). All individuals aged between 5 and 19 are assumed to be students. %70 of people aged between 20 and 24 are considered as students whereas the remainings are considered as workers. %85 of people in 25-64 age group are workers and the remainings are unemployed. Note that unemployed people are assumed to stay at their homes all day long as people in 0-4 and 65+ age groups do. The attack rate, the proportion of the number of infected people to total population in a period, is calibrated according to actual COVID-19 related cases of six different countries as in Table 1.

Table 1. Calculations of attack and death rates according to populations, COVID-19 related cases and deaths of six countries (Worldometers, 2021)

Country	Population	Case	Attack Rate	Death	Death Rate
USA	331.002.651	29.862.124	0,090	542.191	0,018
Germany	83.783.942	2.532.855	0,030	73.276	0,029
UK	67.886.011	4.234.924	0,062	124.987	0,030
France	65.273.511	3.963.165	0,061	89.565	0,023
Spain	46.754.778	3.178.442	0,068	71.961	0,023
Italy	60.461.826	3.123.368	0,052	100.811	0,032
Normalized Rates	%7,2	...	%2,1

As it is mentioned before, three COVID-19 vaccines, Moderna, Pfizer-Biontech and Sinovac are compared in terms of the number of cases on the proposed model. According to studies and manufacturers, the efficacies of three vaccines between dose 1 and dose 2 and after dose 2 as well as durations to reach the proposed efficacy levels are demonstrated in Table 2.

Table 2. Data and parameters related to the model

Manufacturer	Timing of 2. Dose (Day)	Estimated Efficacy Between Dose 1 and Dose 2	Efficacy after 2. dose	Duration to Reach Full Efficacy (Day)	References
BioNTech	21	53%	95%	7	(KFF, 2021)
Moderna	28	70%	94%	14	(KFF, 2021)
SinoVac	14	25%	84%	14	(MCBU,2021;BBC, 2021)

The second column in Table 2 shows the number of days is needed for inoculation of the second dose after the first dose has been applied. For example, if a candidate is inoculated at the first time, he/she gets the second dose 21 days later for Biontech, 28 days later for Moderna, or 14 days later for Sinovac vaccines. Estimated efficacy levels between dose 1 and 2 are represented at the third column of Table 2. It is assumed that vaccines reach associated levels as soon as the first dose is applied. The fifth column demonstrates the number of days that vaccines reach the proposed highest efficacy levels. In this situation, it is assumed that vaccines gradually reach the full efficacy levels. Fig. 5 shows linear increments in efficacy levels of three vaccines after the second dose.

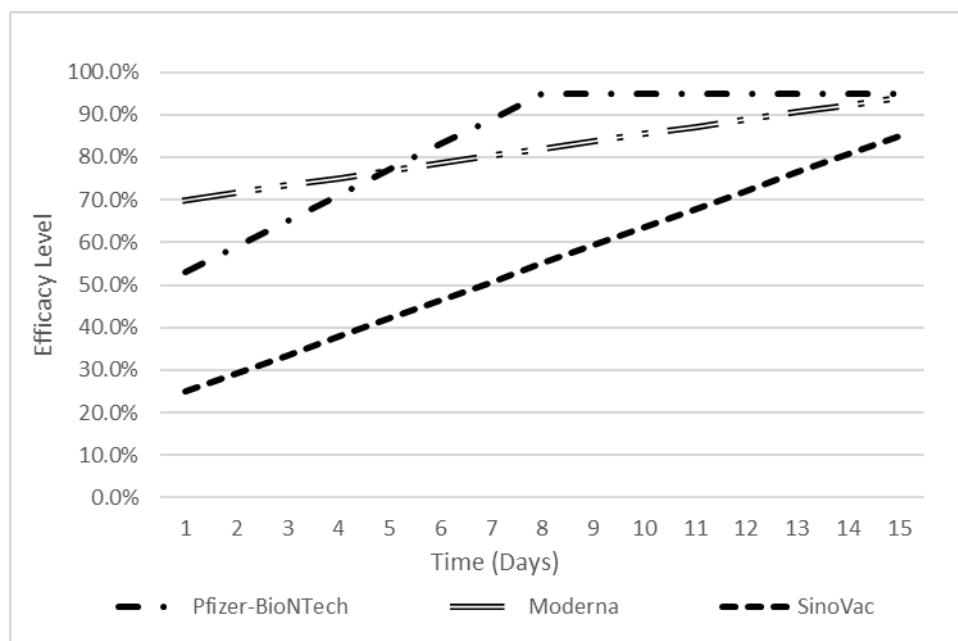


Figure 5. Linear increments in efficacy levels of three vaccines after dose 2

The calibration process is simply to set results of the model in terms of the number of cases according to real COVID-19 cases. Recovery period for each infected person is uniformly distributed between 6 and 9 days. Each simulation starts with 15 initial infected people to be able to begin the pandemic. Since it is impossible that vaccines become available at the beginning of pandemic, distribution of vaccines starts 30 days after the pandemic has begun in this study. We consider three scenarios about distribution times of vaccination. Vaccines can be distributed during 30, 60, and 120 days once the distribution starts (Day 30). It is assumed that the equal number of vaccines are delivered in each day during the distribution horizon. Three different coverage levels, 10%, 30%, and 50%, are taken into consideration. Table 3 shows all data and parameters related to the model.

Finally, since many stochastic parameters such as the recovery period, home/school/workplace sizes, infection possibility, etc. exist in this study, we conduct 30 trials to test each scenario to be able to observe if results are statistically significant. An independent sample t-test is conducted for each scenario and the associated p-value is provided. The model is coded in Python programming language. All tests are made in a PC with Intel i5 7200U 2.5 GHz CPU and 8 GB Ram.

Table 3. Data and parameters related to the model

Attack Rate	7.2%	Coverage Level (%)	10,30,50
Death Rate	2.1%	Distribution Time (Day)	30,60,120
Population (million)	1	Pandemic Duration (Day)	360
Initial Infectious	15	Starting of Vaccination	Day 30
Recovery Period (day)	Uniform (6,9)	School Size (person)	Uniform (290,310)
House Size (person)	Uniform (1,7)	Workplace Size (person)	Uniform (50,100)

4. Results

Table 4, 5 and 6 represent the number of cases for different COVID-19 vaccines and coverage levels according to three different distribution times, 30, 60, and 120 days, respectively. Furthermore, the associated p-value resulted by the independent sample t test is provided for each comparison of two vaccines. For example, in Table 4, the difference between results of Moderna and Biontech under 10% coverage level is not statistically significant since the associated p value (1.0E-01) is greater than the threshold value, 0.05, considered for all tests.

Table 4 shows the number of cases under the 30-day distribution time. First, it is obvious that the coverage levels significantly affect the number of cases. No matter what COVID-19 vaccine is distributed, the number of infected and death individuals decrease more than 60% if the half of the population are inoculated compared to only 10% of the population are. Under all coverage levels, Biontech vaccine seems the best in terms of decreasing the number of cases. However, results of Biontech and Moderna vaccines are quite close. Only under 30% coverage level, the difference between results of Moderna and Biontech is statistically meaningful. On the other hand, the number of cases resulted by Sinovac vaccine are significantly greater than results of Moderna and Biontech. The cases after Sinovac vaccines are delivered are almost 10% more than deliveries of Moderna and Biontech vaccines under 10% coverage level. Under 30% coverage level, the number of cases increases by around 25% whereas the cases rise by roughly 40% under 50% coverage level if Sinovac vaccines are delivered for 30 days instead of Moderna and Sinovac. Notice that differences between all results are statistically significant as seen in Table 4. In this study, it is assumed that no vaccinated person dies due to COVID-19 no matter what vaccine type he/she gets inoculated. Although same number of shots are delivered for three different vaccines, Moderna and Biontech vaccines reduce the number of deaths by approximately 25% compared to Sinovac under 50% coverage level. It means that vaccines with higher efficacy rates provide the herd immunity faster and unvaccinated people harm less from negative effect of the disease.

Table 4. The number of cases for different COVID-19 vaccines and coverage levels for 30-day distribution times and p-values resulted by the independent t tests for comparisons of vaccines

Coverage Level	Vaccines	Infected	Death	Independent Sample T-Test			
				Biontech	Moderna	Sinovac	Baseline
10%	Baseline	74,937	1,764	3.5E-24	3.2E-23	2.4E-17	...
	Biontech	56,117	1,318	...	1.0E-01	1.6E-07	3.5E-24
	Moderna	57,201	1,301	1.0E-01	...	9.1E-06	3.2E-23
	Sinovac	61,346	1,377	1.6E-07	9.1E-06	...	2.4E-17
30%	Biontech	32,875	737	...	7.8E-03	5.6E-17	3.7E-44
	Moderna	34,369	738	7.8E-03	...	2.3E-15	2.2E-44
	Sinovac	40,960	826	5.6E-17	2.3E-15	...	1.2E-38
50%	Biontech	22,179	458	...	6.0E-02	6.4E-26	2.3E-51
	Moderna	22,796	464	6.0E-02	...	2.1E-25	2.3E-51
	Sinovac	31,510	557	6.4E-26	2.1E-25	...	1.6E-45

Table 5 represents the number of cases under the 60-day distribution time. First, compared results of the 60-day delivery to the 30-day delivery of all vaccines, the number of cases is not significantly different under 10% and 30% coverage levels. Under 50% coverage levels, the 30-day longer delivery period causes almost 10% more cases. Similarly, Biontech vaccines decrease the number of cases more compared to Sinovac and Moderna as it does in 30-day delivery time. However, differences between results of Biontech and Moderna are statistically significant in both 30% and 50% coverage levels. Both vaccines perform better compared to Sinovac in all scenarios. Notice that differences between all results are statistically significant as seen in Table 5.

Table 5. The number of cases for different COVID-19 vaccines and coverage levels for 60-day distribution times and p-values resulted by the independent t tests for comparisons of vaccines

Coverage Level	Vaccines	Infected	Death	Independent Sample T-Test			
				Biontech	Moderna	Sinovac	Baseline
10%	Baseline	74,937	1,764	1.4E-21	1.2E-20	9.7E-15	...
	Biontech	57,763	1,325	...	2.8E-01	3.4E-06	1.4E-21

	Moderna	58,335	1,337	2.8E-01	...	3.2E-05	1.2E-20
	Sinovac	62,784	1,416	3.4E-06	3.2E-05	...	9.7E-15
30%	Biontech	34,899	768	...	2.3E-03	1.5E-16	6.0E-44
	Moderna	36,563	802	2.3E-03	...	7.4E-12	1.7E-42
	Sinovac	42,222	866	1.5E-16	7.4E-12	...	1.4E-37
50%	Biontech	24,555	515	...	2.4E-02	4.9E-21	2.3E-49
	Moderna	25,584	529	2.4E-02	...	2.7E-20	1.5E-49
	Sinovac	32,829	589	4.9E-21	2.7E-20	...	8.7E-45

Table 6 represents the number of cases under the 120-day distribution time. Differences between results of the 60-day and 120-day delivery periods do not seem significant whereas differences between results of the 30-day and 120-day delivery periods vary 5% to %32 for 10% and 50% coverage levels respectively. Moderna vaccines provide the best results in terms of cases under 50% coverage level whereas Biontech vaccines decrease the number of cases more under other coverage levels. As results in shorter delivery periods, Sinovac vaccines perform worse than Moderna and Biontech vaccines. Even relatively longer delivery period and lower coverage level, Sinovac vaccines reduce deaths by 17% and infected by 11%.

Table 6. The number of cases for different COVID-19 vaccines and coverage levels for 120-day distribution times and p-values resulted by the independent t tests for comparisons of vaccines

Coverage Level	Vaccines	Infected	Death	Independent Sample T-Test			
				Biontech	Moderna	Sinovac	Baseline
10%	Baseline	74,937	1,764	7.5E-22	1.0E-16	3.3E-13	...
	Biontech	59,105	1,364	...	3.0E-03	1.4E-07	7.5E-22
	Moderna	61,553	1,426	3.0E-03	...	6.7E-03	1.0E-16
	Sinovac	64,112	1,468	1.4E-07	6.7E-03	...	3.3E-13
30%	Biontech	39,449	885	...	3.3E-02	2.4E-13	2.1E-40
	Moderna	40,756	888	3.3E-02	...	3.2E-09	1.7E-38
	Sinovac	46,015	959	2.4E-13	3.2E-09	...	2.1E-34
50%	Biontech	29,966	640	...	8.5E-03	2.7E-18	5.2E-47
	Moderna	28,768	606	8.5E-03	...	1.5E-21	9.8E-48
	Sinovac	36,942	699	2.7E-18	1.5E-21	...	4.4E-42

5. Conclusions

Infectious diseases have been affecting societies and causing millions of infected, deaths, and huge economic cost since the beginning of humankind. Ongoing COVID-19 pandemic has caused a global crisis and the number of infected and death people are significantly rising every day. As helping to vanish previous pandemics, the vaccination is the most important weapon to fight against COVID-19 pandemic. However, this is not an easy task to derive right strain of virus and develop appropriate vaccines. Although almost one and half years passed after the first cases had appeared in Wuhan, China, enough vaccines have not been produced and delivered to be able to achieve herd immunities in many countries. On the other hand, some developed vaccines have different efficacy rates, side effects, prices, durations to reach the maximum efficacy levels, storage and logistic conditions. Particularly, efficacy rates (levels), the percentage reduction in a disease in a group of people who received a vaccination in a clinical trial, directly affect the number of cases. In this study, we compare three popular COVID-

19 vaccines, Moderna, Biontech, and Sinovac with different efficacy rates and durations to reach the full efficacy rates, in terms of the number of cases by considering different coverage levels and delivery periods. A stochastic network SIR model is developed to mimic spread dynamic of the pandemic and calibrated according to actual COVID-19 cases of six countries. Since there are some stochastic parameters such as recovery period, infection possibility, network structure in our model, we consider 30 trials for each scenario related to vaccines, coverage levels, and delivery periods. Associated p-values are calculated based on independent sample t-test for each comparison.

First, results show that Biontech vaccines reduce the number of cases more compared to Moderna vaccines in many scenarios even though the efficacy rate of Moderna vaccines is significantly more than Biontech between the first and second doses. Both Moderna and Biontech perform better compared to Sinovac. When the coverage level increases 10% to 50%, gaps between results of Sinovac and Moderna-Biontech rise sharply. Moderna and Biontech vaccines reduce the number of cases by around %24 compared to 17% for Sinovac under 10% coverage level whereas they reduce the number of cases by 70% compared to 58% for Sinovac under 50% coverage level. We consider three different delivery periods, 30, 60, and 120 days and each period starts 30 days after the beginning of the pandemic. According to results, differences between 30- and 60-day delivery periods are not significant under 10% and 30% coverage levels. However, under 50% coverage level and all scenarios for the 120-day delivery period, inclines in the number of cases vary 10% to 30%. It is concluded that shorter delivery times are quite effective on decreasing the number of cases if an intense vaccination campaign can be arranged.

There are some assumptions and simplifications in this study. First, the proposed model only covers home, work, and school environments where people interact with each other and spread the disease. However, other places such as restaurants, cafes, shopping malls, mosques, etc. where people have commonly been existing in real life. To be able to reduce the complexity of the model, we must ignore these places. Next, it is assumed that efficacy of vaccines increases linearly and stop at the predefined level. However, there is no evidence about linear inclines in efficacy rates in the literature. Moreover, efficacy levels can stay above or below the maximum efficacy levels. Finally, efficacy rates are accepted as being deterministic, same for person to person and trial to trial. However, these rates are stochastic and revealed with confidence intervals.

In future studies, researchers can focus on optimization methods to delivery limited number of vaccines to people based on their ages, chronic illnesses, jobs, etc. for minimizing cases and economic cost.

Conflicts of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References

- BBC, <https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-56267795>, Access Date: April 18, 2021.
- Calvó-Armengol, A. and Jackson, M. O. (2007). Networks in Labour Markets: Wage and Employment Dynamics and Inequality. *Journal of Economic Theory*, 132(1): 27–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jet.2005.07.007>
- Chaney, T. (2014). The Network Structure of International Trade. *American Economic Review*, 104(11): 3600–3634. DOI: <https://doi.org/10.1257/aer.104.11.3600>
- Chao, D.L., Halloran, M.E., Obenchain, V.J. and Longini Jr, I.M., (2010). FluTE, a publicly available stochastic influenza epidemic simulation model. *PLoS computational biology*, 6(1), 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000656>
- Couch, R. B. (1999). Measures for control of influenza. *Pharmacoeconomics*, 16(1), 41-45. DOI: <https://doi.org/10.2165/00019053-199916001-00006>
- COVID-19 Vaccine Tracker, Coronavirus pandemic disease, <https://covid19.trackvaccines.org/>, Access Date: April 18, 2021.
- Craig, B. R., Phelan, T., Siedlarek, J. P., & Steinberg, J. (2020). Improving Epidemic Modelling with Networks. *Economic Commentary*, (2020-23). DOI: <https://doi.org/10.26509/frbc-ec-202023>
- Demirbilek, M. (2020). YAYsim: Salgın Modelleme ve Karar Destek Sistemi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 104-112. DOI: <https://doi.org/10.35193/bseufbd.675734>
- Demirbilek, M. (2021a). The Effect of School/Workplace Closures on COVID-19 Related Incidents. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 62-69. DOI: <https://doi.org/10.31590/ejosat.842793>

- Demirbilek, M. (2021b). Tam ve Kısmi Kapanma Stratejilerinin COVID-19 Salgını Üzerinden Karşılaştırılması. *El-Cezeri*, 8 (2) , 1024-1034. DOI: <https://doi.org/10.31202/ecjse.909927>
- Elliott, M., Golub, B., and Jackson, M. O. (2014). Financial Networks and Contagion. *American Economic Review*, 104(10): 3115–3153. DOI: <https://doi.org/10.1257/aer.104.10.3115>
- Grefenstette, J.J., Brown, S.T., Rosenfeld, R., DePasse, J., Stone, N.T., Cooley, P.C., Wheaton, W.D., Fyshe, A., Galloway, D.D., Sriram, A. and Guclu, H., (2013). FRED (A Framework for Reconstructing Epidemic Dynamics): an open-source software system for modeling infectious diseases and control strategies using census-based populations. *BMC public health*, 13 (1), 940. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-940>.
- Hladish, T., Melamud, E., Barrera, L.A., Galvani, A. and Meyers, L.A., (2012). EpiFire: An open source C++ library and application for contact network epidemiology. *BMC bioinformatics*, 13(1), 76. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2105-13-76>.
- KFF, <https://www.kff.org/coronavirus-covid-19/issue-brief/what-does-a-multi-dose-series-mean-for-the-covid-19-vaccination-effort/>, Access Date: April 18, 2021.
- Kuylen, E., Stijven, S., Broeckhove, J. and Willem, L., (2017). Social Contact Patterns in an Individual-based Simulator for the Transmission of Infectious Diseases (Stride). In *ICCS*, January, 2438-2442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.086>.
- Liu, S., Poccia, S., Candan, K.S., Chowell, G. and Sapino, M.L., (2016). epiDMS: data management and analytics for decision-making from epidemic spread simulation ensembles. *The Journal of infectious diseases*, 214, 427-432. DOI: <https://doi.org/10.1093/infdis/jiw305>.
- MCBU, https://www.mcbu.edu.tr/Haber/MCBUTipFakultesiHastanesiSaglikCalisanlarininYuruttugu_SARSCoV2InaktifSinovacCoronavacAsisininBagisiklikYaniti_ArastirmasiSonuclandi_09_20_7, Access Date: April 30, 2021.
- Our World in Data, <https://ourworldindata.org/covid-vaccinations?country=~TUR/>, Access Date: April 18, 2021.
- Prieto, D. M., Das, T. K., Savachkin, A. A., Uribe, A., Izurieta, R., and Malavade, S. (2012). A systematic review to identify areas of enhancements of pandemic simulation models for operational use at provincial and local levels, *BMC Public Health*, 12(1), 251. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-251>
- T.C. Sağlık Bakanlığı Covid-19 Aşısı Bilgilendirme Platformu, <https://covid19asi.saglik.gov.tr/>, Access Date: April 18, 2021.
- The Lancet Infectious Diseases (2018). How to be ready for the next influenza pandemic. *Lancet Infect. Dis.*, vol. 18, no. 7, p. 697. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30364-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30364-5)
- Walters, C. E., Meslé, M. M. I. and Hall, I. M. (2018). Modelling the global spread of diseases: A review of current practice and capability. *Epidemics*, 25, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2018.05.007>
- Worldometer Data Statistics, Coronavirus pandemic disease, <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries>, Access Date: April 18, 2021.



Journal of Turkish Operations Management

Stok yönetimi için ABC - Küresel Bulanık AHS - ELECTRE tabanlı melez grup karar verme yöntemi ve bir uygulama

Yavuz Selim Özdemir^{1*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara Bilim Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: ysozdemir.phd@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4418-2163>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçişi:

Geliş: 15.05.2021
Revize: 03.09.2021
Kabul: 07.09.2021

Anahtar Kelimeler:

Stok Yönetimi,
Küresel Bulanık AHS,
Grup Karar Verme,
ELECTRE,
ABC,
ÇKKV

Özet

Günümüz ekonomik koşullarında işletmelerin stok maliyetlerini azaltmaları, üretim maliyetlerinin düşmesine ve rekabet gücünün artmasına yol açan önemli faktörlerden bir tanesidir. Bu çalışmanın amacı, uygulanabilir ve etkin bir hammadde-stok yönetim sistemi tasarlayarak oluşabilecek stok açıklarının ve fazlalıklarının önüne geçmektir. Bu amaç doğrultusunda ABC, Küresel Bulanık AHS ve ELECTRE yöntemleri beraber kullanılarak stok analizleri yapılmış ve dört adımdan oluşan yeni bir yöntem önerilmiştir. Birinci adımda ABC analizi kullanılmış, yıllık maliyet ve kullanım miktarlarına göre malzemeler sınıflandırılmıştır. İkinci adımda, Küresel Bulanık AHS metodu kullanılmıştır. Burada ürünün bulunabilirliği, ikame edilebilirliği, verilen siparişin ulaşma süresi ve malzeme fiyatlarının dalgalanmalardan etkilenmesi gibi kriterler ele alınmıştır. Bu kriterler işletme yöneticileri ve üretimden sorumlu mühendislerle beraber değerlendirilmiş ve grup karar verme yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Üçüncü adımda, kriter ağırlıkları ELECTRE yönteminde kullanılarak ürünlerin sıralanması ve bu sıralamaya bağlı gruplanması sağlanmıştır. Son adımda ise ABC ve KB-AHS - ELECTRE'den elde edilen sonuçlar bir araya getirilmiş ve bir değerlendirme skalası elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında önerilen yöntemin mobilya sektörü için bir uygulamasına yer verilmiştir.

ABC - Spherical Fuzzy AHP - ELECTRE based hybrid group decision-making method for stock management and an application

Article Info

Article History:

Received: 15.05.2021
Revised: 03.09.2021
Accepted: 07.09.2021

Keywords:

Stock Management,
Spherical Fuzzy AHP,
Group Decision Making,
ELECTRE,
ABC,
MCDM

Abstract

In today's economic conditions, the reduction of inventory costs of enterprises is one of the important factors that lead to a decrease in production costs and increase in competitiveness. The aim of this study is to prevent stock deficits and surpluses that may occur by designing an applicable and effective raw material-stock management system. For this purpose, stock analyzes were made by using ABC, Spherical Fuzzy AHP and ELECTRE methods and an algorithm with four steps was proposed. In the first step, units were classified by using ABC analysis based on the unit price and demand quantities. In the second step, the Spherical Fuzzy AHP method was used. Here, criteria such as the availability of the product, substitutability, the delivery time of the order, and the effect of the product prices from currency fluctuations are discussed. These criteria have been evaluated together with business managers and engineers responsible for production and the criterion weights have been calculated with a group decision making approach. In the third step, by using the criterion weights in the ELECTRE method, the products are sorted and grouped according to this order. In the last step, the results obtained from ABC and SF-AHP - ELECTRE were combined and an evaluation scale was obtained. Within the scope of this study, an application of the proposed method for the furniture industry is included.

1. Giriş

Mobilya sektörü, Türkiye ekonomisinin önde gelen sektörlerinden bir tanesidir. Ancak son yıllarda sektörde yaşanan daralma ve ekonomik sıkıntılar, her zamankinden daha rekabetçi bir ortam oluşturmaktadır. Bu rekabetçi ortam, mobilya sektörü ile ilgili üretim yapan tüm üreticileri kapsamaktadır. Daha önceleri yüksek kar oranları ile üretim ve satış yapan firmalar, oluşan rekabet ortamından ciddi bir şekilde etkilenmektedir. Tüm bu gelişmelerin sonucunda, sektörün maliyet kalemlerini tekrar gözden geçirmesi bir gereklilik haline gelmiştir.

Üretim süreçlerinde maliyeti arttıran önemli problemlerden bir tanesi de stok takibinin düzgün yapılamamasıdır. Özellikle sipariş üzerine üretim yapan fabrikalarda, siparişin içeriğine göre uyulması gereken bir teslim tarihi bulunabilmektedir. Fabrika, teslim tarihine uymadığında ya da geç teslim yapıldığında yüksek cezalarla karşı karşıya kalabilmektedir. Örneğin, fabrikanın özel boyalı bir sipariş aldığını varsayıldığında, gelen hammadde miktarında veya üretim sürecinde bir problem olması durumunda, eksik parçalar gelene kadar beklenilmesi gerekmektedir. Envanter sistemi olmayan fabrikalar, bu tür risklerden kaçınmak için, her siparişte gereğinden fazla hammadde satın almaktadırlar.

Mobilya sektöründe oldukça büyük bir ürün çeşitliliği bulunmaktadır. Üretilen ürünler kullanım amaçlarına göre, panel mobilya, masif mobilya, kanepeler, oturma grubu, tablalı mobilya (mutfak, banyo, ofis yatak odası), bahçe mobilyaları, mobilya aksesuarları ve parçaları, taşıt mobilyaları, hastane mobilyaları, otel mobilyaları, aksesuarlar, gibi geniş yelpazede sınıflandırılabilir. Sektör, genel itibarı ile KOBİ'lerden oluşsa da artan rekabetçi piyasa koşulları çerçevesinde, fabrikasyon üretime geçen firma sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Fazla sipariş edilen hammaddeler, işletme stoklarını ve maliyetlerini arttırmakta ve stok takibini daha da güçleştirmektedir. Aşırı stok nedeniyle depolama alanları yetersiz kalmakta, bu alanlarda biriken malzemelerin sayımı yapılmamaktadır. Bu sebepten dolayı, her yeni siparişte, elde hammadde olmasına rağmen, fazla sipariş verilmekte ve bu da stokların sürekli artmasına sebep olan bir kısır döngü yaratmaktadır.

Yüksek seviyeli hammadde stoklarının bir diğer nedeni de tedarikçilerdir. Bazı tedarikçiler, işletmeleri gerçek siparişinden daha fazla satın almaya zorlamaktadır. Bazı özel parçaların tedariki için zaman ve parça miktarı kısıtlarına uygun tek tedarikçi olması durumunda, fabrika tedarikçinin verdiği ilave hammaddeleri kabul etmek ve stoklamak zorunda kalmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı; ABC analizini, Küresel Bulanık Sayıları, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerini ve grup karar verme yaklaşımını bir arada kullanarak, literatürde daha önce hiç kullanılmamış etkili bir hammadde envanter yönetim sistemi tasarlamaktır. Önerilen yaklaşımın, seçilen mobilya üretim fabrikası için örnek bir uygulaması yapılmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir; Bölüm 2'de bilimsel yazı taraması bulunmaktadır. Bölüm 3'de önerilen melez yöntemi oluşturan yöntemler genel hatları ile anlatılmış ve önerilen yöntemin algoritması ele alınmıştır. Bölüm 4'de önerilen yöntemin uygulaması yapılmış ve sayısal bir örnek ile adım adım anlatılmıştır. Son bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde stok kontrolü ve envanter planlaması ile yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Inderfurth, çok basamaklı envanter sistemlerinde uygun emniyet stokunun belirlenmesinin önemini vurgulamıştır (Inderfurth, 1991). Ayrıca, bir baz-stok kontrol politikası tarafından yönetilen genel bir seri veya farklı üretim/dağıtım sürecinde emniyet stoklarının optimal büyüklüğünü ve dağılımını belirlemek için bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşım özellikle, son ürün talep korelasyonunun, farklı sistemlerdeki risk havuzu oluşturma etkilerini kullanarak güvenlik stoklarının dağılımı ve büyüklüğü üzerindeki etkisinin dikkate alınmasını sağlamaktadır. Bir başka yaklaşım olan çok aşamalı güvenlik envanterinin optimizasyonu için bir dinamik programlama algoritması Minner tarafından önerilmiştir (Minner, 1997). Algoritma, temel stok politikasına göre stokları miktarını belirlemesini sağlamaktadır. Bununla beraber, stok eksikliğini önlemek veya meydana gelen stoklama miktarını en aza indirmek için her ürün için uygun kısıtlamalar belirlenmiştir.

Gurnani, geleneksel bir envanter analizinin iskonto edilmeyen sabit çevrim maliyetlerine dayandığını söylemiştir (Gurnani, 2007). Paranın zaman değerinin dahil edilmesinin parti büyüklüğü üzerinde önemli bir etkisinin

olmayacağı tartışıldığını vurgulamaktadır. Makalesinde iskonto oranının ekonomik sipariş miktarı ve alternatif iskontolu kar fonksiyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Michalski ise bir işletmenin amacını “değerinin en üst düzeye çıkarılması” olarak tanımlamakta ve envanter yönetiminin de bu temel amacın gerçekleştirilmesine katkıda bulunması gerektiğini vurgulamaktadır (Michalski, 2009). Yazarın çalışmasında değindiği ekonomik sipariş miktarı envanter yönetimi modeli, en uygun teslimat boyutunu işaretlemek ve en ucuz tedarikçiyi seçmek için kullanılmıştır.

Literatürde ABC analizi ve ÇKKV yöntemleri envanter sınıflaması için sıklıkla bir arada kullanılmaktadır. Balaji ve Kumar çalışmalarında Çok Kriterli Envanter Sınıflandırmasının (Multi Criteria Inventory Classification, MCIC) etkili envanter sınıflandırma tekniklerinden biri olduğunu göstermiştir (Balaji & Kumar, 2014). MCIC’de, envanterin sınıflandırılmasında çeşitli kriterler ve alt kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Makalede otomobil kauçuğu bileşeni imalat endüstrisinin envanterinin sınıflandırılması için öncelikle ABC Analizi yapılmış daha sonra envanter sisteminin değerini tahmin etmek için bir Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır. Bir diğer çalışma ise Liu ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Yazarlar çok kriterli ABC analizinin envanter yönetiminde kullanımı üzerine çalışma yapmışlardır (Liu, Liao, Zhao, & Yang, 2016). Çalışmalarında kriterler arasında telafi edilmeyen ABC sınıflandırma problemini incelemişler ve dışa aktarma modeline dayanan bir sınıflandırma yaklaşımı önerilmişlerdir.

Envanter sınıflaması için ABC veya ÇKKV modelleri ile farklı yaklaşımlar da beraber kullanılmaktadır. Hadi tarafından önerilen modelde ise tüm maddeler için ortak bir ağırlık seti belirleyen ve doğrusal olmayan programlama yaklaşımı bulunmaktadır. Model ABC sınıflandırması için birden fazla kriter içermekte ve aynı zamanda nihai çözümde ağırlıkların etkilerini de korumaktadır (Hadi-Vencheh, 2010). Lolli ve Gamberini, Çok Kriterli Envanter Sınıflandırması yönetimlerini kolaylaştırmak için envanter maddelerini çeşitli kriterlere göre gruplandırmayı önermiştir (Lolli, Ishizaka, & Gamberini, 2014). Bu sayede, bir veya daha fazla kilit kriter üzerinde kötü puan alan bir hammaddenin, en iyi sınıfa yerleştirilebilmesi sağlanmıştır. Çalışmada AHS-K-Veto yöntemi ile gizli kötü puanları önlemek için yeni bir varyant yöntem ortaya koyulmuştur.

Literatürde ÇKKV problemleri için yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem ise bulanık AHS yaklaşımıdır. Çakır ve Canbolat, bulanık AHS’ye dayanan bir envanter sınıflandırma sistemi önermişlerdir (Çakır & Canbolat, 2008). Makalede, bulanık kavramlar gerçek envanter verileri ile entegre edilmiştir. Bunun sonucunda çok kriterli envanter sınıflandırmasına yardımcı olan bir karar destek sistemi tasarlanmıştır ve bir uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Küresel bulanık kümeler ise literatürdeki diğer bulanık küme yaklaşımlarına göre oldukça yenidir (Gündoğdu & Kahraman, 2019). KB-AHS yöntemi, Gündoğdu ve Kahraman tarafından önerilmiş ve küresel bulanık setler temel alınarak geliştirilmiştir (Gündoğdu & Kahraman, 2020b). 2020 yılında Ayyıldız ve Gümüş tarafından KB-AHS ve WASPAS yöntemleri ile benzin istasyonu yerleşim yeri seçimi problemi ele alınmıştır. (Ayyıldız & Taskin Gumus, 2020).

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde ABC, AHS, bulanık AHS yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, envanter sınıflaması problemi için literatürde daha önce bir arada kullanılmayan, ABC-KB-AHS yaklaşımı grup karar verme yöntemleri ile beraber uygulanmıştır.

3. Yöntem

Bu çalışmada ele alınan stok problemini çözmek için öncelikle üretimde kullanılan hammaddelerin belirlenmesi gerekmektedir. Hammade envanteri çıkartıldıktan sonra gerekli stok kalemlerini sınıflandırmak için ABC analizi, KB-AHS - ELECTRE yöntemleri ve grup karar verme yaklaşımı uygulanacaktır. Kullanılan AHS yöntemi kriter ağırlıklarının belirlenebilmesi için seçilmiştir. ELECTRE yöntemi ise, alternatiflerin birbirlerine göre kıyaslanmasını temel almasından dolayı tercih edilmiştir.

Çalışmada, üretimde kullanılan hammaddeler için dinamik ve uygun bir envanter yönetimi politikası oluşturmak amaçlanmıştır. Önerilen yaklaşım ile büyük miktardaki üretim stoklarının azaltılması ve öngörülen güvenlik stoku seviyesine ulaşmada daha başarılı olunması hedeflenmektedir. Bu bölümde, çalışmada kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle ABC analizinin detaylarına yer verilecektir. Daha sonra KB-AHS yöntemi anlatılacak ve sonrasında ELECTRE metodundan bahsedilecektir. Son adımda ise, bu çalışmada kullanılan melez

yöntemin adım adım algoritmasına yer verilecektir. Önerilen yöntemin formülasyonuna da yine bu bölümde değinilecektir.

3.1 ABC Analizi

Çok ürünlü envanter sistemlerinde, tüm ürünler eşit derecede karlı değildir. Bu nedenle, kârlı olan kalemleri kârsız kalemlerden ayırmak önemlidir (Ben-Arieh & Qian, 2003). Bir işletmenin bulundurduğu envanterleri eşit değerde değildir. ABC analizi ile envanterler, tahmini önem sırasına göre sınıflandırılmaktadır. ABC analizi bir envanter kategorize tekniğidir ve malzeme yönetiminde kullanılmaktadır. Temel olarak ABC analizi, envanteri üç kategoriye ayırır. Bunlar;

- Çok sıkı kontrol edilmesi gereken ve doğru kayıtlara sahip olması gereken "A öğeleri",
- Daha az sıkı kontrol edilmesi gereken ve görece iyi kayıtlara sahip olması gereken "B öğeleri"
- Mümkün olan en basit kontrollere ve minimum kayıtlara sahip olması gereken "C öğeleri".

ABC analizi, genel envanter maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olan kalemlerin belirlenmesi için bir mekanizma sağlarken, farklı yönetim ve kontroller gerektiren farklı stok kategorilerini belirlemek için de bir mekanizma sağlamaktadır (Dugdale & Jones, 1997).

Bir organizasyon için "A" hammaddeleri çok kritiktir. Bu maddelerin yüksek değeri nedeniyle sık değer analizi yapılması gerekmektedir. Buna ek olarak, işletmenin aşırı kapasiteden kaçınmak için uygun bir sipariş modeli uygulaması gerekir. "B" hammaddeleri de önemlidir, ancak elbette "A" hammaddelerinden daha az ve "C" hammaddelerinden daha fazla önemlidir. Bu nedenle, "B" öğeleri gruplar arası öğelerdir. "C" gurubuna dahil olan hammaddeler ise görece olarak en az öneme sahiplerdir (Dağsuyu, 2019).

Her sınıf için sabit bir eşik yoktur. Hedeflere ve kriterlere göre farklı oranlar uygulanabilir. ABC Analizi, "A" öğelerinin tipik olarak genel değer büyük bir oranını, ancak öğe sayısının küçük bir yüzdesini oluşturması açısından Pareto ilkesine benzemektedir (Çetin & Böker, 2020). ABC sınıfları için bir örnek gösterim aşağıdaki gibidir:

- "A" grubu hammaddeler, yıllık sipariş tutarının yaklaşık %70'ini ve toplam hammadde miktarının %20'sini oluşturur.
- "B" grubu hammaddeler, yıllık sipariş tutarının yaklaşık %20'sini ve toplam hammadde miktarının %30'unu oluşturur.
- "C" grubu hammaddeler, yıllık sipariş tutarının yaklaşık %10'u ve toplam hammadde miktarının %50'sini oluşturur.

ABC analizi basit ama oldukça etkili bir tekniktir. Bu yöntem ile etkin bir lojistik ve tedarik zinciri yönetimi, verimli bir stok optimizasyonu ve maliyet azaltması elde edilebilir.

3.2 Küresel Bulanık AHS Yöntemi

AHS, matematik ve psikolojiye dayalı olarak karmaşık kararları organize ve analiz etmek için geliştirilmiş bir tekniktir. 1980'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir (Saaty, 1980). AHS, bir karar verileceği zaman, bir bireyin veya bir grubun subjektif ve kişisel tercihlerini objektif bir şekilde ortaya çıkartmak için nesnel matematik sağlar. Temel olarak AHS, alternatifleri değerlendirmek ve önceliklerini belirlemek için karar verme sürecinde belirlenen kriterleri kullanır (Pınar, 2020). Bunlar nitel ya da nicel kriterler olabilirler. AHS, hiyerarşik bir yapı içinde karar verme sürecini şekillendiren ve belirlenen karar noktalarının etkisine göre alternatiflerin yüzde önem düzeylerini belirleyen bir metodolojidir. Bu süreçleri oluştururken ikili karşılaştırma prensibinden faydalanır. Sonuç olarak, AHS yöntemi ile bir karar vericinin veya karar verme grubunun en doğru kararı vermesi sağlanır.

Pratikte, insanlar nitel tahminlerde nispeten isabetli olsalar da nicel tahminlerde bulunmada başarısız olabilmektedirler. Pek çok problem için, bazı karar verileri kesin olarak değerlendirilebilirken diğerleri değerlendirilemez. Tercih yargılarındaki belirsizlik, alternatiflerin sıralamasında belirsizliğe ve tercihlerin tutarlılığını tanımlamada güçlüklerle yol açmaktadır.

Çok kriterli karar verme problemlerinin çözüm yöntemleri karmaşık süreçler içerebilir. Problemin çözümü için kullanılan karar verme modelinin/modellerinin başarısı ve karar vericilerin doğru kararı verebilmesi, karar vericiden alınan verilerin kesinliği ile doğru orantılıdır. Ancak çoğu durumda, karar verme sürecindeki dilsel belirsizlikler, karar vericileri hatalı sonuçlara yönlendirmektedir. Bu sorunların bir çözümü olarak bulanık karar verme süreçleri ortaya çıkmıştır.

Klasik karar verme problemlerinde kesin yargılar bulunmaktadır. Ancak belirsizliğin söz konusu olduğu karmaşık karar verme süreçlerinde karar vericinin tercihi, kesin bir değerlendirmelerden ziyade daha genel değerlendirmelerden yana olmaktadır. Karar verme sürecindeki bu dilsel belirsizliklerin ifade edilebilmesi için insan düşüncesine çok benzeyen bulanık kümelerden faydalanılmaktadır (Can, 2018). Bulanık kümeler 1960'lı yılların ortalarında ortaya çıkmıştır ve üyelik fonksiyonları tamsayı ile ifade edilemeyen durumlar için kullanılmaktadır (Lotfi A. Zadeh, 1965).

Bulanık karar verme yöntemlerinde karar vericiler, yargılarını, seçim sürecinin işleminin bulanık doğası nedeniyle sabit değerler yerine bir aralık olarak ifade etmeyi tercih etmektedir. Bulanık mantık ile karar verme süreçlerinin kullanıldığı pek çok çalışma ve farklı yaklaşım literatürde mevcuttur (Özdağoğlu, 2010). Bulanık karar verme yöntemlerinde, klasik bulanık kümeler (Lotfi A. Zadeh, 1965), tip-2 bulanık kümeler (L. A. Zadeh, 1975), aralık değerli (Interval Valued) bulanık kümeler (L. A. Zadeh, 1975), sezgisel (intuitionistic) bulanık kümeler (Atanassov, 1986), bulanık çoklu kümeler (Yager, 1986), sezgisel (intuitionistic) tip-2 kümeler (Atanassov, 1989), Neutrosophic bulanık kümeler (Smarandache, 2006), durağan olmayan (Nonsitatory) bulanık kümeler (Garibaldi & Ozen, 2007), kararsız (Hesitant) bulanık kümeler (Torra, 2010), Pythagorean fuzzy kümeler (Yager, 2014), q-rung orthopair fuzzy kümeler (Yager, 2017) ve son olarak da küresel (Spherical) bulanık kümeler (Gündoğdu & Kahraman, 2019), AHS yöntemi ile beraber kullanılmıştır. Bu çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesi için, Gündoğdu ve Kahraman tarafından önerilen Küresel Bulanık AHS (KB-AHS) yöntemi kullanılmıştır (Gündoğdu & Kahraman, 2020b).

3.2.1 Küresel Bulanık Kümeler (KBK)

U üzerinde tanımlı ve Küresel Bulanık Küme olan \tilde{A}_s 'nin tanımı Eşitlik 1,2 ve 3'de verilmektedir.

$$\tilde{A}_s = \{u, (\mu_{\tilde{A}_s}(u), (v_{\tilde{A}_s}(u)(\pi_{\tilde{A}_s}(u)) | u \in U\} \tag{1}$$

$$\text{Burada, } \mu_{\tilde{A}_s}(u): U \rightarrow [0,1], \quad v_{\tilde{A}_s}(u): U \rightarrow [0,1], \quad \pi_{\tilde{A}_s}(u): U \rightarrow [0,1] \tag{2}$$

ve

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}_s}^2(u) + v_{\tilde{A}_s}^2(u) + \pi_{\tilde{A}_s}^2(u) \leq 1 \quad \forall u \in U \tag{3}$$

Her bir u için $\mu_{\tilde{A}_s}^2(u)$, $v_{\tilde{A}_s}^2(u)$ ve $\pi_{\tilde{A}_s}^2(u)$ sayıları sırası ile u 'nun \tilde{A}_s 'ye üyelik derecesi, üye olmama ve tereddüt derecesidir.

3.2.1 Küresel Bulanık Kümelerde Temel Operatörler

Küresel bulanık kümelerde toplama ve çarpma işlemi Eşitlik 4 ve Eşitlik 5'de verildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s = \left\{ (\mu_{\tilde{A}_s}^2 + \mu_{\tilde{B}_s}^2 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 \mu_{\tilde{B}_s}^2)^2, v_{\tilde{A}_s} v_{\tilde{B}_s}, ((1 - \mu_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2} \right\} \tag{4}$$

$$\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \left\{ \mu_{\tilde{A}_s} \mu_{\tilde{B}_s}, (v_{\tilde{A}_s}^2 + v_{\tilde{B}_s}^2 - v_{\tilde{A}_s}^2 v_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2}, ((1 - v_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - v_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2} \right\} \tag{5}$$

Bir küresel bulanık sayının sabit bir $\lambda \geq 0$ sayısı ile çarpımı Eşitlik 6'da verilmektedir.

$$\lambda \cdot \tilde{A}_s = \left\{ \left(1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda\right)^{\frac{1}{2}}, v_{\tilde{A}_s}^\lambda, ((1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda)^{1/2} \right\} \tag{6}$$

Bir küresel bulanık sayının kuvveti Eşitlik 7'de verilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}_s}^\lambda = \left\{ \mu_{\tilde{A}_s}^\lambda, \left(1 - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda\right)^{\frac{1}{2}}, ((1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda)^{1/2} \right\} \tag{7}$$

Genel Tanımlar: $\tilde{A}_s = (\mu_{\tilde{A}_s}, v_{\tilde{A}_s}, \pi_{\tilde{A}_s})$ ve $\tilde{B}_s = (\mu_{\tilde{B}_s}, v_{\tilde{B}_s}, \pi_{\tilde{B}_s})$ olmak üzere, küresel bulanık küme sayıları olsun. Tüm $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \geq 0$ için Eşitlik 8,9,10,11,12 ve 13'deki özellikler geçerlidir.

i. $\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s = \tilde{B}_s \oplus \tilde{A}_s$ (8)

ii. $\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \tilde{B}_s \otimes \tilde{A}_s$ (9)

iii. $\lambda(\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s) = \lambda \tilde{A}_s \oplus \lambda \tilde{B}_s$ (10)

$$\text{iv. } \lambda_1 \tilde{A}_s \oplus \lambda_2 \tilde{A}_s = (\lambda_1 + \lambda_2) \tilde{A}_s \tag{11}$$

$$\text{v. } (\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s)^\lambda = \lambda. \tilde{A}_s \otimes \lambda. \tilde{B}_s \tag{12}$$

$$\text{vi. } \tilde{A}_s^{\lambda_1} \otimes \tilde{A}_s^{\lambda_2} = \tilde{A}_s^{\lambda_1 + \lambda_2} \tag{13}$$

Tanım: Küresel Bulanık Aritmetik Ortalama (KBAO) Eşitlik 14’de verilmektedir.

$$KB_{AO}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \bigoplus_{i=1}^n w_i \tilde{A}_i = w_1 \tilde{A}_1 \oplus w_2 \tilde{A}_2 \oplus \dots \oplus w_n \tilde{A}_n = \left\{ \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \right. \\ \left. \prod_{i=1}^n v_{\tilde{A}_{si}}^{w_i}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2 - \pi_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \tag{14}$$

Burada, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, her bir $i \in I_n$ için $w_i \in [0,1]$ ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ olacak şekilde KBGO operatörü ile ilişkili bir ağırlık vektörüdür.

Tanım: Küresel Bulanık Geometrik Ortalama (KBGO) Eşitlik 15’de verilmektedir.

$$KB_{GO}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \bigotimes_{i=1}^n \tilde{A}_i^{w_i} = \tilde{A}_{s1}^{w_1} \otimes \tilde{A}_{s2}^{w_2} \otimes \dots \otimes \tilde{A}_{sn}^{w_n} = \left\{ \prod_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}_{si}}^{w_i}, \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - v_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2 - \pi_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \tag{15}$$

Burada, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, her bir $i \in I_n$ için $w_i \in [0,1]$ ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ olacak şekilde KBGO operatörü ile ilişkili bir ağırlık vektörüdür.

3.3 ELECTRE Yöntemi

ELECTRE, 1960’ların ortalarında Avrupa’da ortaya çıkan çok kriterli karar analiz yöntemleri ailesindedir. ELECTRE kısaltması şu anlamda gelmektedir: Elimination Et Choix Traduisant la REalité (ELimination at Choice Translating REality / Gerçekliği Çeviren Eliminasyon ve Seçim).

Yöntem, bir danışmanlık firmasında çalışan Bernard Roy ve ekip arkadaşları tarafından önerilmiştir (Roy, 1968). Bernard ve çalışma arkadaşları, danışmanlık yaptıkları firmaların yeni faaliyetlerine nasıl karar vereceğine dair çok kriterli problemler üzerinde çalışmaktaydılar. Mevcut yöntemler ile yaptıkları uygulamalarda eksikliklerle karşılaşmışlardır. Bunun üzerine ELECTRE yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde amaç, diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinde de olduğu gibi, belirli bir alternatif kümesi içinden en uygun elemanı veya elemanları seçmektir.

ELECTRE yönteminin iki ana bölümü vardır. Birinci bölümde alternatifler, kriterlere göre ikili olarak karşılaştırılır. Bunun sonucunda uyum setleri ve üstünlük matrisleri oluşturulur. İkinci aşamada ise, birinci aşamada elde edilen matrislere dayanılarak alternatifler arasında seçme ve/veya sıralama işlemi yapılmaktadır. Yöntem, üretim sektöründen hizmet sektörüne kadar pek çok farklı alandaki karar verme probleminin çözümünde başarı ile kullanılmaktadır (Figueira, Mousseau, & Roy, 2016).

3.4 Kullanılan Melez Algoritma

Çalışmada kullanılan melez ABC- Bulanık AHS-ELECTRE algoritması aşağıdaki gibidir.

Adım 1: ABC analizi yöntemi ile ürünlerin sınıflandırma işleminin yapılması

Bu adımda envantere ABC analizi yöntemi uygulanır. Bu sayede stoktaki malzemeler A, B ve C grubu olmak üzere 3 farklı gruba ayrılır.

Adım 2: Küresel bulanık AHS yöntemi ile ağırlıkların belirlenmesi.

Adım 2.1: KB-AHS için karar verici grubun oluşturulması.

Problemden bir karar verici olabileceği gibi birden çok karar verici de olabilir. Karar verme probleminin içeriğine ve türüne göre bir karar verici grubuna ihtiyaç olabilir. Böyle bir durumda, öncelikli yapılması gereken, verilecek karara göre bir karar verici grubu oluşturulmasıdır. Bu çalışmada, üç uzmandan oluşan bir karar verme grubu seçilmiştir.

Adım 2.2: Kriterlerin ve alt kriterlerin belirlenmesi. Hiyerarşik karar ağacının oluşturulması.

Bu adımda kriterler ve bu faktörlere ait alt kriterler, hiyerarşik bir düzen içerisinde belirlenir. Başka bir deyişle, problemin tanımına göre uygun kriter seti ortaya koyulur. Bu çalışmada karar noktalarına hiyerarşik olarak bağlı olan kriter sayısı “ n ” ile sembolize edilecektir. Ayrıca, her faktörün ayrıntılı bir açıklamasının yapılması önemlidir. Bu sayede, ikili karşılaştırmalar karar vericiler tarafından daha rahat ve tutarlı yapılabilir.

Adım 2.3: Karar noktalarının belirlenmesi.

Bu aşamada probleme ilişkin alternatifler belirlenir. Bu çalışmada karar noktaları “ m ” ile gösterilecektir.

Adım 2.4: Dilsel dönüşüm tablosunun seçilmesi.

KB-AHS yöntemindeki ikili karşılaştırmalarda kullanılan dilsel değişkenlerin karşı geldiği bulanık sayıların belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada, probleme uygun olarak, literatürdeki dilsel dönüşüm tablolarından bir tanesi seçilmelidir. Bu çalışmada seçilen sayılar, Tablo 1’de verilmektedir.

Adım 2.5: Kriterin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi ve karşılaştırma matrislerinin oluşturulması.

Bu adımda karar vericilerin, KB-AHS yöntemine uygun olarak, kriterleri ikili karşılaştırmalar ile dilsel değerlendirmelerini yapmaları sağlanır. Ardından her bir karar verici için kriterler arası bulanık karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matris iki boyutlu bir kare matristir. Bu matrisin köşegenindeki matris bileşenleri “Eşit Önemli” değerini alır. Karşılaştırma matrisi aşağıda Eşitlik 16 ile gösterilmiştir.

$$\tilde{A}^k = \begin{pmatrix} E\ddot{O} & \tilde{d}_{12}^k & \cdots & \tilde{d}_{1n}^k \\ \tilde{d}_{21}^k & E\ddot{O} & \ddots & \tilde{d}_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1}^k & \tilde{a}_{n2} & \cdots & E\ddot{O} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Burada; \tilde{d}_{ij}^k ; k. karar vericinin, i. kriteri j. kritere tercih etme durumunu ifade etmektedir.

Tablo 1. Kriter karşılaştırmalarında kullanılan bulanık sayılar (Gündoğdu & Kahraman, 2020a)

Dilsel Önem Ölçüsü	(μ, ν, π)	Skor İndeksi (SI)
Kesinlikle Yüksek Önemli (KYÖ)	(0.9, 0.1, 0.0)	9
Çok Yüksek Önem (CYÖ)	(0.8, 0.2, 0.1)	7
Yüksek Önemli (YÖ)	(0.7, 0.3, 0.2)	5
Biraz Fazla Önemli (BFÖ)	(0.6, 0.4, 0.3)	3
Eşit Önemli (EÖ)	(0.5, 0.4, 0.4)	1
Biraz Düşük Önemli (BDÖ)	(0.4, 0.6, 0.3)	1/3
Düşük Önemli (DÖ)	(0.3, 0.7, 0.2)	1/5
Çok Düşük Önemli (CDÖ)	(0.2, 0.8, 0.1)	1/7
Kesinlikle Düşük Önemli (KDÖ)	(0.1, 0.9, 0.0)	1/9

Adım 2.6: Faktör karşılaştırmalarındaki tutarlılığın ölçülmesi.

AHS'nin kendi içinde tutarlı bir sistemi vardır. Ancak sonuçların tutarlı olması, karar vericinin faktörler arasındaki karşılaştırmasının tutarlılığına bağlıdır. KB-AHS’de, ikili karşılaştırmaların tutarlılığını ölçmek için skor indeksleri (SI) kullanılır. Skor indekslerini elde etmek için gerekli formül Eşitlik 17’de verilmektedir. Bu çalışmada kullanılacak SI değerleri hesaplanmış ve Tablo 1’de verilmiştir.

$$SI = \sqrt{100 * \left[(\mu_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{A}_s})^2 - (\nu_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{A}_s})^2 \right]} \quad (17)$$

KB-AHS yönteminde, AHS yönteminde olduğu gibi, her bir ikili karşılaştırma matrisi için Tutarlılık Oranının (CR) ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. CR’nin hesaplanması iki adımda gerçekleştirilir. İlk adımda, Tutarlılık İndeksi (CI) değerinin hesaplanması gereklidir. CI’nin hesaplanması için gerekli formül Eşitlik 18’de verilmektedir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (18)$$

CR değerleri Eşitlik 19'a göre hesaplanır. Hesaplanan değerlerin 0,1'den küçük olması, bulunan önceliklerin ve dolayısıyla faktörler arasındaki bireysel karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. Hesaplama kullanılan Rastgelelik Göstergeleri (RI) değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (19)$$

Tablo 2. RI değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Adım 2.7. Kriterlerin lokal ağırlıklarının hesaplanması

Bu aşamada, grup karar matrisi Eşitlik 15 yardımı ile hesaplanır. Ardından küresel bulanık lokal ağırlıklar Eşitlik 20'ye göre hesaplanır.

$$SWAM = \left\{ \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \prod_{i=1}^n v_{A_{si}}^{w_i}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{si}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{si}}^2 - \pi_{A_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \quad (20)$$

Adım 2.8. KB-AHS ile elde edilen lokal ağırlıkların durulaştırılması

Küresel bulanık lokal ağırlıkların durulaştırılması Eşitlik 21'e göre yapılmaktadır. Bu aşamadan sonra durulaştırılmış lokal ağırlıklar elde edilir.

$$S(w_j) = \sqrt{\left| 100 * \left[\left(3\mu_{\bar{A}_s} - \frac{\pi_{\bar{A}_s}}{2} \right)^2 - \left(\frac{v_{\bar{A}_s}}{2} - \pi_{\bar{A}_s} \right)^2 \right] \right|} \quad (21)$$

Adım 2.9 Global ağırlıkların hesaplanması

KB-AHS'nin son aşamasında ana kriterlerin ve alt kriterlerin global ağırlıkları hesaplanır. Hesaplanan ağırlıklar ELECTRE yönteminin ilk aşamasında kullanılacaktır.

Adım 3. ELECTRE yöntemi ile alternatiflerin sıralanması

Adım 3.1. ELECTRE yöntemi için başlangıç matrisinin oluşturulması

Bir önceki adımda elde edilen global ağırlıklar kullanılarak, ELECTRE yöntemi için aşağıdaki başlangıç matrisi oluşturulur. Başlangıç matrisi A ile ifade edilir ve Eşitlik 22'de gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (22)$$

A matrisinde m karar noktası sayısını, n değerlendirme faktörü sayısını göstermektedir.

Adım 3.2. Standart Karar matrisinin hesaplanması

Başlangıç matrisi olan A'nın elemanlarından faydalanılarak, Eşitlik 23'deki formüle göre, standart karar matrisi (X) elemanları hesaplanmaktadır.

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (23)$$

Adım 3.3. Ağırlıklı Standart karar matrisinin hesaplanması

Kriter ağırlıklarının etkisini, standart karar matrisine yansıtmak için, X matrisinin elemanları ile ağırlıklar çarpılır ve ağırlıklı standart karar matrisi hesaplanır. Hesaplanan matris Y ile gösterilir ve Eşitlik 24'de verilmektedir.

$$Y = \begin{pmatrix} w_1 x_{11} & \cdots & w_n x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 x_{m1} & \cdots & w_n x_{mn} \end{pmatrix} \quad (24)$$

Adım 3.4. Uyum (C_{kl}) ve Uyumsuzluk (D_{kl}) Setlerinin Belirlenmesi

Uyum setlerinin belirlenmesi için, Y matrisinden yararlanılır. Karar noktalarının ikili karşılaştırması sonucu uyum seti elemanları Eşitlik 25'e göre belirlenir. Uyum setinin elemanı olmayanlar doğal olarak uyumsuzluk seti elemanları olur. Burada kriterin maliyet olması durumunda uyum setleri için kullanılan Eşitlik 25'deki formül "<" olarak güncellenir.

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\} \quad (25)$$

Adım 3.5. Uyum (C) ve Uyumsuzluk Matrislerinin (D) Oluşturulması

Uyum ve uyumsuzluk seti elemanlarından faydalanılarak uyum ve uyumsuzluk setleri elde edilir. Uyum matrisi için Eşitlik 26, uyumsuzluk seti için Eşitlik 27'den faydalanılır.

$$c_{kl} = \sum_{j \in c_{kl}} w_j \quad (26)$$

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |y_{kj} - y_{lj}|}{\max_j |y_{kj} - y_{lj}|} \quad (27)$$

Adım 3.6. Uyum Üstünlük (F) ve Uyumsuzluk Üstünlük (G) Matrislerinin oluşturulması.

Uyum üstünlük matrisi oluşturulurken öncelikle Eşitlik 28'de verilen formüle göre uyum eşik değeri hesaplanmalıdır.

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl} \quad (28)$$

F matrisi elemanları (f_{kl}) C matrisi elemanları kullanılarak elde edilir. C matrisi elemanları uyum eşik değerine göre karşılaştırılır. Eğer $c_{kl} \geq \underline{c}$ ise $f_{kl} = 1$ değerini almaktadır. Diğer durumda ise $f_{kl} = 0$ olur. Maliyet kriterinde eşitliklerin aldığı değerler tam tersi olmaktadır.

Uyumsuzluk üstünlük matrisi (G) elemanlarının (g_{kl}) hesaplanması için, uyum üstünlük matrisinde olduğu gibi, öncelikle Eşitlik 29'da verilen formül yardımı ile uyumsuzluk eşik değeri hesaplanmalıdır.

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m d_{kl} \quad (29)$$

D matrisi elemanları uyumsuzluk eşik değerine göre karşılaştırılır. Eğer $d_{kl} \geq \underline{d}$ ise $g_{kl} = 0$ değerini almaktadır. Diğer durumda ise $g_{kl} = 1$ olur. Maliyet kriterinde eşitliklerin aldığı değerler tam tersi olmaktadır.

Adım 3.7. Toplam Baskınlık Matrisinin (E) Oluşturulması

Toplam baskınlık matrisi elemanları (e_{kl}) ile temsil edilmektedir. F ve G matrisi elemanlarının karşılıklı çarpılması ile elde edilir.

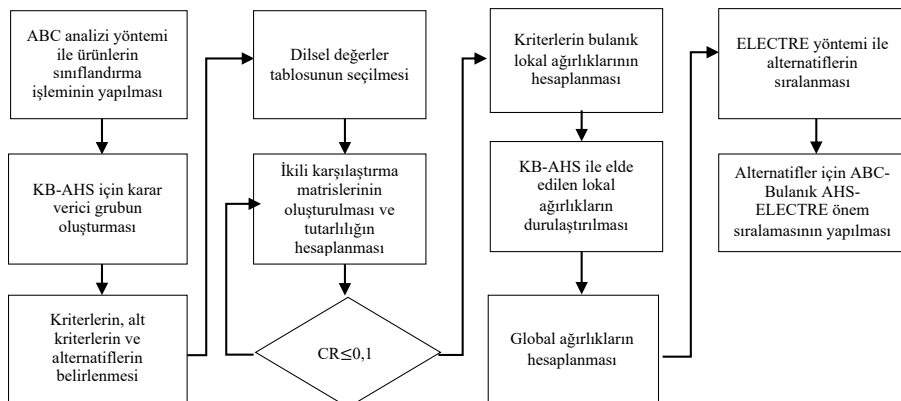
Adım 3.8. Karar Noktalarının Önem Sırasının Belirlenmesi

Toplam baskınlık matrisinde alternatiflerin birbirine göre üstünlükleri gösterilir. E matrisi satır toplamları bulunarak, alternatiflerin toplam baskınlık değerleri elde edilir ve bu değerlere göre alternatiflerin sıralaması yapılır.

Adım 4. Alternatifler için ABC-Bulanık AHS-ELECTRE önem sıralamasının yapılması

ELECTRE yöntemi ile sıralanan alternatifler 3 gruba ayrılır. Örneğin 9 alternatif varsa ilk üç alternatif birinci grup elemanı olur. 7. 8. ve 9. Sıradaki alternatifler de üçüncü sınıfta yer alır.

ABC analizi ile sınıflandırılan alternatifler ile ELECTRE yöntemi sonucu elde edilen üç grup birlikte değerlendirilerek yeni bir sıralama skalası elde edilir. Bu skala sonucunda, envanter listesindeki her bir parça "A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3" gruplarından bir tanesine dahil olur. Önerilen algoritmanın akış şeması Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Önerilen Algoritmanın Akış Şeması

4. Uygulama

Uygulamanın yapıldığı mevcut sistemde, firma sadece özel projeler ve siparişler üzerine üretim yapmaktadır. Ürünler, genellikle siparişin önceliğine göre üretilir. Siparişlerin %70'i firmalardan %30'u ise bireysel müşterilerden gelmektedir. Firmanın aktif çalıştığı tedarikçi sayısı, üretilen ürün yoğunluğuna bağlı olmakla beraber, zaman zaman %100'e ulaşmaktadır. Mevcut durumda firma, talep tahmini için herhangi bir matematiksel model veya metodoloji kullanmamaktadır. Talepler, sezgisel olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca mobilya fabrikasında rastgele dağıtılan depolama alanlarında hammadde stokları yapılmaktadır.

Adım 1: ABC Analizi için firmanın yatak odası mobilyası üretimi yapan bölümü seçilmiştir. Bu bölümde kullanılan parçalar numaralandırılmış ve Tablo 3'de kilogram bazında birim fiyatları, yıllık kullanım miktarları, birikimli yıllık kullanım miktarları, birikimli kullanım yüzdeleri, yıllık maliyetler, birikimli yıllık maliyetler, birikimli yüzde maliyetler ve ABC analizine göre yapılan sınıflandırma sonuçları verilmiştir.

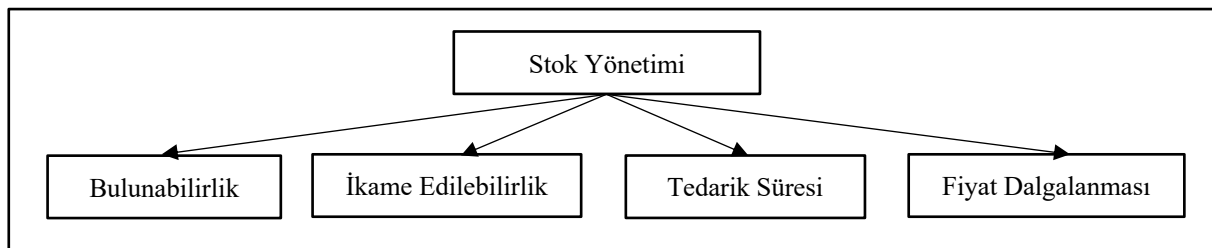
Tablo 3. ABC Analizi

Parça No	Fiyat/kg	Yıllık Kullanım (kg)	Birikimli Kullanım (kg)	Birikimli Kullanım Yüzdesi	Yıllık Maliyet (TL)	Birikimli Maliyet (TL)	Birikimli Maliyet Yüzdesi	Kategori
Parça-1	243,84₺	800	800	%4,30	195.072,00₺	195.072,00₺	%22,00	A
Parça-2	220,82₺	900	1700	%9,13	198.738,00₺	393.810,00₺	%44,40	A
Parça-3	193,34₺	1200	2900	%15,57	232.008,00₺	625.818,00₺	%70,57	A
Parça-4	46,62₺	1560	4460	%23,95	72.727,20₺	698.545,20₺	%78,77	B
Parça-5	38,98₺	1560	6020	%32,33	60.808,80₺	759.354,00₺	%85,62	B
Parça-6	19,80₺	1760	7780	%41,78	34.848,00₺	794.202,00₺	%89,55	B
Parça-7	18,00₺	1920	9700	%52,09	34.560,00₺	828.762,00₺	%93,45	C
Parça-8	9,90₺	3800	13500	%72,50	37.620,00₺	866.382,00₺	%97,69	C
Parça-9	4,00₺	5120	18620	%100,00	20.480,00₺	886.862,00₺	%100,00	C

Tablo 3'de görüldüğü üzere, parça 1, parça 2 ve parça 3 A grubu hammaddelerdir. Toplam maliyetin yaklaşık %70'ini oluştururken, toplam parça adetinin %15'ini oluşturmaktadırlar. Parça 4, parça 5 ve parça 6 B grubu hammaddelerdir. Toplam maliyetin %20'si bu gruptaki hammaddelerden oluşmaktadır. Bununla beraber, bu kategorideki hammaddeler toplam kullanımın %26'sını oluşturmaktadır. Son olarak C grubu parçalar bulunmaktadır. Bu gruptaki parçalar toplam maliyetin %10'unu oluştururken, toplam kullanımın %59'unu oluşturmaktadır.

Adım 2. Küresel Bulanık AHS

Bu çalışmada kullanılan KB-AHS yöntemi için üç karar verici ve dört adet kriter seçilmiştir. Tedarik sırasında istenilen kalite ürünlerin kolay bulunabilmesi, hammaddenin ikame edilebilirliği, siparişin tedarik süresi ve hammaddenin piyasadaki dalgalanmalardan dolayı fiyat değişimlerinden etkilenme oranı olarak belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesi için öncelikle detaylı bir yazın taraması yapılmış ve en sık kullanılan kriterler belirlenmiştir. Bulunan bu kriterler uzmanlar ile beraber değerlendirilmiştir ve çalışmada kullanılan kriterler seçilmiştir. ABC analizinde kullanılan fiyat ve miktar kriterleri, iki kere değerlendirme yapılmaması için özellikle tercih edilmemiştir. KB-AHS hiyerarşisi Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. BK-AHS Hiyerarşik Yapısı

K1 - Bulunabilirlik: Pek çok alanda olduğu gibi, mobilya sektöründe kullanılan hammaddeler farklı marka ve kalitelerde olabilmektedir. Hedeflenen kalite standartlarını tutturabilmek için gerekli olan hammaddenin bulunabilirliğidir. Düşük değer bulunabilirliğin az olduğunu, yüksek değer hammaddenin kolay bulunabildiğini ifade eder.

K2 - İkame Edilebilirlik: İhtiyaç duyulan hammaddenin yerine, imalathane içinden başka bir malzemenin ikame edilebilir olmasıdır. Düşük değer ikame edilebilirliğin az olduğunu, yüksek değer hammaddenin kolaylıkla ikame edilebileceğini ifade eder.

K3 - Tedarik Süresi: Sipariş edilen hammaddenin teslimat süresidir. Düşük değer tedarik süresinin kısa olduğunu, yüksek değer uzun olduğunu ifade eder.

K4 - Fiyat Dalgalanması: Hammaddelerin çeşitli sebeplerden dolayı fiyatında gerçekleşen dalgalanmaları ifade eder. Düşük değer hammadde üzerindeki fiyat dalgalanmasının düşük olduğunu, yüksek değerler dalgalanmanın fazla olduğunu ifade eder.

Hiyerarşik yapı ve alternatifler belirlendikten sonra 3 adet karar verici için ayrı ayrı dilsel değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan kriter karşılaştırmaları, KB-AHS'nin yapısına uygun olarak, Tablo 4'de verilmiştir. Dilsel karşılaştırma tabloları kullanılarak ve Eşitlik 21'den faydalanılarak skor indeksi değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan bu değerlere göre, tutarlılık oranları hesaplanmış ve Tablo 4'de verilmiştir. Buna göre tüm karşılaştırma tablolarının tutarlı olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Karar Verici 1 Tutarlılık Oranı:0,042				Karar Verici 2 Tutarlılık Oranı:0,012				Karar Verici 3 Tutarlılık Oranı:0,069			
	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4
K1	EÖ	BFÖ	EÖ	YÖ	EÖ	YÖ	BFÖ	EÖ	EÖ	EÖ	BDÖ	YÖ
K2	BDÖ	EÖ	EÖ	BFÖ	DÖ	EÖ	EÖ	DÖ	EÖ	EÖ	DÖ	BFÖ
K3	EÖ	EÖ	EÖ	BFÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	BDÖ	BFÖ	YÖ	EÖ	YÖ
K4	DÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	YÖ	BFÖ	EÖ	DÖ	BDÖ	DÖ	EÖ

Adım 2.7'de verildiği üzere, Eşitlik 15'den faydalanılarak, grup karar matrisi oluşturulur. Oluşturulan grup karar matrisi, Tablo 5'de verilmektedir. Ardından küresel bulanık ağırlıklar hesaplanır. Hesaplanan küresel bulanık ağırlıklar yine Tablo 5'de verilmektedir. Son olarak, hesaplanan küresel bulanık ağırlıklar, Eşitlik 21 kullanılarak durulaştırılır. Durulaştırılmış ağırlıklar Tablo 5'de verilmektedir. Bu ağırlıklar üçüncü adımda verilen ELECTRE yönteminde kullanılacaktır.

Tablo 5. Grup karar matrisi, bulanık ve durulaştırılmış ağırlıklar

	K1			K2			K3			K4			\bar{w}_j		w_j	
	μ	v	π	μ	v	π	μ	v	π	μ	v	π	μ	π		
K1	0,50	0,40	0,40	0,59	0,37	0,30	0,49	0,48	0,34	0,63	0,34	0,27	0,559	0,394	0,329	0,293
K2	0,36	0,61	0,32	0,50	0,40	0,40	0,42	0,54	0,36	0,48	0,54	0,28	0,445	0,516	0,344	0,225
K3	0,46	0,51	0,34	0,48	0,45	0,33	0,50	0,40	0,40	0,55	0,46	0,27	0,500	0,453	0,337	0,258
K4	0,33	0,65	0,29	0,48	0,53	0,26	0,42	0,59	0,28	0,50	0,40	0,40	0,439	0,534	0,317	0,225

Adım 3. ELECTRE

Bu aşamada hammaddeler, Adım 2'de belirlenen kriterler cinsinden değerlendirilmiştir. Değerlendirmede 5'li Likert ölçeği kullanılmıştır. ELECTRE için hazırlanan başlangıç matrisi Tablo 6'de verilmektedir.

Tablo 6. ELECTRE Başlangıç Tablosu

	Bulunabilirlik	İkame Edilebilirlik	Tedarik Süresi	Fiyat Dalgalanması
w	0,293	0,225	0,258	0,225
Parça-1	5	1	2	4
Parça-2	3	4	1	2
Parça-3	4	3	5	2
Parça-4	3	4	2	2
Parça-5	5	3	2	5
Parça-6	1	4	1	2
Parça-7	4	5	3	1
Parça-8	5	3	3	4
Parça-9	5	3	4	3

ELECTRE yönteminin adımları izlenerek, önce standart karar matrisi elde edilir. Ardından, bu matris ağırlıklandırılır ve uyum ile uyumsuzluk setleri belirlenir. Bu setler kullanılarak önce uyum ve uyumsuzluk matrisleri bulunur, sonra eşik değerleri belirlenerek uyum üstünlük ve uyumsuzluk üstünlük matrisleri bulunur.

Son olarak bu matrislerin elemanlarının karşılıklı çarpımı ile elde edilen toplam baskınlık matrisi Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7. ELECTRE Toplam Baskınlık ve Grup Tablosu

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Toplam Baskınlık	ELECTRE Grubu
Parça-1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	4	1
Parça-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Parça-3	0	1	0	1	0	1	1	0	0	4	1
Parça-4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3
Parça-5	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
Parça-6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
Parça-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Parça-8	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	2
Parça-9	0	1	0	1	0	0	1	0	0	3	1

Alternatiflerin satır toplamları alınarak toplam baskınlık değerleri hesaplanır.

Adım 4. ABC KB-AHS ELECTRE

ELECTRE yöntemine göre alternatifler, toplam baskınlık değerlerine göre sıralanarak üç gruba ayrılır. Alternatiflerin ait olduğu gruplar Tablo 7’de verilmektedir. Algoritmanın son aşamasında, ABC yöntemi ile belirlenen gruplar ile KB-AHS ELECTRE yöntemi ile belirlenen gruplar bir araya getirilir. Elde edilen sonuçlar ve kategori sıralamaları Tablo 8’de verilmektedir.

Tablo 8. ABC - KB-AHS ELECTRE Kategori Tablosu

Parça No	ABC	KB-AHS ELECTRE	Kategori
Parça-1	A	1	A1
Parça-2	A	3	A3
Parça-3	A	1	A1
Parça-4	B	3	B3
Parça-5	B	2	B2
Parça-6	B	2	B2
Parça-7	C	3	C3
Parça-8	C	2	C2
Parça-9	C	1	C1

Tablo 8’de de görüldüğü gibi, bazı malzemeler ABC sınıflandırmasına göre çok önemli görünse de diğer kriterler değerlendirildiğinde aynı öneme sahip olmayabilir. Buna örnek olarak 2. parça verilebilir. Bu parça ABC sınıflandırmasına göre en önemli ve sürekli izlenmesi gereken A kategorisinde bulunmaktadır. Ancak KB-AHS-ELECTRE yöntemi ve bu yöntemde bulunan kriterler dikkate alındığında, parçanın önemi daha düşük çıkmaktadır. A, B ve C gruplandırılmaları, malzemelerin önemini gösterirken 1,2 ve 3 numaralı gruplar tutulması gereken stok miktarını göstermektedir. A grubu malzemeler katma değeri yüksek ve üretim süreçleri için kritik malzemelerdir. Bu gruptaki malzemelerin stok seviyeleri sıklıkla ve yakından izlenmeli ve yeterli emniyet stoku tutulmalıdır. B grubu malzemeler daha az öneme sahiptir. Bu gruba ait malzemelerin stok miktarları daha seyrek izlenebilir. C grubu ise en az öneme sahip gruptur. Bu gruba ait malzemelerin stok miktarları diğer iki gruba göre daha düşük periyotlarda izlenebilir.

ABC analizi oldukça etkili bir yöntem olsa da bazı noktalarda eksik kalmaktadır. Bu sebepten dolayı alt gruplandırmalar yapmak, stok yönetimine büyük katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada ABC yöntemi ana gruplandırmaları yapmak için, KB-AHS ELECTRE yöntemini de alt gruplandırmaları yapmak için bir arada kullanılmıştır. Önerilen yöntemde her bir gruba ait üç adet alt grup bulunmaktadır. 1 numaralı gruba ait malzemeler için daha yüksek emniyet stoku tutulması gerekmektedir. Bu gruptaki malzemeler göreceli olarak daha zor bulunan, ikamesi az olan, tedarik süresi daha uzun olan ve fiyat dalgalanmalarından daha fazla etkilenen malzemelerdir. 2 numaralı gruptaki malzemeler, buldukları ABC grubuna göre ortalama stok miktarında tutulabilir. Üç numaralı gruptaki malzemeler ise, kolay bulunan, ikamesi kolay olan, tedarik süresi kısa olan ve kur dalgalanmalarından daha az etkilenen malzemelerdir. Bu malzemelerin stok miktarları azaltılarak stokta tutma maliyetleri azaltılabilir.

5. Sonuç ve Öneriler

İşletmeler için etkili bir stok yönetimi hayati önem taşımaktadır. Çalışmada ele alınan imalathanede, bazı hammaddeler gereğinden fazla stoklamakta, bazı hammaddeler ise ihtiyacın altında stoklamakta ve bu hem maliyetleri arttırmakta hem de üretim süreçlerini sekteye uğratmaktadır. Bu çalışmanın amacı, işletmede yaşanan stok problemini ortadan kaldırmaktır. Makalede, mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için melez bir algoritma önerilmiştir.

Kullandığımız ilk yöntem, literatürde ve uygulamada oldukça yaygın olarak kullanılan üretim ve stok kontrol tekniklerinden biri olan, ABC sınıflandırma analizidir. Bu sınıflamada, yıllık kullanım miktarı ve maliyetler göz önünde bulundurulur. Ardından malzemeler üç sınıfa ayrılır. ABC analizi oldukça etkin bir yöntem olsa da değerlendirilmede sadece iki kriter bulunmasından dolayı stok analizinde yetersizlikler ortaya çıkmaktadır.

ABC yöntemine ek olarak alt gruplandırmaların yapılması, stok yönetimine büyük katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada KB-AHS ELECTRE yöntemi alt gruplandırma için kullanılmıştır. Bu yöntemle hammaddeler, tedarik sırasında ürünlerin bulunabilirliği, malzemenin diğer malzemeler ile veya başka departmanlardan ikame edilebilirliği, siparişlerin tedarik süresi ve fiyat dalgalanmalarından etkilenmesi gibi dört farklı kriter ile değerlendirilir. Ölçüt ağırlıkları KB-AHS yöntemi ile hesaplanır ve ELECTRE yöntemi ile sonuçları ile sınıflandırma yapılır. Son olarak sonuçlar ABC Analizi ile birleştirilir ve son bir envanter sınıflandırması elde edilir.

Envanter sınıflandırması problemi için geçmiş çalışmalarda ABC ve ÇKKV yöntemlerinin bir arada kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada ele alınan problem için literatürde daha önce bir arada kullanılmayan ABC-KB-AHS yaklaşımı, grup karar verme yöntemleri ile beraber uygulanmıştır. Önerilen bu yöntem, ABC analizine ek olarak KB-AHS ile birden çok karar vericinin dilsel ifadelerinin de sonuçlara yansıtılmasını sağlamıştır.

İleriki çalışmalarda, ELECTRE yöntemine de bulanık mantık uygulanabilir. Ayrıca TOPSIS, PROMETHEE gibi farklı yöntemler kullanılarak sonuçların karşılaştırması yapılabilir. Buna ek olarak, malzemelerin düzenli stok kontrolü için bir EOQ modeli oluşturulabilir. Elde edilen model ile her bir sınıf için sipariş miktarı, çevrim süresi ve yeniden sipariş noktası de hesaplanabilir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)

Atanassov, K. T. (1989). More on intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 33(1). [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(89\)90215-7](https://doi.org/10.1016/0165-0114(89)90215-7)

Ayyıldız, E., & Taskin Gumus, A. (2020). A novel spherical fuzzy AHP-integrated spherical WASPAS methodology for petrol station location selection problem: a real case study for İstanbul. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09640-0>

Balaji, K., & Kumar, V. S. S. (2014). Multicriteria inventory ABC classification in an automobile rubber components manufacturing industry. In *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.044>

Ben-Arieh, D., & Qian, L. (2003). Activity-based cost management for design and development stage. *International Journal of Production Economics*, 83(2). [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00323-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00323-7)

Cakir, O., & Canbolat, M. S. (2008). A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology. *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.08.041>

- Can, G. F. (2018). Intuitionistic Fuzzy TLX (IF-TLX): Implementation of Intuitionistic Fuzzy Set Theory for Evaluating Subjective Workload. *Journal of Turkish Operations Management*, 2(1), 79–90. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/jtom/issue/40793/514530>
- Çetin, O., & Böker, Z. (2020). Sağlık Sektöründe ABC-VED AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Çok Kriterli Stok Sınıflandırması. *Öneri Dergisi*. <https://doi.org/10.14783/maruoneri.676528>
- Dağsuyu, C. (2019). Bulanık ABC-VED Analizi ile Metal Sektöründe Stok Sınıflandırması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. <https://doi.org/10.17482/uumfd.479764>
- Dugdale, D., & Jones, T. C. (1997). How many companies use ABC for stock valuation? A comment on Innes and Mitchell's questionnaire findings. *Management Accounting Research*, 8(2), 233–240. <https://doi.org/10.1006/mare.1996.0043>
- Figueira, J. R., Mousseau, V., & Roy, B. (2016). ELECTRE methods. *International Series in Operations Research and Management Science*. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_5
- Garibaldi, J. M., & Ozen, T. (2007). Uncertain fuzzy reasoning: A case study in modelling expert decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(1). <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.889755>
- Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. <https://doi.org/10.3233/JIFS-181401>
- Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C. (2020a). A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04222-w>
- Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C. (2020b). Spherical fuzzy analytic hierarchy process (AHP) and its application to industrial robot selection. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_117
- Gurnani, C. (2007). Economic analysis of inventory systems. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207548308942352>
- Hadi-Vencheh, A. (2010). An improvement to multiple criteria ABC inventory classification. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.04.013>
- Inderfurth, K. (1991). Safety stock optimization in multi-stage inventory systems. *International Journal of Production Economics*. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(91\)90157-O](https://doi.org/10.1016/0925-5273(91)90157-O)
- Liu, J., Liao, X., Zhao, W., & Yang, N. (2016). A classification approach based on the outranking model for multiple criteria ABC analysis. *Omega (United Kingdom)*. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.07.004>
- Lolli, F., Ishizaka, A., & Gamberini, R. (2014). New AHP-based approaches for multi-criteria inventory classification. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.05.015>
- Michalski, G. (2009). Inventory management optimization as part of operational risk management. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 213–222. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1562699
- Minner, S. (1997). Dynamic programming algorithms for multi-stage safety stock optimization. *OR Spectrum*. <https://doi.org/10.1007/BF01539783>
- Özdağoğlu, A. (2010). Analysis of selection criteria for manufacturing employees using fuzzy-AHP. *DEÜ İşletme Fakültesi Dergisi*, 9(1), 141–160. Retrieved from <http://web.deu.edu.tr/dergi/index.php/isletme/article/view/18/0>
- Pınar, A. (2020). Tedarikçi seçiminde kullanılan çok kriterli karar verme metotları. *Journal of Turkish Operations Management*, 2(4), 449–478. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/jtom/issue/59336/851846>
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue Française d'informatique et de Recherche Opérationnelle*, 1, 57–75. Retrieved from http://www.numdam.org/item/RO_1968__2_1_57_0/

- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. *Education*, 1–11. <https://doi.org/10.3414/ME10-01-0028>
- Smarandache, F. (2006). Neutrosophic set - A generalization of the intuitionistic fuzzy set. In 2006 IEEE International Conference on Granular Computing (pp. 38–42). <https://doi.org/10.1109/grc.2006.1635754>
- Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529–539. <https://doi.org/10.1002/int.20418>
- Yager, R. R. (1986). On the theory of bags. *International Journal of General Systems*, 13(1). <https://doi.org/10.1080/03081078608934952>
- Yager, R. R. (2014). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958–965. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2013.2278989>
- Yager, R. R. (2017). Generalized Orthopair Fuzzy Sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(5), 1222–1230. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2016.2604005>
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information Sciences*, 8(3), 199–249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)
- Zadeh, Lotfi A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338–353. <https://doi.org/10.1109/2.53>



Journal of Turkish Operations Management

Modelling and predicting the growth dynamics of covid-19 pandemic: A comparative study including Turkey

Nadi Serhan Aydın¹, Erfan Babae Tirkolae^{2*}

¹ Department of Industrial Engineering, Istinye University, Maltepe Neighbourhood, Teyyareci Sami Street, Building No.3, Zeytinburnu, Istanbul, 34010, Turkey

e-mail: serhan.aydin@istinye.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1453-0016>

² Department of Industrial Engineering, Istinye University, Maltepe Neighbourhood, Teyyareci Sami Street, Building No.3, Zeytinburnu, Istanbul, 34010, Turkey

e-mail: erfan.babae@istinye.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1664-9210>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 08.08.2021

Revised: 16.09.2021

Accepted: 17.09.2021

Keywords

Epidemics Modelling,
Exponential Model,
Logistic Model,
Gompertz Growth,
SIR/SEIR Model

Abstract

Estimating the growth dynamics of a pandemic is critical for policy makers to fine-tune emergency policies in health and other public sectors. The paper presents country-level calibration and prediction results on some well-known models in the literature, namely, the logistic, exponential, Gompertz, SIR and SEIR models. The models are implemented on real data from various countries, including Turkey, and their performance for different estimation windows have been analyzed using R^2 scores. The computational results are obtained using Python. The Gompertz model outperforms other models by consistently offering a better fit for the total number of infected. The exponential model is helpful in describing the growth dynamics in the early stages of the COVID-19 pandemic. Suspected-Infected-Recovered (SIR) and Susceptible-Exposed-Infectious-Removed (SEIR) models display a fair performance on the underlying active cases data in many circumstances. Quantitative models can offer policy makers in Turkey and elsewhere a better insight on the evolution of pandemic when everything else is held constant and the infections follow a typical path. The results can be highly sensitive to changes in policies. There is not a single model that can perfectly mimic all stages of pandemic. An ensemble model or multi-modal distributions can be used to capture the evolution of multi-wave pandemics.

1. Introduction

Since the discovery of the first official case in December 2019 in the city of Wuhan, China (which followed by a health emergency declaration by the World Health Organization, or WHO, on January 30, 2020, due to the obvious risk of a *pandemic*), the field of epidemiology have played an important role in helping policy makers estimate the future trajectory of the disease and better anticipate the potential overload on their health systems and other public services (Tomaskova and Tirkolae, 2021; Tirkolae and Aydın, 2021). At the time of writing (June 2021) there are 185 million confirmed cases and almost 4 million deaths ascribed to COVID-19. Turkey has registered a total 5.5 million confirmed cases on the same date, of which 5.3 million recovered and around 50 thousand lost their lives. The explorations on the transmission dynamics of the virus and its genetic structure have been high on the world agenda with a view to developing effective healthcare response and recovery mechanisms in the short- as well as long-run.

Mathematical models on transmissible diseases have widely proved to be helpful in not only gaining insights into but also making predictions about the growth dynamics of infectious diseases and the potential impacts of alternative intervention policies. The recent outbreak of SARS-CoV-2 has once again brought the accuracy and usefulness of different models under spotlight.

The objective of this work is to review some of the widely used growth models, namely the logistic, exponential, Gompertz, Suspected-Infected-Recovered (SIR) and Susceptible-Exposed-Infectious-Removed (SEIR) models for the COVID-19 dynamics and calibrate them to real epidemic data, including those of Turkey, Iran and some other countries. We then compare their goodness-of-fit. The final objective is to identify the most effective model(s) in predicting the dynamics and evolution of the COVID-19 so as to provide decision-makers with some more insight into the future possible trends. To this end, in Section 2, we survey some of the most relevant studies in the literature. The reviewed models and calibration results are presented in Section 3. Finally, Section 4 concludes with a brief summary and outlook for future research.

2. Selected Literature

Wu et al. (2020) employed the logistic model, the generalized logistic model, the generalized Richards model and the generalized growth model to investigate the dynamics of infections for 29 provinces in China and 33 other countries. A comparison was made by Liang (2020) for the novel transmission dynamics of the SARS-CoV-2 as compared to Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) and Middle-East Respiratory Syndrome (MERS). They developed a propagation growth model considering the infection inhibition constant and growth rate. According to the main finding of their research in Hubei province, the growth rate of COVID-19 is approximately twice that of the infections caused by SARS and MERS. Ma (2020) discussed the estimation of the growth rate using maximum likelihood method, as well as parametric and non-parametric approaches for exponential growth rate and basic reproduction number, and the least squares estimation model. Two differential equations models were proposed by Liu et al. (2020) to account for exposed or latency period of SARS-CoV-2 infections in China. They assessed the epidemiological parameters such as the transmission rate and the basic reproduction number and analyzed the effect of the exposed or latency period in the transmission dynamics of SARS-CoV-2.

Sarkar et al. (2020) suggested a mathematical model to predict the dynamics of COVID-19 in India. Their model was established based on the dynamics of six various components including asymptomatic, recovered, infected, isolated infected and quarantined susceptible cases. They found that reducing contact rate between uninfected, infected and quarantined people caused a reduction in the basic reproduction rate. Moreover, they claimed that performing social-distancing and effectively tracing contacts can significantly help eliminate the pandemic. Several forecasting models were employed by Sharma and Nigam (2020) to investigate the COVID-19 growth curve in India. They utilized exponential and polynomial regression analysis, Auto-Regressive Integrated Moving Averages (ARIMA) model, and exponential smoothing. An ARIMA(5, 2, 5) model was found to be the most suitable model in predicting the number of cases in India. On the other hand, in Velasquez and Lara (2020), authors predicted and analyzed the COVID-19 incidence in the U.S. using a reduced-space Gaussian process regression model. The proposed model was related to chaotic dynamical systems. A modified mathematical model was proposed in Çakır and Savaş (2020) to simulate the spread of COVID-19 in Iran.

A binary classification model based on neural network was suggested in Pirouz et al. (2020) where authors concluded that the relative humidity and maximum daily temperature had the greatest influence on the number of confirmed cases. Authors of Rath et al. (2020) employed multiple linear regression model to predict the new active COVID-19 cases in India. They compared their proposed model with a simple linear regression model and, using Analysis of Variance (ANOVA), demonstrated the superiority of their model. In Duhon et al. (2021), researchers developed a multiple regression model to identify the main factors affecting the initial growth rate of the COVID-19 pandemic. It was revealed that socio-demographic and climatic variables are highly connected to the initial growth rate while others represent a weak connection. In Carcione et al. (2020), authors carried out a simulation of the COVID-19 epidemic using a deterministic SEIR model to estimate the numbers of infected people and casualties. They found out that the isolation measures, knowledge of the transmission conditions and social distancing were critical factors that affected the growth pace of the outbreak. Authors in Sun et al. (2020) conducted a research for predicting the long-term trend of COVID-19 epidemic in China by extending the classical SEIR model to Dynamic-Susceptible-Exposed-Infective-Quarantined (D-SEIQ).

In Nikolopoulos et al. (2021), authors explored the COVID-19 growth rate using statistical, epidemiological, machine- and deep-learning models, and a hybrid forecasting approach. A machine learning tool was employed in Li et al. (2021) to determine new factors related to COVID-19 transmission and fatality, such as high temperature, economic inequality and blood types. In Tuli et al. (2020), machine learning and cloud computing tools were utilized to predict the growth and conjecture of the COVID-19 pandemic. They found that the method of iterative weighting can enhance the fitting performance of the Generalized Inverse Weibull distribution so as to develop a more accurate and real-time prediction framework via cloud computing. The evolution of COVID-19 pandemic in Turkey was modelled in Acar et al. (2021) using a probabilistic approach that employs a Bayesian negative

binomial multilevel model with mixed effects. The proposed method predicted the daily confirmed COVID-19 cases and cumulative numbers for 20 days with different prediction intervals. There are a handful of other studies that focus on Turkey (Eroğlu, 2020); Baldemir et al., 2020; Önder, 2020).

Against this backdrop, this study aims to contribute to the line of literature that aims to offer more insight into real-world parameter estimations of epidemic models, with particular emphasis on Turkey. We present detailed estimation results on some of the well-known mathematical models, namely, the logistic, exponential, Gompertz, SIR and SEIR models, for a considerable number of countries, including Turkey. However, our end-to-end algorithm is able to extract the necessary data for any other country and perform calibrations on real-world data.

3. Models And Calibration Results

This study conforms to the research and publication ethics. We first discretize the model training period $t \in [0, T]$ as $t_i \in \{t_0, t_1, \dots, t_{n_0}\}$ where $t_0 = 0$ and $t_{n_0} = T$. The off-sample forecasting window will cover $n_1 = 20$ days. The model performances will then be compared using both in- and off-sample R^2 values. The logistic model is one of the most widely-used models in the literature that has proved to be effective in describing health phenomena like epidemics. Under this model, the total number of infected is given by

$$I_t^{(1)} = \frac{c}{1 + e^{-\frac{t-b}{a}}}, \tag{1}$$

where a, b, c are the infection speed, inflection point (i.e., the point at which the maximum increase in the number of infected occurs) and the estimated number of infected once the pandemic ends, respectively. Setting $\gamma(t) = e^{-(t-b)/a}$, this can be easily seen from the second derivative I'' which is equal to $\frac{c\gamma(1-\gamma^2)}{a^2(1+\gamma)^4}$. Setting $I'' = 0$ gives $\gamma = 1$ which is possible only when $t = b$ or $t \rightarrow \infty$. This verifies b as the inflection point. The meaning of parameter c , on the other hand, can be validated by looking at $\lim_{t \rightarrow \infty} I_t$ which is apparently equal to c , rendering the latter as a horizontal asymptote. This is also the level at which I_t flattens out. In other words, $I_t' = \frac{c\gamma}{a(1+\gamma)^2} = 0$ implies $t \rightarrow \infty$.

While the logistic model converges to a constant over the long-run, the exponential model helps mimic periods where pandemics seem to be out of control (at least for a while). In its most general form, the total number of infected is modelled through the function

$$I_t^{(2)} = a e^{b(t-c)}, \tag{2}$$

where a, b, c are the initial number of infected, growth rate and infection start date, respectively. For the growth rate, observe that $I_t' = bI$ or $dI_t = bdt$. The peculiarity of the exponential model is that it doesn't converge in the long-run, i.e., $\lim_{t \rightarrow \infty} I_t^{(2)} = \infty$. Yet, there are periods in epidemic outbreaks that the exponential model explains the data well at least for some time. As an outlook, future research can harness a model selection tool which switches between different models at different phases of the pandemic (such as, second or third waves) to form an ensemble model that better represents the underlying data. A comparison of exponential versus sub-exponential growth is presented in Figure 1.

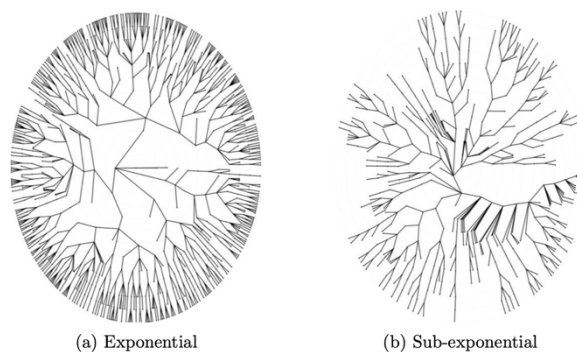


Fig. 1. Epidemic growth dynamics by Chowell et al. (2016).

Another model that is considered in this paper is the 'Gompertz growth' which is in fact a special case of the logistic growth and also analogous to the sigmoid function used as an activation function in neural nets. Unlike the logistic growth, which is perfectly symmetrical around the inflection point, the Gompertz function presents a non-symmetrical behaviour characterized with a slower growth and convergence during the slowing-down phase of the pandemics. Due to the drawbacks in effectively calibrating the location parameter b , we consider a slightly modified version of the Gompertz model. Under this model, the total number of infected is given by

$$I_t^{(3)} = a \exp\{-e^{-b(t-c)}\}, \tag{3}$$

where a, b, c are the upper bound for the total number of infected (i.e., $\lim_{t \rightarrow \infty} I_G = a$), the growth rate and the location parameter, respectively. The maximum rate of increase in the number of infected occurs at $t = \frac{\ln b}{c}$ which can be seen by setting $I'' = Ib^2c^2e^{-ct} (e^{-ct} - \frac{1}{b})$ equal to 0.

We perform the calibrations mainly using Python's *scipy* as well as *scikit* library. Our code is able to extract country data from related data sources and perform curve-fitting with stream data. The estimation results of all three models above for some selected countries, including Turkey, and different values of n_0 are presented in Figures 2-5. Green, black and blue lines represent the exponential, Gompertz and logistic models, respectively. Also, red and orange dots represent the real data, the latter being the test sample which is not used in the model training. Table 1 includes detailed calibration results, estimated parameter values, and model performances in terms of their R^2 values, both in- and off-sample.

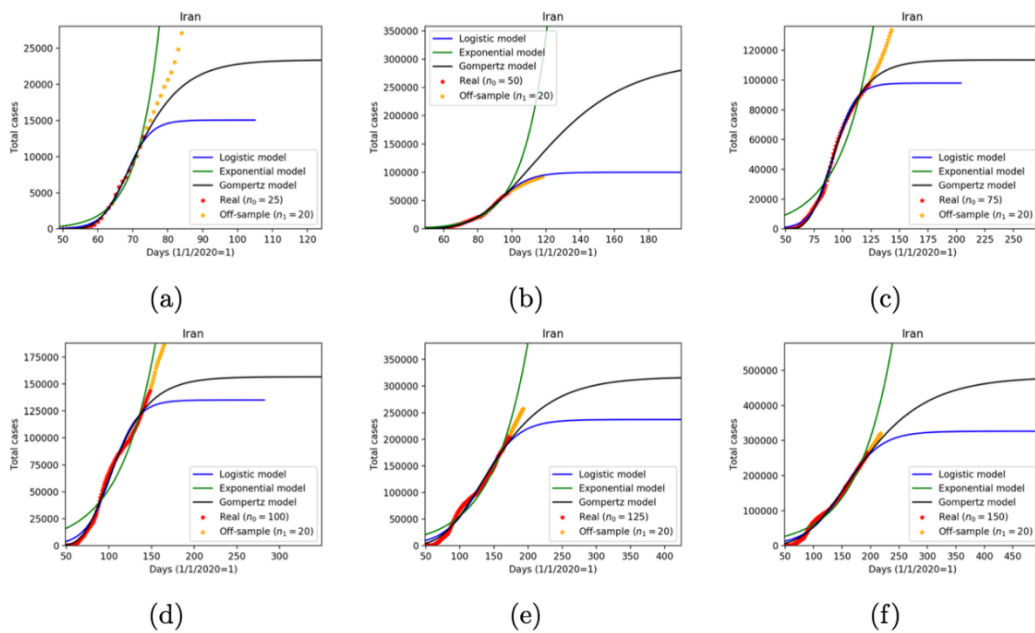


Fig. 2. $I_t^{(1)}, I_t^{(2)}, I_t^{(3)}$ calibrated to data from Turkey for $n_0 = \{25,50,75,100,125,150\}$ and $n_1 = 20$.

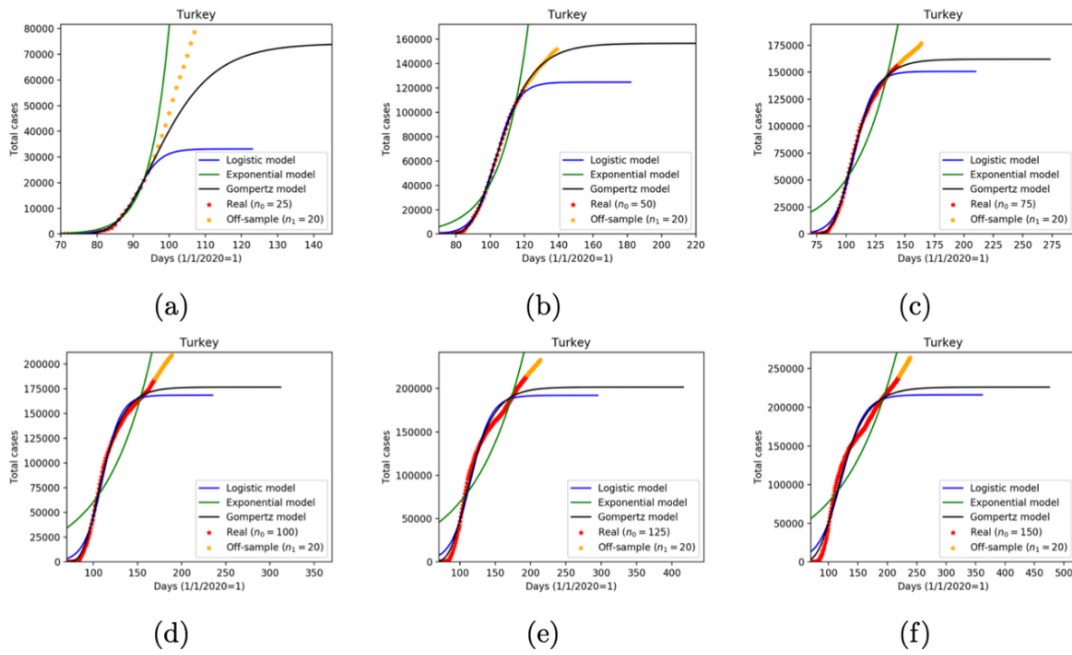


Fig. 3. $I_t^{(1)}$, $I_t^{(2)}$, $I_t^{(3)}$ calibrated to data from Iran for $n_0 = \{25, 50, 75, 100, 125, 150\}$ and $n_1 = 20$.

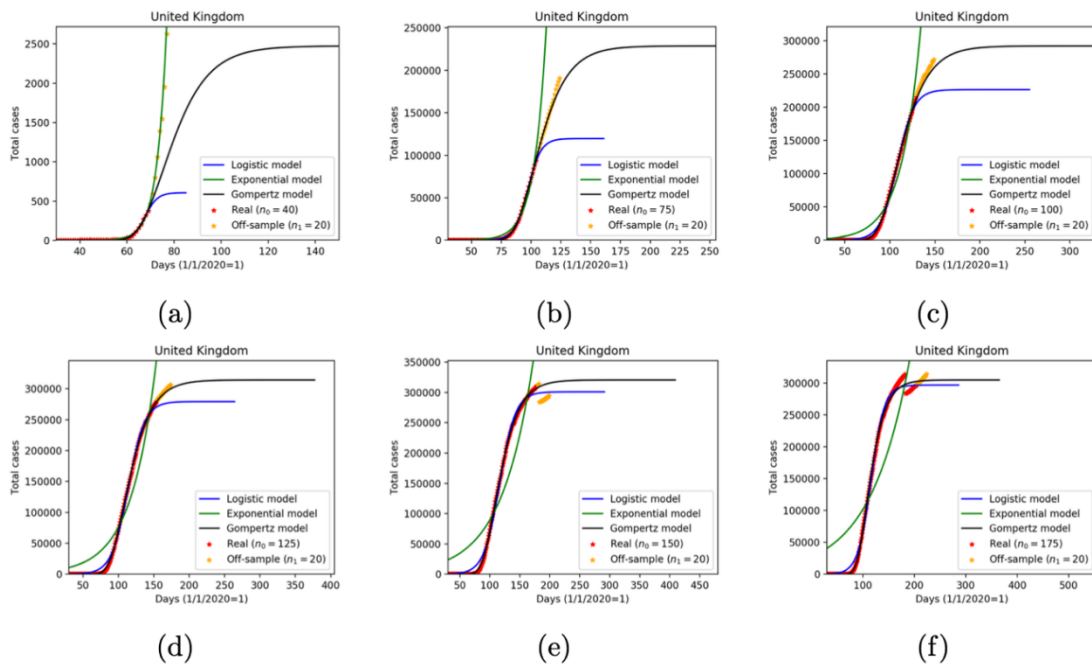


Fig. 4. $I_t^{(1)}$, $I_t^{(2)}$, $I_t^{(3)}$ calibrated to data from UK for $n_0 = \{40, 50, 75, 100, 125, 150, 175\}$ and $n_1 = 20$.

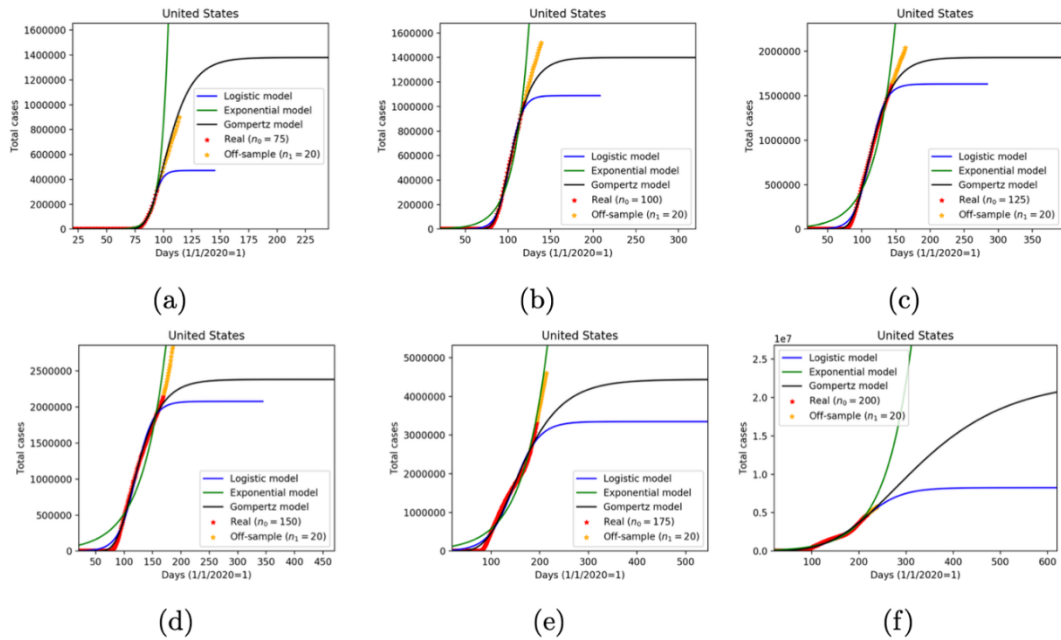


Fig. 5. $I_t^{(1)}$, $I_t^{(2)}$, $I_t^{(3)}$ calibrated to data from US for $n_0 = \{75,100,125,150,175,200\}$ and $n_1 = 20$.

Table 1. Model calibration results for selected countries.

	n	Logistic model						Exponential model						Gompertz model					
		a	b	$c (10^3)$	R^2	R^2 (off)	a	b	c	R^2	R^2 (off)	$a (10^3)$	b	c	R^2	R^2 (off)			
Turkey	25	3.13	91.23	33.14	0.9984	0.3608	0	0.19	12.29	0.9843	NaN	74.25	0.1	95.24	0.9989	0.8175			
	50	6.28	103.41	124.69	0.9988	0.9733	27.18	0.06	-14.41	0.9426	NaN	156.57	0.08	102.22	0.9997	0.9995			
	75	8.26	107.2	150.64	0.9957	0.9811	81.49	0.03	-110.7	0.8665	0.259	161.99	0.07	102.83	0.9995	0.9945			
	100	10.43	110.49	168.58	0.9898	0.9622	89.81	0.02	-245.77	0.8193	0.6608	176.67	0.06	104.53	0.9971	0.9787			
	125	14.3	115.83	192.04	0.9755	0.9555	208.1	0.01	-320.87	0.8186	0.7363	201.5	0.04	107.93	0.9884	0.9752			
	150	19.15	122.43	216.01	0.967	0.9495	134.54	0.01	-489.04	0.819	0.7851	225.92	0.03	111.94	0.9829	0.97			
Iran	25	3.43	68.16	15.06	0.9941	0.3343	0.89	0.16	10.79	0.9697	NaN	23.37	0.12	69.26	0.9975	0.6071			
	50	9.08	92.16	99.93	0.9962	0.9958	42.25	0.07	-6.77	0.9829	NaN	298.46	0.03	110.97	0.9969	0.8476			
	75	9.42	92.16	97.94	0.9983	0.9515	62.17	0.03	-94.95	0.9117	0.4967	113.52	0.06	88.66	0.9979	0.9794			
	100	15.22	103.2	135.06	0.9828	0.906	124.87	0.02	-157.47	0.9146	0.8854	156.56	0.04	97.71	0.9915	0.9397			
	125	26.36	132.39	237.04	0.9786	0.9695	74.98	0.02	-241.8	0.9479	0.9164	317.41	0.02	131.13	0.9871	0.9826			
	150	32.59	153.26	326.52	0.9865	0.986	183.59	0.02	-257.64	0.9582	0.9233	481.77	0.01	159.31	0.992	0.9936			
UK	40	2.62	67.72	0.61	0.9953	NaN	0	0.24	0.85	0.9889	NaN	2.47	0.1	75.51	0.9932	0.0557			
	75	5.56	97.21	119.73	0.9997	0.9061	12.1	0.1	13.79	0.984	NaN	228.68	0.06	102.03	0.9997	0.9984			
	100	9.34	108.06	226.27	0.9968	0.9806	42.21	0.05	-55.01	0.9592	0.2427	291.84	0.05	106.88	0.9995	0.9985			
	125	11.72	113.77	279.33	0.9972	0.9942	83.53	0.03	-142.08	0.9201	0.58	314.26	0.05	108.61	0.9997	0.9997			
	150	13.2	116.47	300.85	0.9968	0.9964	126.35	0.02	-246.83	0.8743	0.5863	320.45	0.05	109.15	0.9998	0.9961			
	175	12.85	115.92	296.83	0.9967	0.9966	232.95	0.01	-362.5	0.7927	0.667	304.81	0.05	107.81	0.9978	0.998			
Germany	75	5.3	90.13	127.83	0.9993	0.9752	15.83	0.09	-0.64	0.9725	NaN	182.85	0.08	90.81	0.9996	0.9978			
	100	7.04	93.77	160.15	0.9981	0.9929	53.86	0.04	-92.32	0.9027	0.1174	172.01	0.08	90.02	0.9998	0.999			
	125	8.25	95.6	172.87	0.9968	0.9942	110.06	0.02	-193.14	0.8372	0.5338	178.78	0.08	90.63	0.9996	0.9986			
	150	9.15	96.79	180.11	0.9953	0.9916	156.34	0.02	-308.55	0.7843	0.6386	184.2	0.07	91.13	0.9989	0.9965			
	175	10.14	98.02	186.79	0.9924	0.9866	235.76	0.01	-414.48	0.7504	0.6716	190.44	0.06	91.73	0.997	0.9927			
	200	8.29	125.37	320.85	0.9986	0.9744	11.18	0.08	9.46	0.9918	NaN	1120.23	0.03	145.97	0.9996	0.986			
Russia	125	10.27	132.58	468.44	0.999	0.9729	41.74	0.04	-58.05	0.9668	0.5549	642.92	0.04	132.86	0.9998	0.996			
	150	14.21	142.63	651.38	0.9968	0.9867	89.8	0.03	-134.96	0.9504	0.7572	800.48	0.03	139.24	0.9995	0.9976			
	175	17.7	150.67	787.73	0.9956	0.9889	150.89	0.02	-218.43	0.9331	0.8227	916.07	0.03	144.21	0.9993	0.9974			
	200	21.15	157.97	902.19	0.9942	0.9893	155.15	0.02	-327.87	0.9179	0.8456	1019.07	0.03	148.92	0.9989	0.9972			
	50	7.38	62.32	0.56	0.9948	0.6889	1.06	0.09	3.39	0.9889	0.5792	8.38	0.02	114.64	0.9928	0.976			
	75	12.16	93.77	4.21	0.9921	0.5292	11.53	0.07	12.99	0.9898	0.8523	43.63	0.02	162.12	0.9937	0.6262			
Japan	100	8.85	108.15	19.2	0.9968	0.987	11.45	0.07	14.59	0.9886	NaN	102.45	0.03	142.53	0.9939	0.7			
	125	8.05	105.48	16.55	0.9991	0.999	52.99	0.03	-36.88	0.9171	0.2958	17.79	0.07	101.32	0.9964	0.9971			
	150	8.42	105.96	16.89	0.9992	0.996	103.97	0.02	-96.9	0.8463	0.6303	17.33	0.08	100.93	0.9977	0.9965			
	50	8.37	106.16	11.15	0.9983	0.9605	1.72	0.08	6.2	0.9885	NaN	42.17	0.03	129.04	0.999	0.9775			
	75	11.8	118.01	19.27	0.9966	0.8927	23.41	0.05	-11.88	0.9709	0.8028	31.75	0.03	123.62	0.9992	0.9566			
	100	18.37	144.65	45.51	0.996	0.9453	41.86	0.03	-38.96	0.9807	0.9477	102.63	0.02	168.24	0.9985	0.9782			
Indonesia	125	25.01	179.75	109.47	0.9969	0.9838	56.56	0.03	-60.42	0.9898	0.9701	488.91	0.01	259.02	0.9987	0.9959			
	150	29	205.37	191.01	0.9985	0.9974	89.96	0.03	-74.69	0.9919	0.9571	1110.03	0.01	319.99	0.9994	0.9994			
	50	6.01	100.88	41.16	0.9986	0.6017	4.73	0.11	22.58	0.9879	NaN	128.41	0.05	114.15	0.9987	0.8738			
	75	11.71	139.47	526.52	0.9986	0.9673	24.48	0.07	8.66	0.9972	0.8495	43104.26	0.01	283.24	0.9992	0.9991			
	100	13.88	158.34	1378.25	0.9995	0.9954	20.4	0.06	-28.92	0.9964	0.7635	26485.71	0.01	264.22	0.9997	0.9837			
	125	15.91	168.41	1987.42	0.9992	0.9841	62.01	0.04	-70.69	0.9884	0.8435	5779.17	0.02	200.16	0.9997	0.9998			
150	19.03	181.71	2915.15	0.999	0.9849	79.64	0.03	-143.25	0.9801	0.8958	5616.35	0.02	198.57	0.9998	0.9985				

Since all 3 models compared in the table are univariate, reporting the adjusted R^2 values would not affect the results. A quick observation from the table is that the exponential model is generally useful in modelling the early stages of pandemic, but this doesn't extend well into the later stages when the speed of infection tends to diverges

from that implied by the exponential model. It also offers a relatively weak performance off the sample in most of the cases. Instead, logistic and Gompertz models are able to reproduce the overall pattern of infections and provide consistently more realistic estimates even for periods extending beyond the early stages of the pandemic. Overall, it can be concluded that the Gompertz offers a better performance off the sample, however. The model predicts not only a significantly higher value for the upper bound of the total number of infected in almost all cases, but also a longer period for the pandemic. Again, the exponential model performance seems to diverge from those of 2 other models after the early stages of the pandemic, both in- and off-sample.

Another popular model is the SIR Model which borrows its name from its underlying approach of partitioning the population into three sub-groups, namely, susceptible (S) but not yet infected, infected and infectious (I), and recovered and immune (R). The SIR model, invented by Ross (1911) and Hamer (1906), does not have an explicit solution, however. There are various assumptions behind the model that restrict the model's ability to fit different types of pandemic outbreaks. These include the assumptions that: (i) the population is large, closed and distributed homogeneously; (ii) the outbreak always dies out; (iii) no natural births or natural deaths occur; (iv) the infection has zero latent period, that is, an individual becomes infectious as soon as she becomes infected; and (v) infection leads to lifetime immunity for individuals. The SIR model is represented by the following system of quadratic ODEs:

$$dS_t = -\beta S_t I_t^{(4)} dt, \quad (4)$$

$$dI_t^{(4)} = (\beta S_t I_t^{(4)} - \gamma I_t^{(4)}) dt, \quad (5)$$

$$dR_t = \gamma I_t^{(4)} dt, \quad (6)$$

where β and γ are the transmission and recovery rates, respectively. All of the limits $\lim_{t \rightarrow \infty} S_t$, $\lim_{t \rightarrow \infty} I_t$ and $\lim_{t \rightarrow \infty} R_t$ exist, supporting (ii) above. Here, $\beta = \frac{b}{N}$ where $b = \kappa\tau$ with κ and τ being the number of contacts by each infected individual and the proportion of contacts that result transmission (known as the *transmissibility* parameter), respectively. Defining $S_t^{\%} = \frac{S_t}{N}$ as the susceptible proportion (and recalling the homogeneity assumption), each infected individual infects βS individuals. The effective reproductive number is given by $r_0 = \frac{S_0 b}{N \gamma} = \frac{S_0 \beta}{\gamma}$. The threshold value for r_0 that determines whether an outbreak is predicted to die out soon or evolve into an epidemic is 1. If transmission rate per unit of time exceeds the recovery rate, then $r_0 > 1$ and an epidemic can be expected before I_t goes to 0 as $t \rightarrow \infty$. Otherwise, I_t decreases monotonically and reaches 0. If $r_0 > 1$, I_t can increase up to S_t before it starts to decrease. Control of epidemics is mostly about keeping r_0 below 1. This requires public interventions to (i) reduce $\frac{1}{\gamma}$ (duration of infection), (ii) reduce κ (contact rate of infected), (iii) reduce S_0 and (iv) reduce τ (transmissibility). The type of interventions (such as “mask-distance-hygiene” or antivirals) is beyond the scope of this study.

While calibrating the SIR model, one thing which is critical is to work with active infections (i.e., Total Cases – Deaths – Recoveries), rather than the cumulative cases directly. We again design our code to extract all of these ingredients from the relevant resources and then calculate the active cases before using them for estimating parameters of the SIR model. Then Python's *odeint* class under the *scipy* library is used to integrate SIR differential equations and solve for optimal parameter values for β and γ . In Figures 6-9, we present the parameter estimation results for $I_t^{(4)}$ using data from Turkey, Russia, Germany and Iran for different values of n , although our code is able to calibrate the model to many other country data of our choice. Estimated parameter values are provided in figure keys. In most cases, the SIR curve offers a fairly good representation of the underlying data and can be used to predict the number of infected. This is particularly true in the case of Germany (see Figure 8) where the pattern of infected closely follows an SIR curve characterized by the estimated parameters.

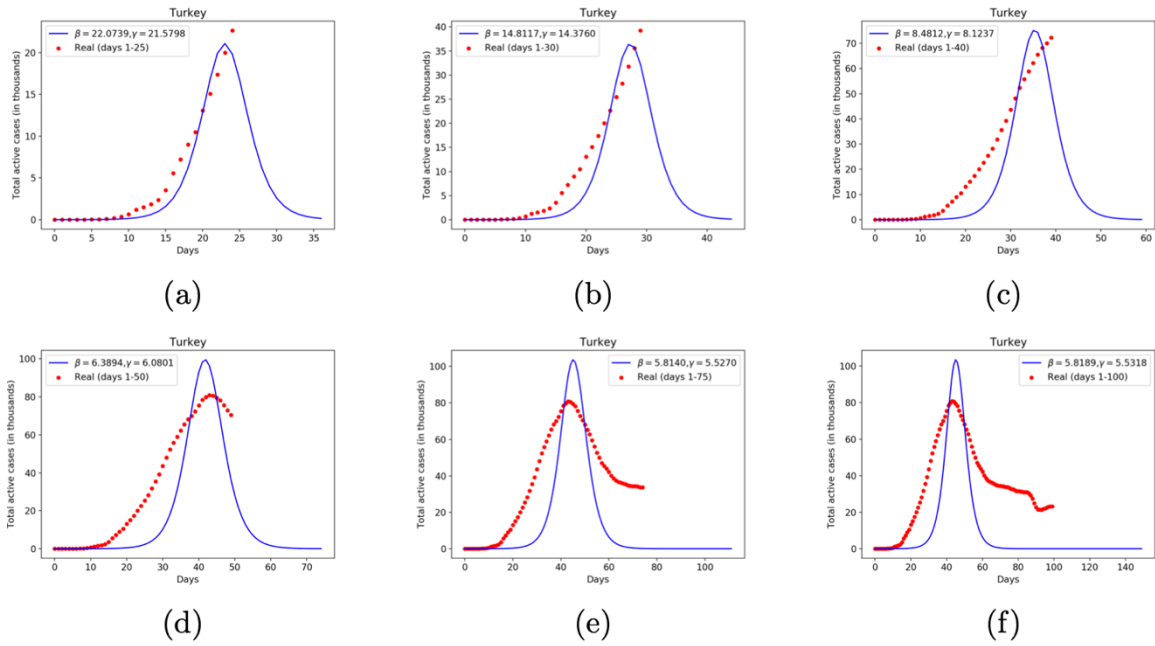


Fig. 6. SIR model $I_t^{(4)}$ calibrated to data from Turkey for $n \in \{25,30,40,50,75,100\}$.

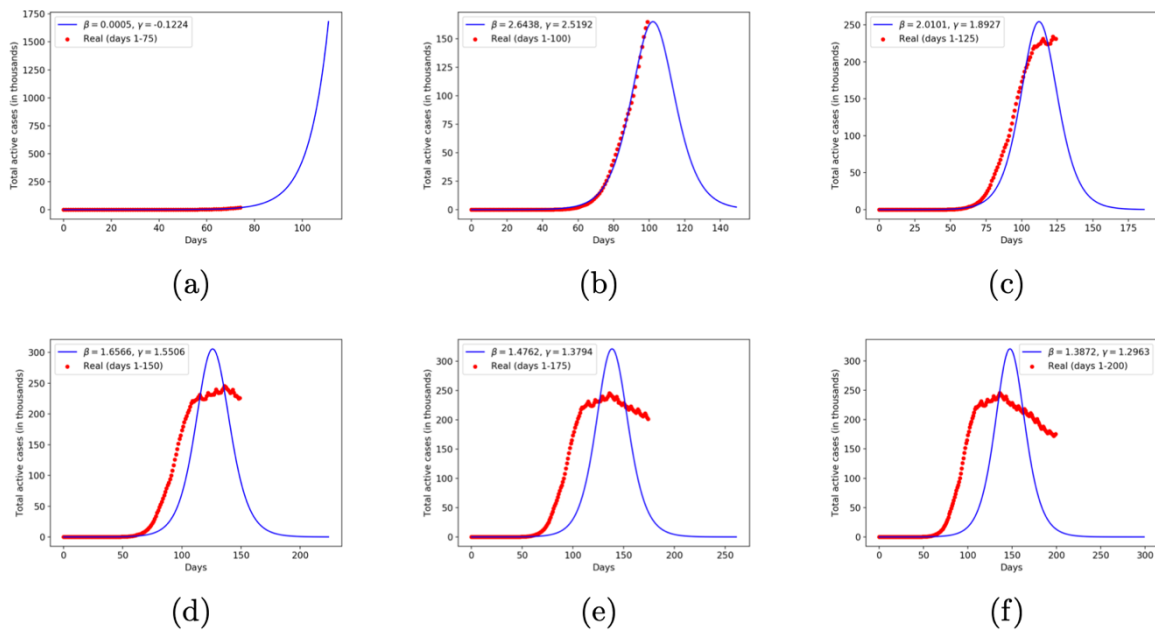


Fig. 7. SIR model $I_t^{(4)}$ calibrated to data from Russia for $n \in \{75,100,125,150,175,200\}$.

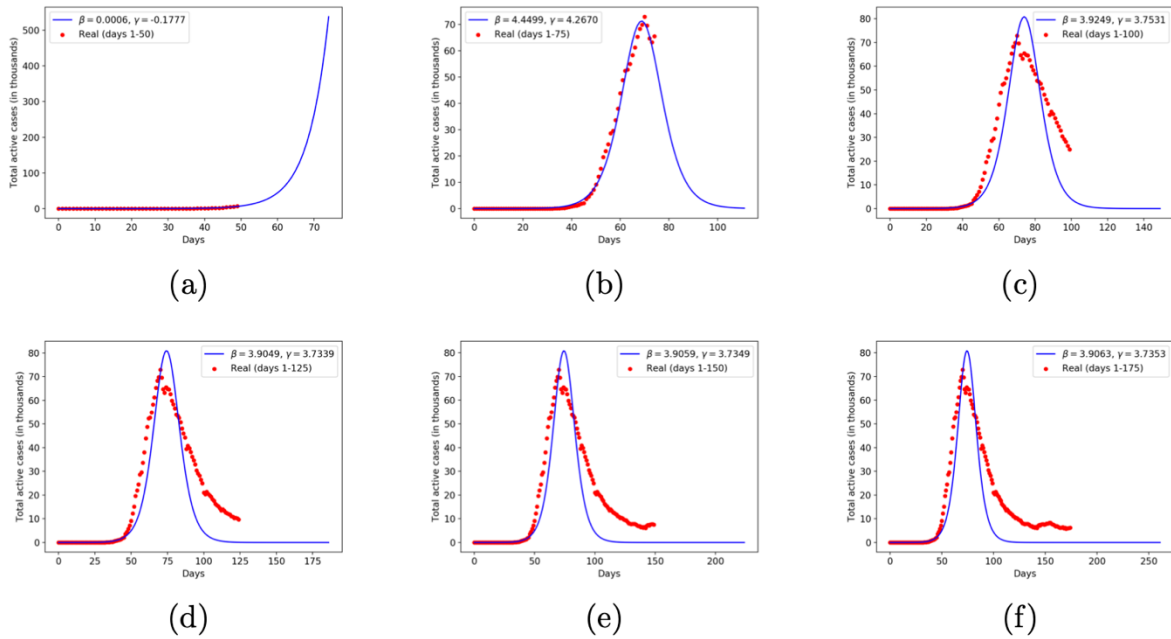


Fig. 8. SIR model $I_t^{(4)}$ calibrated to data from Germany for $n \in \{50,75,100,125,150,175\}$.

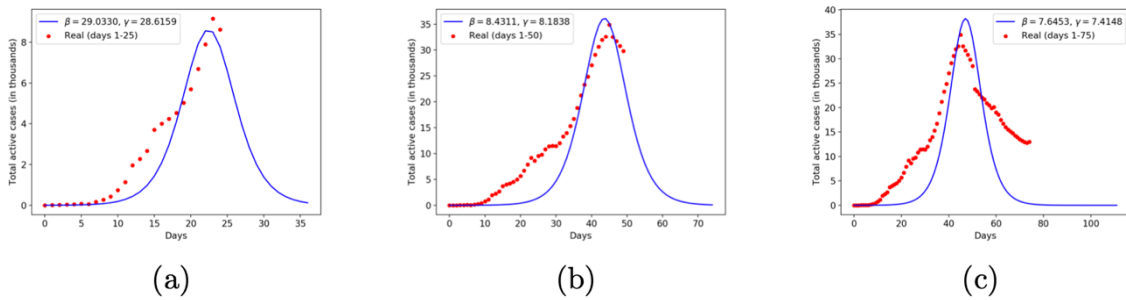


Fig. 9. SIR model $I_t^{(4)}$ calibrated to data from Iran for $n \in \{25,50,75\}$.

A well-known extension to the SIR model is the SEIR model which incorporates an additional population compartment, namely ‘E’ or ‘Exposed’, that represents individuals who are already infected by the virus but yet to be able to transmit it (the time between known as the *latent period*). However, one frequently stated challenge with SARS-CoV-2 is that it can transfer from one individual to another even before the incubation period ends, i.e., when symptoms are expected to appear (*negative latency*). Therefore, considering the fact that the incubation period for SARS-CoV-2 is unknown and varies between 1-14 days (with an average of 4-5 days), the transmission period can start even 1-2 days before the end of that unknown incubation period.

How this can affect the performance of the SEIR model, which introduces a distinction between the people who are infected by the virus and those who are able to transmit it, is beyond the scope of this work. The system of quadratic ODEs describing the SEIR model are given by:

$$dS_t = -\beta S_t I_t^{(5)} dt, \tag{7}$$

$$dE_t = (\beta S_t I_t^{(5)} - \theta E_t) dt, \tag{8}$$

$$dI_t^{(5)} = (\theta E_t - \gamma I_t^{(5)}) dt, \tag{9}$$

$$dR_t = \gamma I_t^{(5)} dt, \tag{10}$$

where β and γ are the transmission and recovery rates, respectively, and θ is the rate at which already exposed individuals become infected (incubation rate). So, $\frac{1}{\theta}$ can be seen as the average latency, i.e., the mean time between contracting the virus and starting to transmit it. Again, in Figure 10, we present the results for some selected countries. Like SIR, the SEIR model is also able to successfully represent the underlying active cases data unless there is a multi-modal structure, such as a second or third wave of infection.

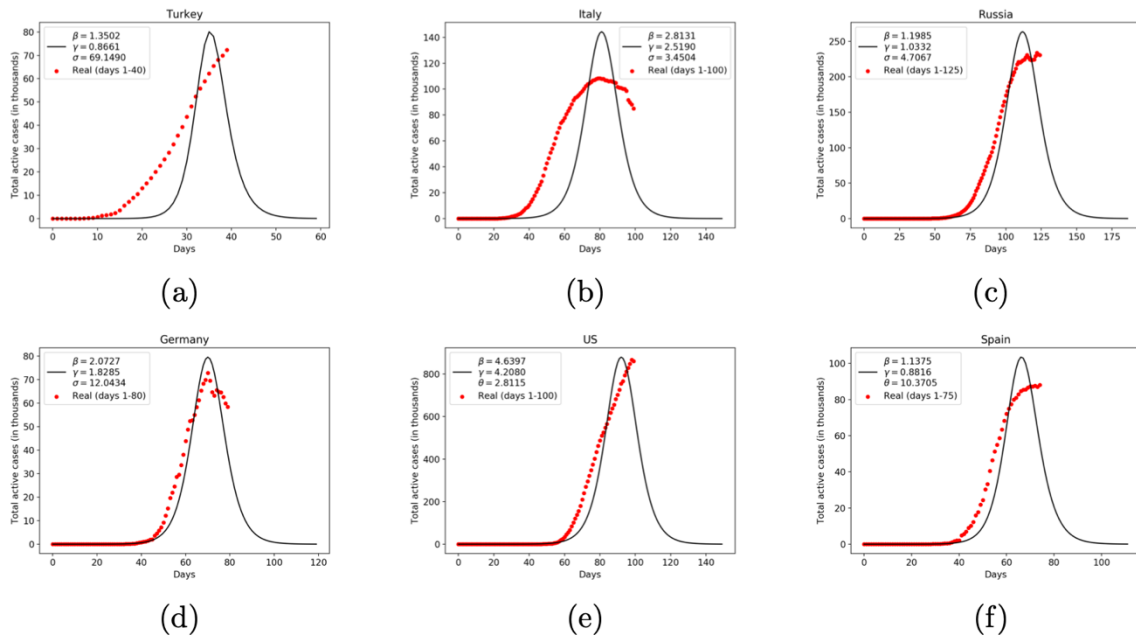


Fig. 10. SEIR model $I_t^{(5)}$ calibrated to various country data for arbitrary values of n .

4. Conclusion

The present study reviewed some of the most widely used epidemic growth models in the literature, namely the logistic, exponential, Gompertz, SIR and SEIR models, and presented their calibration results using real-world epidemic data from selected countries, including Turkey. Among the first three models, which aimed to predict the total number of infected, the Gompertz model seems to have outperformed the logistic and exponential models. SIR and SEIR models, which rather work with active infection data (contrary to cumulative), have also offered a fair representation of the underlying data. All in all, our calibration algorithm was able to return the best possible fit in almost all cases when provided with a target model and underlying data its input.

As an outlook, we'd like to extend the current study into a one which takes into account multiple waves of infection (due to variants, seasonal changes, loosening of measures, etc.). This could be achieved through, *inter alia*, impulsive control model, robust-entropic optimal control, robust-entropic optimal control, bi-modal, or, in general, multi-modal distributions (see, e.g., Pearce et al., 2005; Baltas et al., 2018; Valvo, 2020; Khalilpourazari et al., 2021; Gürbüz et al., 2021). Furthermore, the next trend in epidemic data science could be the prediction models that focus on early detection of pandemics or epidemics. Machine learning (ML) tools can be used to accommodate more complex relationships between many interacting factors (policies, social measures, travel restrictions, vaccine development, mutations, etc.) and the growth dynamics of outbreaks. In this regard, one extension could be to consider a model which integrates future mutation scenarios into predictions on the growth pace of epidemic. Future research can also consider an ensemble of models and an optimal switching rule to obtain better predictive performance than could not be achieved with any of the constituent models per se.

Contribution of Researchers

Nadi Serhan Aydın carried out model calibrations and data analysis. Erfan Babae Tirkolae reviewed the literature and contributed to the interpretation of model results.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Acar, A.C., Er, A.G., Burduroğlu, H. C., Sülkü, S. N., Aydın Son, Y., Akin, L. and Ünal, S. (2021). Projecting the course of COVID-19 in Turkey: A probabilistic modeling approach. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 51(1):16-27, DOI: <https://doi.org/10.3906/sag-2005-378>.
- Baldemir, H., Akın, A. and Akın, Ö. (2020). Fuzzy modelling of COVID-19 in Turkey and some countries in the world. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science*, 12(2):136-150, DOI: <https://doi.org/10.47000/tjmcs.751730>.
- Baltas, I., Xepapadeas, A. and Yannacopoulos, A. N. (2018). Robust portfolio decisions for financial institutions. *Journal of Dynamics and Games*, 5(2): 61-94, DOI: <http://dx.doi.org/10.3934/jdg.2018006>.
- Carcione, J.M, Santos, J.E, Bagaini C. and Ba J. (2020). A simulation of a COVID-19 epidemic based on a deterministic SEIR model. *Frontiers in Public Health*, 8:230, DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00230>.
- Chowell, G., Sattenspiel, L., Bansal, S. and Viboud, C. (2016). Mathematical models to characterize early epidemic growth: A review. *Physics of Life Reviews*, 18:66-97, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2016.07.005>.
- Çakır Z. and Savaş, H. (2020). A mathematical modelling for the COVID-19 pandemic in Iran. *Ortadoğu Tıp Dergisi*, 12(2):206-210, DOI: <https://doi.org/10.21601/ortadogutipdersisi.715612>.
- Duhon, J., Bragazzi, N. and Kong, J.D. (2021). The impact of non-pharmaceutical interventions, demographic, social, and climatic factors on the initial growth rate of COVID-19: A cross-country study. *Science of the Total Environment*, 760:144325, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144325>.
- Eroğlu, Y. (2020). "Forecasting models for COVID-19 cases of Turkey using artificial neural networks and deep learning. *Endüstri Mühendisliği*, 31(3):353-372, DOI: <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.771646>.
- Gürbüz, B., Mawengkang, H., Husein, I. and Weber, G. W. (2021). Rumour propagation: an operational research approach by computational and information theory. *Central European Journal of Operations Research*, 1-21, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-020-00727-0>.
- Hamer, W.H. (1906). The Milroy lectures on epidemic diseases in England: The evidence of variability and of persistency of type. *The Lancet*, 167(4305):569-574, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(01\)80264-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(01)80264-6).
- Khalilpourazari, S., Doulabi, H. H., Çiftçioğlu, A. Ö. and Weber, G. W. (2021). Gradient-based grey wolf optimizer with Gaussian walk: Application in modelling and prediction of the COVID-19 pandemic. *Expert Systems with Applications*, 177:114920, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114920>.
- Li, M., Zhang, Z., Cao, W., Liu, Y., Du, B., Chen, C., Liu, Q., Uddin, M.N., Jiang, S., Chen, C., Zhang, Y. and Wang, X., (2021). Identifying novel factors associated with COVID-19 transmission and fatality using the machine learning approach. *Science of the Total Environment*, 764:142810, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142810>.
- Liang, K., (2020). Mathematical model of infection kinetics and its analysis for COVID-19, SARS and MERS. *Infection, Genetics and Evolution: Journal of Molecular Epidemiology and Evolutionary Genetics of Infectious Diseases*, 82:104306, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104306>.
- Liu, Z., Magal, P., Seydi, O. and Webb, G., (2020). A COVID-19 epidemic model with latency period. *Infectious Disease Modelling*, 5:323-337, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idm.2020.03.003>.

- Ma, J., (2020). Estimating epidemic exponential growth rate and basic reproduction number. *Infectious Disease Modelling*, 5:129-141, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idm.2019.12.009>.
- Nikolopoulos, K., Punia, S., Schäfers, A., Tsinopoulos, C. and Vasilakis, C. (2021). Forecasting and planning during a pandemic: COVID-19 growth rates, supply chain disruptions, and governmental decisions. *European Journal of Operational Research*, 290(1):99-115, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.08.001>.
- Önder, H. (2020). Short-term forecasts of the COVID-19 epidemic in Turkey: March 16–28, 2020. *Black Sea Journal of Health Science*, 3(2):27-30, Available at: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bshealthscience/issue/51721/710>.
- Pearce, C., Kaya, Y. and Belen, S. (2005). Impulsive control of a sequence of rumour processes. *In Continuous Optimization*. Springer, Boston, MA, 99:387-407, DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-26771-9_14.
- Pirouz, B., Shaffiee Haghshenas, S., Shaffiee Haghshenas, S. and Piro, P. (2020). Investigating a serious challenge in the sustainable development process: Analysis of confirmed cases of COVID-19 (new type of coronavirus) through a binary classification using artificial intelligence and regression analysis. *Sustainability*, 12(6):2427, DOI: <https://doi.org/10.3390/su12062427>.
- Rath, S., Tripathy, A. and Tripathy, A.R. (2020). Prediction of new active cases of coronavirus disease, (COVID-19) pandemic using multiple linear regression model. *Diabetes and Metabolic Syndrome Clinical Research and Reviews*, 14(5):1467-1474, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.07.045>.
- Ross, R. (1911). *The Prevention of Malaria*. London: John Murray. Available at: <https://archive.org/details/pr00eventionofmalarossrich>.
- Sarkar, K., Khajanchi, S. and Nieto, J.J., (2020). Modeling and forecasting the covid-19 pandemic in India. *Chaos, Solitons and Fractals*, 139:110049, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110049>.
- Sharma, V.K. and Nigam, U., (2020). Modeling and forecasting of COVID-19 growth curve in India. *Transactions of the Indian National Academy of Engineering*, 5:697-710, DOI: <https://doi.org/10.1007/s41403-020-00165-z>.
- Sun, J., Chen, X., Zhang, Z., Lai, S., Zhao, B., Liu, H., Wang, S., Huan, W., Zhao, R., Ng, M.T.A. and Zheng, Y. (2020). Forecasting the long-term trend of COVID-19 epidemic using a dynamic model”, *Scientific Reports*, 10:21122, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78084-w>.
- Tirkolae, E. B. and Aydın, N. S. (2021). A sustainable medical waste collection and transportation model for pandemics. *Waste Management and Research*, 39(1_suppl): 34-44, DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X211000437>.
- Tomaskova, H. and Tirkolae, E. B. (2021). Using a process approach to pandemic planning: a case study. *Applied Sciences*, 11(9):4121, DOI: <https://doi.org/10.3390/app11094121>.
- Tuli, S., Tuli, S., Tuli, R. and Gill, S. S. (2020). Predicting the growth and trend of COVID-19 pandemic using machine learning and cloud computing. *Internet of Things*, 11:100222, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100222>.
- Valvo, P. 2020. A Bimodal Lognormal Distribution Model for the Prediction of COVID-19 Deaths. *Applied Sciences*, 10:8500, DOI: <https://doi.org/10.3390/app10238500>.
- Velasquez, R.M.A. and Lara, J.V.M. (2020). Forecast and evaluation of COVID -19 spreading in USA with reduced-space gaussian process regression. *Chaos, Solitons and Fractals*, 136:109924, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109924>.
- Wu, K., Darcet, D., Wang, Q. and Sornette, D., (2020). Generalized logistic growth modeling of the COVID-19 outbreak: comparing the dynamics in the 29 provinces in China and in the rest of the world. *Nonlinear Dynamics*, 101(3):1561-1581, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11071-020-05862-6>.



Journal of Turkish Operations Management

Sezgisel ağ tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları ile tesis yeri optimizasyonu: İtfaiye tesisleri yer seçimi örneği

Arif Çağdaş Aydınoğlu^{1*}, Süleyman Şişman², İrem Ergül³

¹Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, 41400, Türkiye
e-mail: aydinoglu@gtu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-4912-9027>

²Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, 41400, Türkiye
e-mail: ssisman@gtu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-0924-1092>

³Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, 41400, Türkiye
e-mail: irem.ergul2017@gtu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8823-9742>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 05.07.2021
Revize: 20.09.2021
Kabul: 04.10.2021

Anahtar Kelimeler:

Ağ Analizleri,
CBS,
Kaynak Tahsis Alanı Analizi,
Konum Tahsis Analizi,
Tesis Yeri Optimizasyonu

Özet

Günümüzün kalabalıklaşan şehirlerinde kentsel yaşam kalitesini artırmak için kentsel hizmetlere erişilebilirliğin sağlanması, acil durum yönetimi ve endüstriyel tesislerin uygun dağılımına yönelik planlama mekanizmalarının geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Nüfus dağılımına ve ilgili alandaki taleplerin yoğunluğuna göre, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı ağ analizi teknikleri ile ulaşım altyapısı birlikte kullanılarak en uygun erişimi sağlayacak tesislerin yer seçimi yapılabilir. Bu kapsamda kent yangın acil durum olaylarının yönetiminde, itfaiye istasyonlarının en uygun konumların tespit edilerek olay yerine en kısa sürede erişebilmesini sağlamak için İstanbul ili örnek çalışması ile ağ tabanlı bir yer seçimi uygulama metodolojisi geliştirilmiştir. 2020 yılı İstanbul mahalle nüfusları ve mevcut yapıların dağılımı dikkate alınarak birim hegzagonal alandaki nüfus dağılım talebi belirlenmiştir. Sonrasında Kaynak Tahsis Alanı analizi ile mevcut itfaiye istasyonlarının olaya müdahale tipine göre, ABD Ulusal Yangından Korunma Kurumu (NFPA) tarafından önerilen 5, 9, ve 11.5 dakikalık süre içerisinde İstanbul'un birim alandaki talep noktalarına karşılık nüfusun %81'ine (15.306.945) erişim sağlanırken, %19'una (139.440) erişim sağlanamadığı tespit edilmiştir. Erişim sağlanamayan yerlerdeki talep yoğunluğu, yerleşim yerlerine yakınlık ve arazi kullanımı gibi kriterlere göre mevcut istasyonlara ek 18 aday itfaiye istasyonu önerilmiştir. Aday ve mevcut istasyonlar sezgisel ağ tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları ile tekrar analiz edilmiştir. Aday istasyonların tesis edilmesi durumunda İstanbul'un birim alandaki talep noktalarına karşılık nüfusun %95'ine (15.410.928) önerilen süre içerisinde erişim sağlanabileceği belirlenmiştir. Ayrıca itfaiye istasyonları için en uygun konumların tespitine ek olarak 26326 sayılı Belediye İtfaiye Yönetmeliğine göre mevcut ve aday itfaiye istasyonları için tahsis edilmesi gereken araç ve teçhizatlar belirlenmiştir.

Facility location optimization by heuristic network-based location allocation analysis algorithms: The case study of fire station facilities site selection

Article Info

Article History:

Received: 05.07.2021
Revised: 20.09.2021
Accepted: 10.04.2021

Keywords:

Network Analysis,
GIS,
Service Area Analysis,
Location-Allocation Analysis,
Facility Location Optimization

Abstract

In order to improve the quality of urban life in today's crowded cities, the requirement to provide accessibility to urban services, emergency management, and the development of planning mechanisms for the appropriate distribution of industrial facilities has emerged. According to the population distribution and the density of the demands in the relevant area, the location of the facilities that will provide the most appropriate access can be performed by using the Geographic Information Systems (GIS) based network analysis techniques together with the transportation infrastructure. In this context, in the management of urban fire emergency incidents, a network-based site selection application methodology was developed with a case study in Istanbul in order to determine the most suitable fire station locations and to access fire scenes as soon as possible. Considering the 2020 Istanbul neighborhood populations and the distribution of existing buildings, the demand of the population per unit hexagonal area was determined. Then, by using the Service Area analysis, the areas that the existing fire stations can access within the 5, 9 and 11.5 minutes recommended by the USA National Fire Protection Association (NFPA) according to the incident response type were determined. It was detected that the existing fire stations provide access to 81% of the population (15.306.94), but not to 19% (139.440), in response to the demand points per unit area of Istanbul. According to factors such as demand density in inaccessible areas, proximity to settlements, and land use, an additional 18 candidate fire stations were proposed for existing stations. Candidate and existing stations were analyzed again by using heuristic network-based location-allocation analysis algorithms. In the case of the establishment of candidate fire stations, it was determined that 95% of the population (15.410.928) can be accessed within the recommended time period in response to the demand points per unit area of Istanbul. In addition to the determination of the most suitable locations for the fire stations, the vehicles and equipment that should be allocated for the existing and candidate fire stations were defined according to the Municipal Fire Department Regulation No. 26326.

1. Giriş

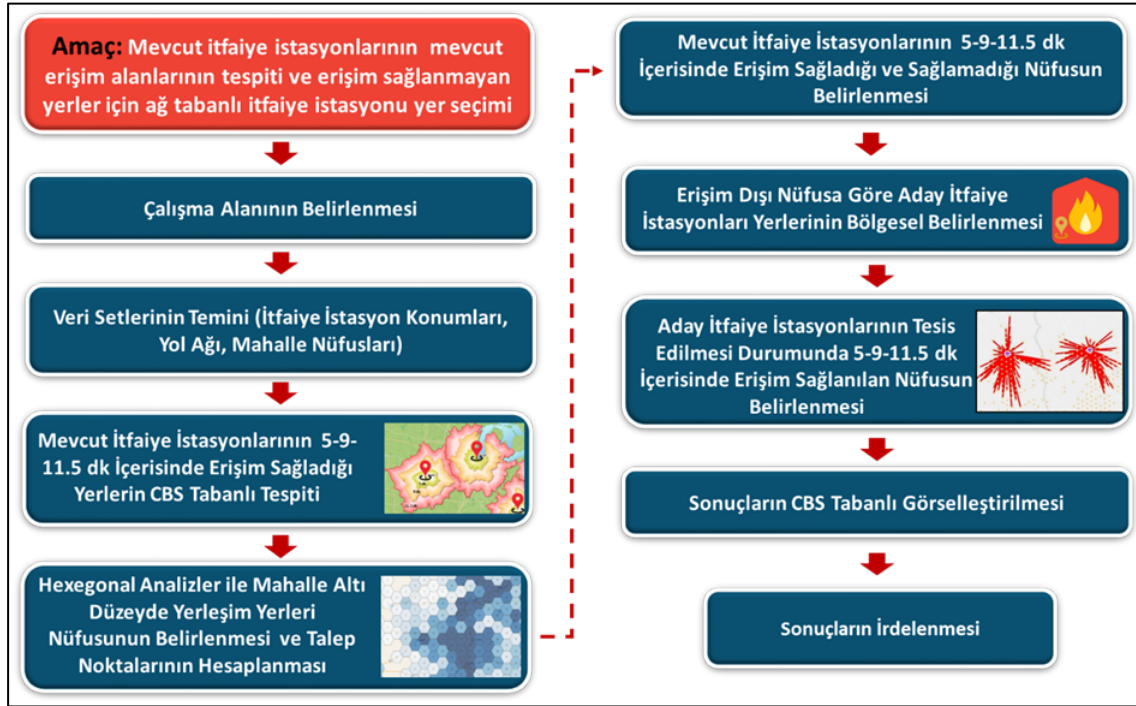
Tarihi süreçler boyunca insanların zaman zaman karşı karşıya geldiği afetler, hem insanlar hem de diğer canlılar açısından normal gündelik yaşamın ve toplumsal faaliyetlerin kesintisine yol açarak, toplumda ekonomik, sosyal, fiziksel ve kültürel kayıplara neden olan doğal ya da yapay kaynaklı bir durumdur (Koyuncu ve Koyuncu, 2016). Bu kapsamda afet yönetimi, her türlü olası tehlike durumuna karşı hazırlıklı olma, zarar azaltma, zamanında müdahale ve iyileştirme amacıyla mevcut kaynakların kullanımını düzenleyen analiz, planlama, karar verme ve değerlendirme süreçlerini içermektedir. (Erden, 2009). Afetler; yangın, deprem, heyelan, sel, çığ, salgınlar, tehlikeli maddeler, gemi ve uçak kazaları, terör olayları gibi farklı şekillerde ortaya çıkabilmektedir (Khan, Vaezi ve Kumar, 2018). Her yıl milyonlarca insan afet felaketleri ve afetlerin birçok açıdan olumsuz izler bırakan sonuçlarıyla karşı karşıyadır. Acil müdahale gereksinimi duyan afetler; yangın, kaza, hastalık, vb. her türlü durumda hizmete erişime ihtiyaç duyan kişi ve bölgeye ulaşma süresi can ve mal güvenliği bakımından çok kritik olan olaylardır. Acil müdahale hizmetlerinin etkin planlaması, sakatlık ve ölüm oranlarını azaltacağı gibi ekonomik kayıpların da önüne geçilmesine olanak tanır (Çatay, 2011). Günümüzde pek çok kurum ve kuruluş tarafından yaygın olarak kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); doğal kaynak yönetimi, endüstriyel tesis yer seçimi, afet yönetimi ve bölgesel planlama gibi birçok alanda karar destek mekanizması olarak uygulama alanı bulmaktadır. CBS teknolojisi, 1980'lerden başlayarak özellikle doğrudan veya dolaylı yer/konum ile ilişkili coğrafi verilerin elde edilmesinde, yönetilmesinde ve analiz edilmesinde yeni bir karar destek aracı olarak ortaya çıkmıştır (Densham ve Rushton, 1991). Özellikle CBS tabanlı analizler ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri (Analitik Hiyerarşi Yönetimi /AHP, TOPSIS, ELECTRE vs.) ile yer seçim uygulamaları yapılmaktadır. CBS, pek çok çalışma alanında faaliyet gösteren ağ tabanlı coğrafi verilerin analizinde de birçok probleme çözüm olanağı sağlayan bir sistemdir (Üstündağ ve Boyraz, 2008). Bu alanlarda yapılmış çalışmalar, eğitim, sağlık, askeri, acil durum servisleri, itfaiye istasyonları ve katı atık depolama alanlarının yer seçimi başta

olmak üzere birçok planlama ve yatırım uygulamasında kullanılmaktadır (Yu, Chen, Chen, Xia ve Zhou, 2020). Birim alandan en yüksek verimle faydalanabilmek ve bu konuda rasyonel kararlar alabilmek için insan ve mekân ilişkisinin en iyi şekilde araştırılması ve sonuçlarının iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Yangın afeti, maddenin ısı ve oksijenle birleşmesi sonucu oluşan yanma reaksiyonlarının neden olduğu, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaygın görülen büyük öneme sahip bir doğal afettir (Zhao ve diğ., 2017). Yoğunlaşan nüfusla birlikte yangınların görülme olasılığı artmakta, farklı konumlarda ve farklı nedenlerle meydana gelmekte, doğal çevrede ve yerleşmelerde maddi ve manevi büyük zararlara neden olmaktadır (Karim ve Awawdeh, 2020). Nüfus yoğunluğu oldukça fazla olan ve plansız biçimde yapılaşmış şehirlerde, itfaiye hizmetlerinde yaşanan problemler ve kaynak yönetimi planlama eksikliği itfaiye araçlarının olaya zamanında erişim sağlayamaması ile sonuçlanmaktadır. Etkin kaynak yönetimi ve itfaiye araçlarının olay yerine optimum şekilde ulaşabilmesi için itfaiye istasyonlarının uygun şekilde dağılımının yapılması gerekmektedir (Aydın, 2018). İtfaiye istasyonlarının kurulması ciddi maddi yatırımlar gerektirdiğinden dolayı, uzun süreli hizmet sağlamak üzere mekânsal planlamaları oldukça önemlidir. En uygun itfaiye istasyon yerleri, mevcut ihtiyaçlara ve belediyelerin sağlamayı hedeflediği hizmet düzeyine bağlıdır. Hizmet düzeyinden kasıt, belirlenecek zaman sınırı/sınırları içinde olay yerine müdahale edebilmektir (Aktaş, Özaydın, Ülengin, Önsel ve Ağaran, 2011; Çatay, 2011). Bu çalışmada, CBS yazılımlarının sağladığı avantajlardan yararlanarak ağ analizleri ile acil durum tesislerinin yer seçimi için yaklaşımın belirlenmesi amaçlanmaktadır. İkinci bölümde çalışma metodolojisinden bahsedilerek CBS’de ağ analizi ile uygun yer seçimine yönelik kullanılan teknikler incelenmiştir. Hangi kriterlerin kullanılabileceği konusunda yapılan çalışmalar ve geliştirilen standartlar incelenerek mevcut durum ortaya konulmuştur. Üçüncü bölümde, İstanbul örneğiyle yoğun nüfus artışı ve trafik problemleri ile yüzleşen şehirlere yönelik, mevcut itfaiye istasyonlarının irdelenmesi veya yeni tesis edilecek istasyonların yerlerinin etkin planlanmasına yönelik uygulama geliştirilmiştir. Son bölümde de yapılan çalışmanın benzeri acil durum tesislerinin planlaması uygulamalarında kullanılabilirliği irdelenmektedir.

2. Metodoloji

İtfaiye tesisi yer seçim modellerinin temel hedefi, belli bir hizmet düzeyinde en iyi ve uygun yerlerin belirlenmesidir. İtfaiye istasyonları için en iyi/uygun yer seçimi, temelde insan ve teçhizat kaynağının en etkili şekilde kullanımıyla, mümkün olduğu kadar çok sayıda hayatı ve yerleşkeyi koruyacak yerlerinin belirlenmesidir (Çatay, 2011). Bu kapsamda çalışmanın hedefleri, uygulanan analizler sonucunda mevcut itfaiye istasyonlarının erişim sağladıkları toplam nüfusun ortaya koyulması, ilgili itfaiye yönetmeliğinde yer alan nüfus bilgisine göre araç, malzeme ve teçhizat tahsis edilmesidir. Erişilemeyen nüfus durumunun ortaya koyularak, analizler ile öneri tesis yerlerinin belirlenmesidir. İtfaiye istasyonu yer seçimine dair ilk çalışmada Hogg (1968) tarafından İngiltere’nin Bristol kenti için optimal yerler belirlenerek toplam ulaşım süreleri incelenmiştir. Toregas ve diğ. (1971) Küme Kapsama Modeli (KKM- Set Covering Location Model) ve Church ve ReVelle (1974) En büyük Kapsama Modeli (EKM- Maximal Covering Location Model) yaklaşımlarını temel almışlardır. İlk modelin amacı tüm hizmet bölgelerini belirli bir hizmet düzeyinde kapsayacak en az sayıdaki istasyonu tespit etmek iken, ikinci model belirli bir istasyon sayısı kısıdıyla kapsanan hizmet bölgesi sayısını en fazlaya çıkarmayı hedeflemektedir. Plane ve Hendrick (1977) Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nin Denver kentinde, Schilling ve diğ. (1980), Baltimore kentinde ve Schreuder (1981) Hollanda’da Rotterdam kentinde itfaiye istasyonu yer seçimi problemi için KKM yaklaşımlarından faydalanmışlardır. Badri ve diğ. (1998) KKM’ye dayanan çok amaçlı modelleme yaklaşımı sunmuş olup, Birleşik Arap Emirlikleri’nin Dubai kentindeki itfaiye istasyonlarının yerlerini hedef programlama yöntemi ile belirlemişlerdir Aynı yaklaşım kullanılarak Singapur’da da yeni itfaiye istasyonlarının yer seçimi gerçekleştirilmiştir (Çatay, 2011). Chevalier (2007), çok amaçlı model temeline dayanan diğer bir yöntem olarak CBS ile karınca kolonisi optimizasyonu yöntemini bütünleşik bir yapıda kullanmış olup, Belçika’daki itfaiye istasyonlarının konumlandırılması ve tahsisi için karar destek sistemi geliştirmiştir. Bu konuda ABD’de Ulusal Yangından Korunma Kurumu (National Fire Protection Association) yani ‘NFPA’ kuruluşunun yangın müdahale süreci ile ilgili NFPA 1710 kodlu standardı bulunmaktadır (NFPA-1710, 2021). CBS tabanlı analizlerin veya ÇKKV yöntemleri gibi yaklaşımların yanında ağ tabanlı analizler kullanılarak uygulamalara farklı bir bakış açısı getirilebilmektedir. İtfaiye istasyonlarının yerlerinin seçimi daha kaliteli hizmet sağlayabilmek bakımından önemli ve öncelikli bir yer tutmaktadır. İtfaiye istasyonu yerinin seçiminde, minimum yanıt zamanı verilerinin dışında başka kriterlerin de önemli olabileceği gerçeği kabul görmeye başlamıştır (Hewitt, 2002). Şekil 1’deki uygulama metodolojisinde görüldüğü gibi, İstanbul ili için mevcut itfaiye istasyonları verisi, nüfus dağılımı ve yol ağı verisi temin edilerek çalışma gerçekleştirilmiştir. Uygulama kısmında; mevcut itfaiye standartları dikkate alınarak, çalışma kapsamında İstanbul ili pilot uygulaması ile kentsel alanlarda itfaiye istasyonlarının olay yerine en kısa sürede ulaşılabilmesi ve ulaşılamayan yerlere yeni tesis edilecek itfaiye istasyon yerlerinin en uygun konumları tespiti için ağ tabanlı CBS analiz yaklaşımları ile bir yer seçim metodolojisi sunulmuştur. İstanbul için nüfus dağılımı haritası üretilerek, belirtilen ağ analizi teknikleri ile erişim zaman dilimlerinde hizmet sağlanabilecek nüfus belirlenmiştir. İstanbul ilinde bulunan mevcut itfaiye istasyonlarının

belirli bir süre içerisinde erişebildiği yerler tespit edilerek ve erişilemeyen yerleşim alanları analiz edilerek potansiyel itfaiye istasyonları yerleri önerilmiştir. Analiz sonucu istatistikî değerler ile talebe göre uygun tesis türü belirlenmiştir.

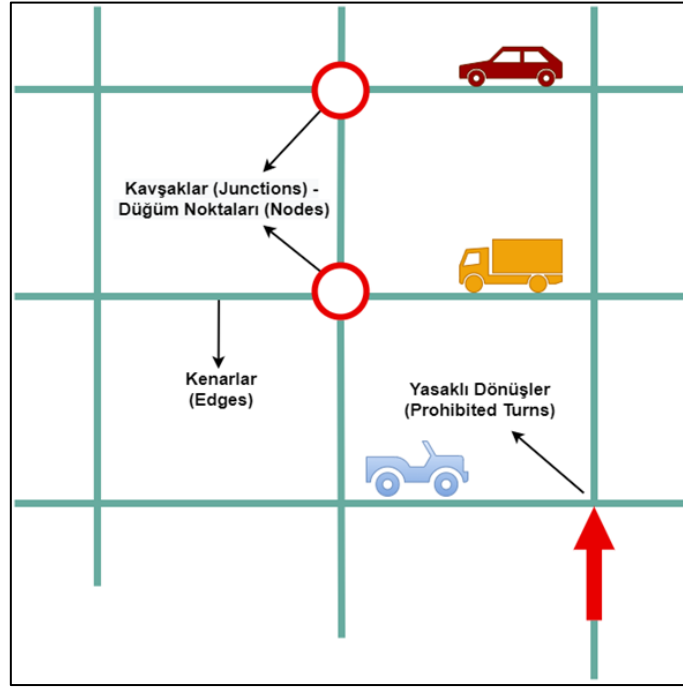


Şekil 1. Çalışma uygulama metodolojisi

2.1. CBS tabanlı ağ analizleri

CBS’de ağ özelliği gösteren unsurlar Şekil 2’deki gibi birbirlerine düğüm noktalarıyla bağlıdır. Bu düğüm noktalarının birleşimi ile gerçek hayattaki yol ağları, akarsuların kolları, elektrik hatları, demiryolları, boru hatları ve telefon hatları tanımlanabilir. Bu nesnelere ağ özelliği gösterdiklerinden bir noktadan diğer bir noktaya erişebilmeyi olanaklı kılar (Jiang ve Claramunt, 2004). İnsanların bir yerden başka bir yere ulaşmaları, servis hizmetleri ve malların taşınması, dağıtılması, kaynak ve enerjinin ulaştırılması ve bilgi iletişimi gibi faaliyetler ağ yapıları içinde gerçekleştirilir (Karaş, 2007). Ağ analizleri, yol ağlarının gerçekçi bir biçimde modellenmesini ve bu modeller üzerinde güzergâh analizleri gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. En kısa yol, en yakın hizmet tesisinin bulunması, maliyet analizleri ve filo yönetimi gibi tüm ağ analizleri bu kapsamda gerçekleştirilebilmektedir. İşletmeler, kamu hizmetleri ve diğer kuruluşlar, çalışmalarını daha verimli yürütmek ve daha iyi stratejik kararlar alabilmek adına ağ tabanlı analizlerden yararlanmaktadır. Bu kuruluşlar, mallarına veya hizmetlerine kimlerin erişebileceğini tespit ettikten sonra hem mevcut hem de potansiyel dinamik pazarları daha iyi anlayabilmektedir (ESRI, 2021a).

Ağ analizleri; En Uygun Yol (New Route), En Yakın Olmak (Closest Facility), Kaynak Tahsis Alanı (Service Area), Konum Tahsis/Yer Seçimi (Location-Allocation), Araç-Rota Problemi (Vehicle Routing Problem) ve Başlangıç- Gidecek Yer Maliyet Matrisi (Origin-Destination Cost Matrix) olmak üzere altı problem çözümünden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, ‘Kaynak Tahsis Alanı (Service Area)’ ve ‘Yer Seçimi (Location-Allocation)’ ağ analiz çözümleri kullanılmıştır.



Şekil 2. Network ağ veri modeli örneği

2.1.1. Kaynak tahsis alanı

Ağ analizleri ile bir ağ üzerindeki herhangi bir noktanın servis alanlarını belirlemek mümkündür. Buna bağlı olarak kaynak tahsis alanı çözüm analizi, ağ analizini kullanarak belirli bir zaman veya mesafe maliyetinde erişilebilir alanları “servis alanı” olarak belirler (Kesik, Aydınoğlu ve Taştan, 2016). Bir ağ servis alanı, o özellik için ulaşılabilen bütün cadde ve sokakları kapsayan bir bölgedir. Bu analizde ulaşılabilirlik, bir noktaya nasıl kolay gidileceğini tanımlar, ulaşım zamanı, mesafe veya başka bir niteliğe bağlı olarak belirlenebilir. Ulaşılabilirlik ile birtakım sorulara cevap bulunabilir, çoklu-ağ modeli ile genelleştirme, kaynakların çıkarımı ve alan bindirmeleri gibi birçok seçenek uygulanarak kurumların çevrelerine hizmet verebilecekleri alanlar belirlenebilir. Örneğin acil durum yönetiminde, birimlerin dağılımı sonucunda ulaşılabilme özelliğine bağlı olarak hizmet verilebilecek alanlar belirlenebilir, bu sayede servis alanlarının dışında kalan alanlar, yeni yapılması planlanan kurum ve birimlerin yerlerinin belirlenmesi konusunda yaklaşım sağlanır (Erkal ve Değerliyurt, 2013). Alansal bir değer ifade ettiği için konumsal seçimler yapılırken alanın içinde/dışında kalan veya kesişen gibi birtakım sorgulamalara olanak sağlayarak kurumların hizmet edebilmesi için doğru yerlerin seçilmesine yardımcı olur (Şimşek, Büyüksalih, Taşpınar, Bayburt ve Buhur, 2012). Kaynak tahsis alanı (service area) çözüm analizi ile planlama ve yatırıma yönelik olarak nüfus, ulaşım, yerleşim, ana merkezler olan mesafe, çevre ve benzeri faktörlere bağlı olarak fizibilite çalışmaları yapılarak en uygun karar verilir. Planlamada; okul alanı, çöp toplama merkezi, itfaiye hizmet alanı, ticari amaçlı alış-veriş merkezi ve fabrika alanı için en uygun yer tespiti gibi birçok problemin irdelenmesi sağlanır.

2.1.2. Konum tahsis/yer seçimi

Hizmet tesis yerlerinin doğru konumlarda olması, herhangi bir özel sektör veya kamu kuruluşunun başarısına yol açan en önemli kriter olarak kabul edilmektedir (ESRI, 2021b). Özel sektör kuruluşları, ister yerel bir müşteri kitlesine sahip küçük bir dükkân, ister dağıtım merkezleri ve dünya çapında bir perakende satış mağazalarına sahip zincir bir fabrika ağı iyi bir konum üzerinden büyük kârlar kazanabilir. Konum, giderlerin düşük ve erişilebilirliğin yüksek tutulmasına yardımcı olabilmektedir. Okullar, hastaneler, kütüphaneler, itfaiye istasyonları ve acil müdahale hizmet merkezleri gibi kamu sektörü tesisleri, uygun yer seçildiğinde topluma düşük bir maliyetle yüksek kaliteli hizmet sağlayabilir (Yao, Zhang ve Murray, 2019). 1909’da Weber tarafından tanıtılmış olan konum tahsisinin amacı, talep noktalarının dağıtılacağı şekilde tesisler için en uygun yerleri belirlemektir (Aydinoğlu ve Iqbal, 2021). Belirli bir nokta kümesinden oluşan taleplere hizmet edecek bir veya daha fazla tesis için en uygun konumu belirlemede CBS algoritmalarından yararlanır. Bu algoritmalar ile mevcut tesis sayısı,

maliyetleri ve bir tesisten bir talep noktasına maksimum empedans gibi faktörleri dikkate alarak bu talep noktalarını bir veya daha fazla tesise atayabilir (Al-Sabbagh, 2020). Konum tahsis analizi; tesis (facility), talep (demand) ve ağ alanı (network area) olmak üzere üç temel bileşenden yararlanır:

Tesis (facility): Konum tahsisi analizinde tesis, nesnenin coğrafi konumunun önceden var olan diğer nesnelere etkileşimini göz önünde bulundurarak algoritma veya model tarafından optimize edildiği bir nesneyi tanımlamak için kullanılır. Hastane, okul, otoparklar, zincir mağaza ve depolar gibi nesnelere tesislere örnektir. Tesisler; tesis sayısı, türü ve maliyeti gibi özelliklere de sahiptir (Scaparra ve Scutella, 2001).

Talep (demand): Talep, müşteri olarak da adlandırılan konum tahsis analiz modelinin önemli bir bileşenidir (Arifin, 2011). Bir müşteri veya talep, bir hizmete veya bir malın arzına erişilebilirliğe ihtiyaç duyan bir kişidir (Scaparra ve Scutella, 2001).

Ağ alanı (network area): Konum tahsisi analizinde ağ alanı, tesisler ve talepler arasındaki mesafeyi ve sürüş süresini hesaplayan yol ağı temel veri kümesidir (Aydinoğlu ve Iqbal, 2021).

Konum tahsisi analizi; belirli soru türlerine göre, sezgisel yaklaşımla ağ analizi türlerini önceliklendirerek problemlere yedi farklı konum tahsis problem çözümü sunar. Bu algoritmalar Empedansı En Aza İndirme / P-Medyan, Kapsama Alanını En Üst Düzeye Çıkarma, Kapasite Kapsama Alanını En Üst Düzeye Çıkarma, Tesisleri En Aza İndirme, Katılımı En Üst Düzeye Çıkarma, Pazar Payını En Üst Düzeye Çıkarma ve Hedef Pazar Payı olarak sıralanabilir.

2.1.2.1. Empedansı en aza indirme / p-medyan

P-medyan problemi, tesis yeri seçim problemleri içerisinde en popüler ve çözümü amacıyla literatürde çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiş olan temelde ağ tabanlı bir tesis yerleşim ve atama modelidir (Alp, Erkut ve Drezner, 2003). Minimum problemleri Kuehn ve Hamburger (1963), Hakimi (1964), Manne (1964) ve Balinski (1965) tarafından formüle edilmiştir. Hakimi hem problemi formüle etmiş hem de üçgen eşitsizliğine dayanan bir şebeke üzerinden optimum yerleşimin düğümler üzerinde olduğunu ortaya koymuştur (Serra ve Marianov, 2011). Düğümlerin ve birleştirdiği çizgiler ağında tanımlanan P-Medyan Modeli, nesnel fonksiyonların toplam maliyetini minimize etmek için potansiyel noktalar arasındaki medyan noktaları tanımlar. P-medyan probleminin temel hedefi, erişilebilirliği en üst düzeye çıkarmak için tesis ve talep konumları arasındaki toplam ağırlıklı mesafeyi minimuma indirgeyerek tesislerin optimum yerlerini belirlemektir (Arifin 2011; Richard ve Church, 1994). Bu modelin kısıtlamaları; tüm tesislerin dışına düşen talepler empedans kesimleri tahsis edilmeyecek, bir tesisin empedans kesimine giren tüm talepler tahsis edilecek ve birden fazla tesisin kesimleri içinde yer alan talepler en yakın olana tahsis edilecektir şeklindedir (Shahparvari, Fadaki ve Chhetri, 2020).

p adet tesisin n adet düğümden oluşan ağ üzerinde minimum maliyet oluşacak şekilde yerleştirilmesi ve yerleştirilen bu tesislerden hizmet/erişim alacak talep noktalarının belirlenmesidir (Hakimi, 1964). Burada bahsedilen toplam maliyeti minimize etmektir. Bu kapsamda maliyet; zaman, toplam mesafe ya da buna benzer başka herhangi bir faktör de olabilir (Basti, 2012). P-medyan probleminin matematiksel modeli (Arifin, 2011):

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

- Z= nesne fonksiyonu
- I= ağdaki tüm talep yerleri
- J= ağdaki tüm aday tesis yerleri
- a_i = talep konumunda bulunan taleplerin sayısı ; i
- d_{ij} = ağ üzerindeki mesafe, aday tesis j' den talep i' ye
- p= bulunması gereken tesislerin sayısı
- d_{\max} = maksimum mesafe kısıtlaması

Ayrı bir talep konumundan gelen toplam talebe şu şekilde verilir:

- $x_{ij} = (0,1)$ için tüm (i,j) sadece bir tesise tahsis edilir:
- $(d_{ij} \leq d_{\max}) \Rightarrow 1$ ve $(d_{ij} > d_{\max}) \Rightarrow 0$

Kısıtlamalar şunlardır:

- Bir tesis ayrı bir talep alanı ile tahsis edilmelidir: $x_{ij} \leq x_{ij}$ için tüm (i,j)

- Açık bir tesise bir talep tahsis edilmelidir: $\sum_{j \in J} x_{ij} = 1$ için tüm i
 - Sadece p tesisleri tahsis edilmelidir: $\sum_{j \in J} x_{jj} = p$ için tüm j
- Bunların toplamı tahsis edilecek tesislerin sayısına eşittir.

Empedans problemini en aza indirmek, perakende mağazaları, kütüphaneler, okullar, hastaneler ve diğerleri de dahil olmak üzere hem kamu hem de özel sektörde birçok uygulamaya sahiptir. Özel sektörün temel amacı maliyetleri en aza indirmek ve verimliliği en üst düzeye çıkarmak olduğundan, bu model özel sektörde kullanmak için uygun model olabilecek genel nakliye maliyetlerini azaltacaktır (Algharib, 2011).

2.1.2.2. Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma

Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma modeli Church ve ReVelle (1974) tarafından geliştirilmiştir (Algharib, 2011). Bu model, belirli bir mesafe veya seyahat süresi içinde talep noktalarının sayısı için kapsama alanını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Başka bir deyişle bu model, bir mesafe kısıtlaması veya seyahat süresi içinde minimum tesis sayısı ile hedeflere ulaşmak için tüm talepleri karşılamayı amaçlamaktadır. Bu da talep yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde konumlanan tesisin ilk seçilme avantajına sahip olduğu anlamına gelir (Algharib, 2011). Tesis seçimi açısından bu model, mesafeye veya arz ve talep arasında geçen süreye göre en büyük talep alanını kapsamayı dikkate alır. Bu problem tipi tesislerin sayısını aza indirme amacıyla değildir (ESRI, 2021c). Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma probleminin matematiksel modeli Murawski ve Church (2009) tarafından aşağıda bulunan formül ile ifade edilmiştir:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_{j+} y_i \geq 1 \text{ için tüm } i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (3)$$

- $x_j = 1$ ise tesis j indisine atanır aksi takdirde $x_j = 0$
- $y_i = 1$ ise i indisinde talep karşılanır aksi takdirde $y_i = 0$
- $Z =$ nesne fonksiyonu
- $I =$ ağdaki tüm talep yerleri
- $J =$ ağdaki tüm aday tesis yerleri
- $a_i =$ talep yerindeki talepleri belirtir; i
- $N_i = (0,1)$ için tüm $j \in J$ $y_i = (0,1)$ için tüm $i \in I$
- $N_i = \{j \in J / d_{ij} \leq d_{max}\}$;
- $p =$ bulunması gereken tesislerin sayısı
- $S =$ Mesafeyi ifade eder, talep noktası geçtiğinde ortaya çıktığı düşünülmektedir. (Her talep noktası seçimi S değeri seçilir.)

Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma problemi; acil servis tesisleri gibi kamu sektöründeki tesisleri bulmak için kullanılabilir. Bu nedenle, bu model yangın istasyonları için en uygun yeri seçmek için uygun bir modeldir, çünkü yangın istasyonları genellikle belirli bir yanıt süresi içinde talep konumlarına ulaşmak için gereklidir. Kamu sektöründeki uygulamalarına ek olarak bu model, perakende mağazalarının en fazla sayıda talebe erişilebilir olmasında en uygun yerleri seçmek için özel sektörde de uygulanmaktadır (Algharib, 2011).

2.1.2.3. Kapasite kapsama alanını en üst düzeye çıkarma

Kapasite kapsama alanını en üst düzeye çıkarma modelinde tesisler, herhangi bir tesisin kapasitesini aşmadan talebin tamamına veya en büyük miktarına hizmet verilebilecek şekilde konumlandırılmıştır. Tesisler, mümkün olduğu kadar çok talep noktası ve empedans kesintisi dahilindeki çözüm tesislerine tahsis edilecek şekilde yerleştirilmiştir. Kapasite kapsama alanını en üst düzeye çıkarma sorununun kullanımı; belirli sayıda insanı veya

işletmeyi kapsayan bölgeler oluşturmada, sınırlı sayıda yatak veya tedavi edilebilecek hasta bulunan hastaneleri ve diğer tıbbi tesislerin yer seçiminde kullanılabilir (D'bro, Bravo ve Arana, 2019).

2.1.2.4. Tesisleri en aza indirme

Tesisleri en aza indirme modeli, bir mesafe kısıtlaması veya seyahat süresi içindeki tüm talepleri karşılayan tesis sayısını en aza indirir (Algharib, 2011). Bu modelin kullanıldığı uygulamalar; itfaiye istasyonları, ambulanslar, polis ve diğer acil durum araçları gibi acil servis tesis yerlerinin yer seçimi uygulamalarıdır. Bunlara ek olarak okul-otobüs duraklarının tesis edilmesi örnek verilebilir, yani öğrencilerin ikametgâhına daha yakın bir okul otobüsü durağı sağlanmadan önce belirli bir mesafeyi yürümeleri gerektiğinde okul otobüsü duraklarını seçmek için de kullanılabilir (D'bro ve diğ., 2019).

2.1.2.5. Katılımı en üst düzeye çıkarma

Katılımı en üst düzeye çıkarma modeli 1972 yılında Holmes tarafından geliştirilmiştir. Bu model, belirli bir mesafe veya seyahat süresi içinde taleplerin tesislere katılımını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Talebin yoğunluğuna yakın olan tesislere nispeten tahsis edilmiştir. Böylelikle talep ağırlığı yüksek olan talep noktaları öncelikli olarak tahsis edilecektir. Talep noktasına tam bir kapsama sağlamayı amaçlamaz, aslında her bir talep noktası için talep ağırlığının bir oranını tahsis eder. Bu özellik, katılımı en üst düzeye çıkarma modeli ile diğer modeller arasındaki temel farktır (Algharib, 2011). Rekabeti çok az olan veya hiç olmayan özel mağazalar bu sorun türünden yararlanır, ancak pazar payı sorun türlerini gerçekleştirmek için gereken rakipler hakkında verilere sahip olmayan genel perakendeciler ve restoranlar için de faydalı olabilir. Bu sorundan yararlanabilecek bazı işletmeler arasında kafeler, spor salonları, dış sağlık merkezleri ve tıp merkezleri, bowling salonları ve elektronik mağazaları bulunmaktadır. Toplu taşıma otobüs duraklarının yer seçimi de genellikle bu model yardımı ile seçilmektedir. Katılımı en üst düzeye çıkarma problemi, insanların tesise ulaşmak için ne kadar uzaklıktan seyahat etmesi gerektiğini sunar, bu durumda tesislerin kullanılma olasılıklarının o kadar düşük olacağını varsayar. Bu durum, tesislere tahsis edilen talep miktarının mesafeyle birlikte nasıl azaldığına yansımaktadır (D'bro ve diğ., 2019).

2.1.2.6. Pazar payını en üst düzeye çıkarma

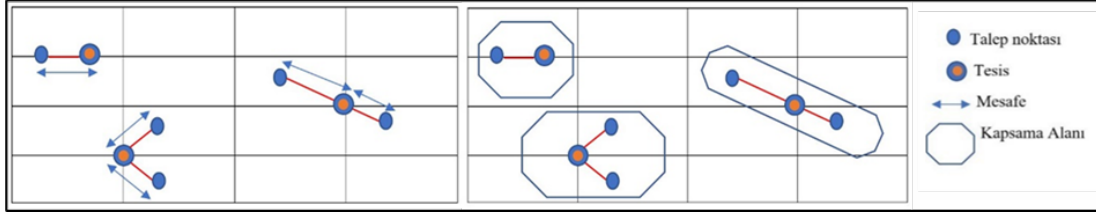
Pazar payını en üst düzeye çıkarma modeli, diğer rakiplerin konumu varlığında pazar payını en üst düzeye çıkaracak konumu bulmaktır (Arifin, 2011). Toplam pazar payı, geçerli talep noktaları için tüm talep ağırlığının toplamıdır. Bu problem türü en fazla veri ihtiyacı gerektirmektedir. Çünkü mevcut tesislerin ağırlığı yanında rakiplerin tesislerinin de ağırlıklarının bilinmesi gerekmektedir. Modelin yer seçim uygulaması örneği olarak büyük mağazaların belirli bir sayıda açacağı yeni mağazaların yerlerinin tahsis edilmesinde kullanılmaktadır.

2.1.2.7. Hedef pazar payı

Hedef pazar payı, muhtemel rakiplerin varlığında toplam pazar payının belirli bir yüzdesini yakalamak için gerekli minimum tesis sayısını seçer. Toplam pazar payı, geçerli talep noktaları için tüm talep ağırlığının toplamıdır. Ulaşılacak istenilen pazar payının yüzdesi belirlenir ve çözücünün bu eşiği karşılaması için gerekli olan en az sayıda tesisi seçmesini sağlamaktadır.

Konum tahsisinin temel hedefleri, ifade edilen modellerde tesislerin maksimum verimlilikte talepleri karşılamasına izin veren tesisler için en uygun konumların belirlenmesini sağlamaktır. Bu çalışmada empedansı en aza indirme / P-medyan modeli ile kapsama alanını en üst düzeye çıkarma modeli kullanılmıştır. Bu modeller doğrultusunda konum tahsisi modellerinin iki temel objektif yaklaşımı vardır: kapsama alanı ile en üst düzeye çıkarmak ve toplam ağırlıklı maliyetlerin en aza indirilmesidir. Bu tür yaklaşımlar, tesislerin yerini belirlemek için en önemli çözümü takip eder. Empedansı en aza indirgeme yaklaşımının amacı, maliyeti azaltmak ve verimliliği en üst düzeye çıkarmaktır (Şekil 3-a), oysa kapsama alanını en üst düzeye çıkarma yaklaşımı, belirli bir empedans kesintisi içinde maksimum taleplere hizmet eder (Şekil 3-b). Empedansı en aza indirgeme yaklaşımı, özellikle tesislerin konumlarının mutlaka yüksek yoğunluklu talep konumlarına yakın olmadığı yanıt sürelerini azaltmak için kullanılır. Buna karşılık kapsama alanını en üst düzeye çıkarma yaklaşımı, katılımı en üst düzeye çıkarma ve tesisleri en aza indirme modellerini en üst düzeye çıkarmak için kullanılır. Kapsama

alanını en üst düzeye çıkarmak için en yoğun talep alanlarına yakın tesislerin en uygun yerlerini alma eğilimindedir (Shahparvari ve diğ., 2020).



Şekil 3. a. Empedansı En Aza İndirme / P-Medyan (sol), b. Kapsama Alanını En Üst Düzeye Çıkarma (sağ)

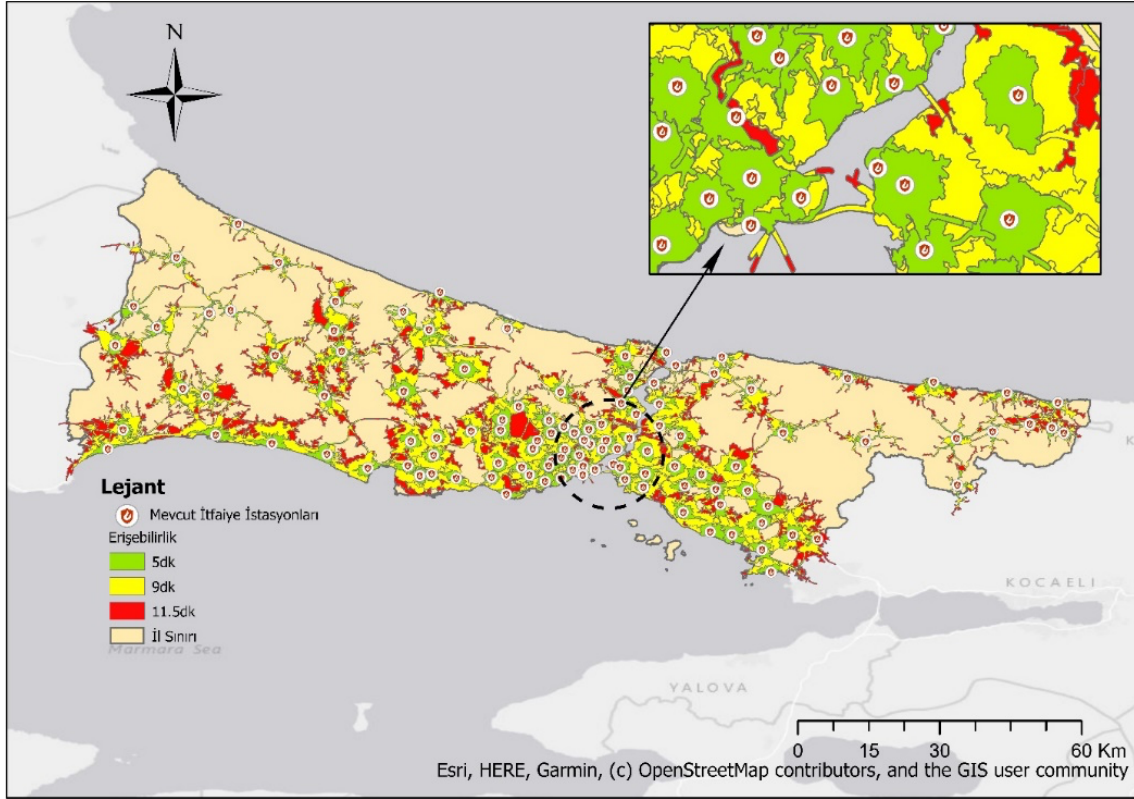
3. Uygulama

3.1. Çalışma alanının belirlenmesi ve veri setlerinin elde edilmesi

Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde yer alan İstanbul ili, doğuda Kocaeli, güneyde Bursa ve Marmara Denizi, batıda Tekirdağ, kuzeyde Karadeniz ile çevrilidir. Ülkenin en kalabalık şehri olmasının yanı sıra ve ekonomik, tarihi ve sosyo-kültürel açıdan da en önde gelen şehridir. İstanbul'un toplamda 40 belediyesi (39 ilçe belediyesi ve büyükşehir belediyesi) bulunmaktadır. Bu belediyelerin yönetim sınırları içerisinde ise toplam 963 mahalle bulunmaktadır. 2020 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerine göre İstanbul 15.462.452 toplam nüfusu ile Türkiye'nin en kalabalık şehridir (TÜİK, 2020). Toplam yüzölçümünün 5461 km² olduğu düşünüldüğünde şehirde km²'ye 2831 kişi düşmektedir. Diğer taraftan İstanbul'da ulaşım, kara, hava, deniz ve demiryolu gibi farklı şekillerde yapılmaktadır. Şehir içi, şehirlerarası gibi ulusal düzeydeki taşımacılığın yanı sıra, uluslararası düzeyde taşımacılık faaliyetlerinin de gerçekleştirildiği büyük merkezlere sahiptir.

Çalışma kapsamında, İstanbul yol ağı verisi açık kaynak kodlu harita oluşturma projesi olan Open Street Map (OSM, 2020) haritalarından elde edilmiştir. İstanbul ilinin Şekil 4'deki gibi 42 adeti Anadolu Yakası'nda ve 76 adeti Avrupa Yakası'nda toplam 118 mevcut itfaiye istasyonunun bilgileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi Açık Veri Portalı'ndan (İBB Açık Veri Portalı, 2020) elde edilmiştir.

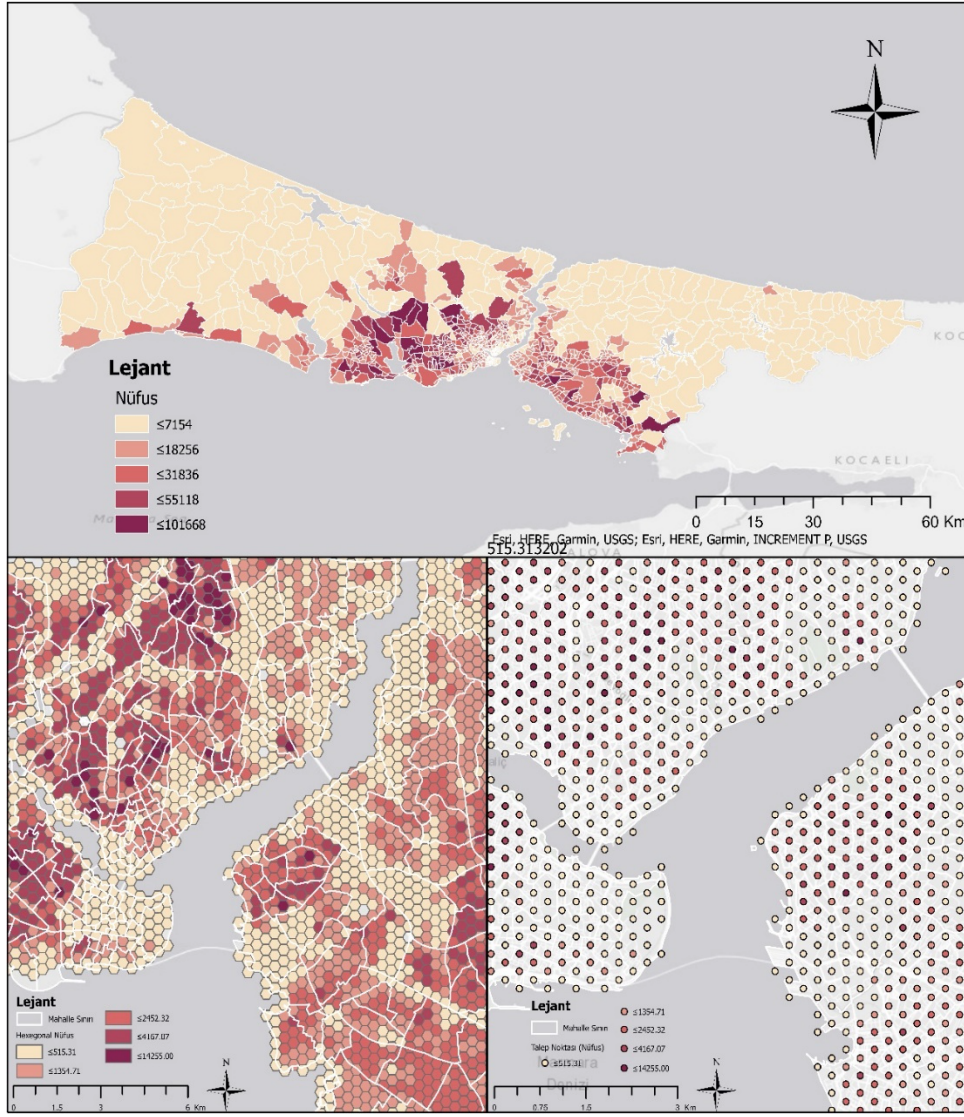
Kilyos bölgesi ve Beylikdüzü ilçesinin Dereağzı mahallesine de erişim olmadığı görülmektedir. İstanbul Anadolu Yakası'nda ise Tuzla, Pendik, Şile, Beykoz ve Çekmeköy ilçelerinin bazı bölgelerine erişim sağlanmadığı görülmektedir. Özellikle Tuzla ve Pendik ilçelerinin sınırlarında bulunan mahallelerine erişim sağlanmamıştır.



Şekil 5. 5, 9 ve 11.5 dakikada itfaiye tesislerinden erişilebilen yerler

3.3. Talep noktaları nüfusunun hesaplanması

26326 sayılı Belediye İtfaiye Yönetmeliği'nin 11. Bölüm Araç, Teçhizat ve Malzeme bölümü 42. Madde 'Araç' kapsamında İtfaiye istasyonunda bulunması gereken asgari araç sayısı için ilgili nüfusa göre tanımlama yapılmıştır. 43. Madde 'Teçhizat ve Malzemeler' kapsamında ise itfaiye teşkilatında kullanılacak teçhizat ve malzemelerin cins, miktar ve nitelikleri hizmet gereksinimlerine göre teknolojik gelişmelere paralel olarak belirlenir. Araç tanımları, teçhizat ve malzemelerin temini TSE ve EN (Avrupa Standartları) standartlarına uyumludur. Yönetmeliğe göre- 10 bin - 25 bin - 50 bin - 100 bin - 200 bin - 300 bin - 400bin - 600bin – gibi nüfus sınır değerleri ile nüfus grupları tanımlanarak, itfaiye tesisinin sorumlu olduğu nüfusu temsil eden sınıfa karşılık bulundurması gereken araç kapasitesi belirlenmiştir (Belediye İtfaiye Yönetmeliği, 2006). Böylelikle itfaiye tesislerinin tahsis alanlarında bulunan nüfusun hesaplanması ve bu kapsamda tesiste gerekli araç kapasitesinin belirlenmesi hedeflenmiştir. İtfaiye tesisleri için talep noktaları, CBS ortamında birim mahalle nüfusunun yerleşime ve kat adedine göre birim hegzagonal alana dağıtılması ile hesaplanmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi İstanbul'daki her bir alanda nüfus sayısı dağılımı ile hesaplanan talep noktaları belirlenmiştir. Elde edilen nüfus talep noktaları ile mevcut istasyonların 5, 9 ve 11.5 dakika erişilebilirlik analiz sonuçları CBS fonksiyonları ile ilişkilendirilerek her istasyonun hizmet sunabileceği yaklaşık talep nüfus toplamı hesaplanmıştır. Böylelikle hem mevcut durumu hem de Belediye İtfaiye Yönetmeliği'nde yer alan nüfusa göre temin edilecek araç, malzeme ve teçhizat durumu ortaya koyulmuştur.



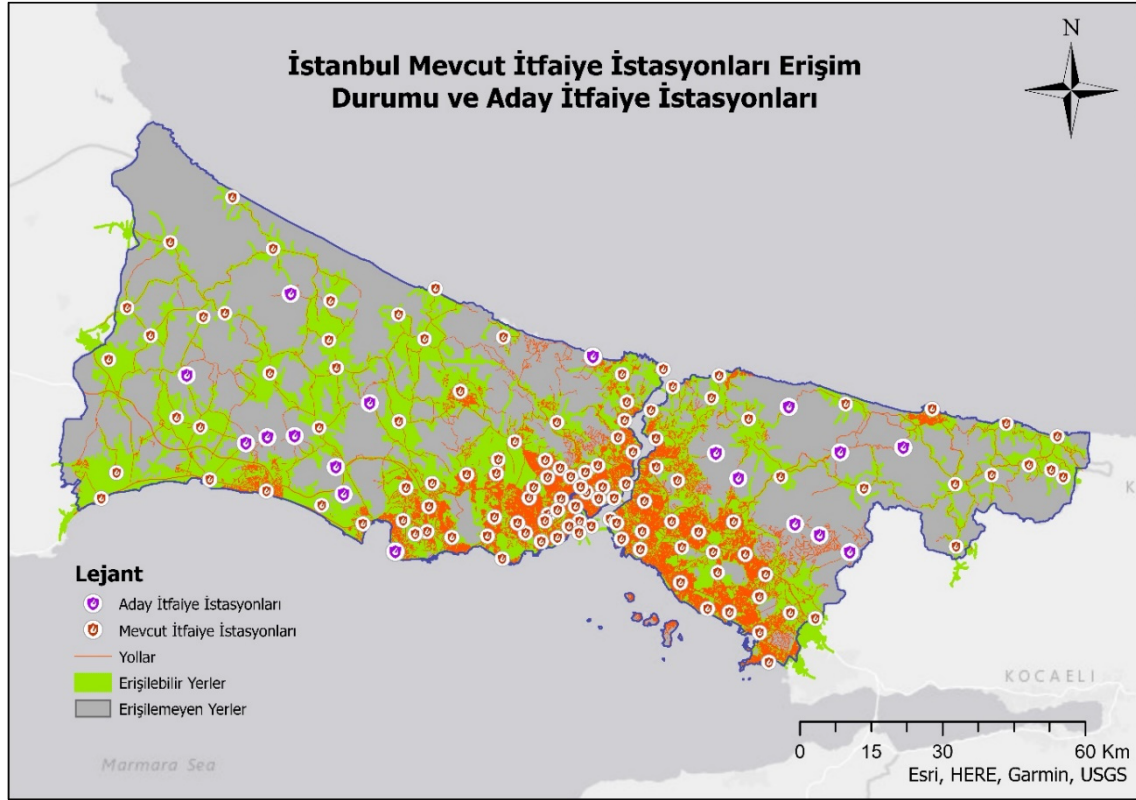
Şekil 6. Nüfus dağılımı ile itfaiye talep noktalarının hesaplanması

3.4. Aday itfaiye istasyon yerlerinin belirlenmesi ve en uygun itfaiye konumu yer seçimi analizleri

Mevcut itfaiye istasyonlarına erişebilirlik analizi sonuçlarına göre, 5, 9 ve 11.5 dakikada mevcut erişilebilir nüfus belirlenmiş ve böylelikle bu alanların dışındaki erişilemeyen nüfuslarda hesaplanmıştır. Ulaşamayan nüfuslara da erişim sağlamak amacıyla yeni itfaiye istasyonları tesis edilerek kalan nüfusa da erişim sağlanması hedeflenmektedir. Mevcut 118 itfaiye istasyonu mevcut ve gerekli itfaiye istasyonu olarak belirlenmiştir. Yeni tesis edilecek istasyonlar ise aday istasyonlardır. Aday istasyonlar tesis edilirken; erişilemeyen nüfus, ana arterlere yakınlık, arazi yapısı ve arazi kullanım tipi, askeri alanların olmaması gibi yerler göz önünde bulundurulmuştur. Böylelikle erişilemeyen nüfus için örnek 18 aday itfaiye istasyonu ile yer seçim uygulaması yapılmıştır (Şekil 7).

Konum tahsisi ya da uygun yer seçim analizleri (location-allocation) ile erişilemeyen yerlere dolayısıyla da nüfusa yönelik itfaiye istasyonları için en uygun yerler belirlenmektedir. Ağ tabanlı uygun yer seçimi analizleri olarak, empedansı en aza indirme / P-medyan modeli ve kapsama alanını en üst düzeye çıkarmak olarak ifade edilen iki model bu çalışmada kullanılmıştır. Bu modellerin çalıştırılmasında Location-Allocation Analysis aracı kullanılmıştır. P-medyan modeli, erişebilirliği en üst düzeye çıkarmak için tesis ve talep yerleri arasındaki toplam ağırlıklı mesafeyi minimuma indirgeyerek tesislerin en uygun konumlarını belirlemektedir. Buna bağlı

olarak 18 aday itfaiye istasyonu tesisleri ifade ederken, erişilmeyen nüfus da talep noktalarını ifade etmektedir. Aday itfaiye istasyonlarının talep noktalarına ulaşmak için kat ettikleri mesafeyi en aza indirip konumları belirlemektedir. Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma modeli ise belirli bir mesafe veya seyahat süresi içinde talep noktalarının sayısı için kapsama alanını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu modelde P medyan modelinde olduğu gibi 18 aday itfaiye istasyonu tesisleri ifade ederken, erişilemeyen nüfus da talep noktalarını ifade etmektedir. Aday itfaiye istasyonları 5 dakika içerisinde hedeflenen tüm talep noktalarına ulaşmayı amaçlamaktadır. Aynı işlem 9 ve 11.5 dakikalari içinde uygulanmıştır. Böylelikle belirlenen süre içerisinde en büyük talep alanını kapsamaktadır. Bu model yangın istasyonları için en uygun yeri seçmek için uygun bir modeldir, çünkü yangın istasyonları genellikle belirli bir yanıt süresi içinde talep noktalarına ulaşması gerekmektedir.



Şekil 7. Mevcut itfaiye tesislerinden erişilemeyen yerler ve aday istasyon yerleri

4. Bulgular

Mevcut 118 itfaiye istasyonu ile 5, 9 ve 11.5 dakika içerisinde uygulanan servis alanı analizi sonuçlarıyla ilişkilendirilerek her istasyonun erişebildiği toplam nüfus sonucu elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre mevcut itfaiye tesislerinden erişilebilir nüfus;

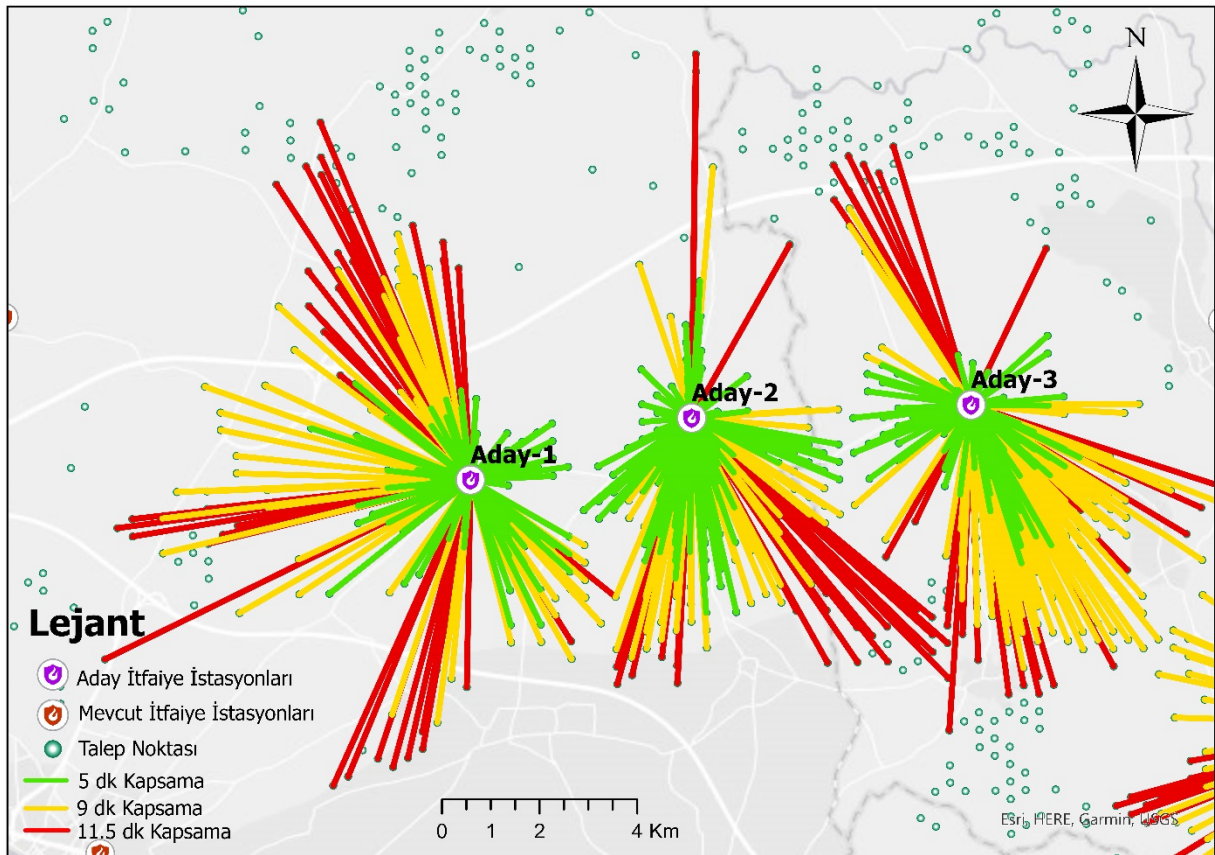
-5 dakika erişilebilir tahsis alanı için 9054 talep noktası ile nüfusun %30'u (7.436.355),

-9 dakika erişilebilir tahsis alanı için 20427 talep noktası ile nüfusun %68'i (14.526.640),

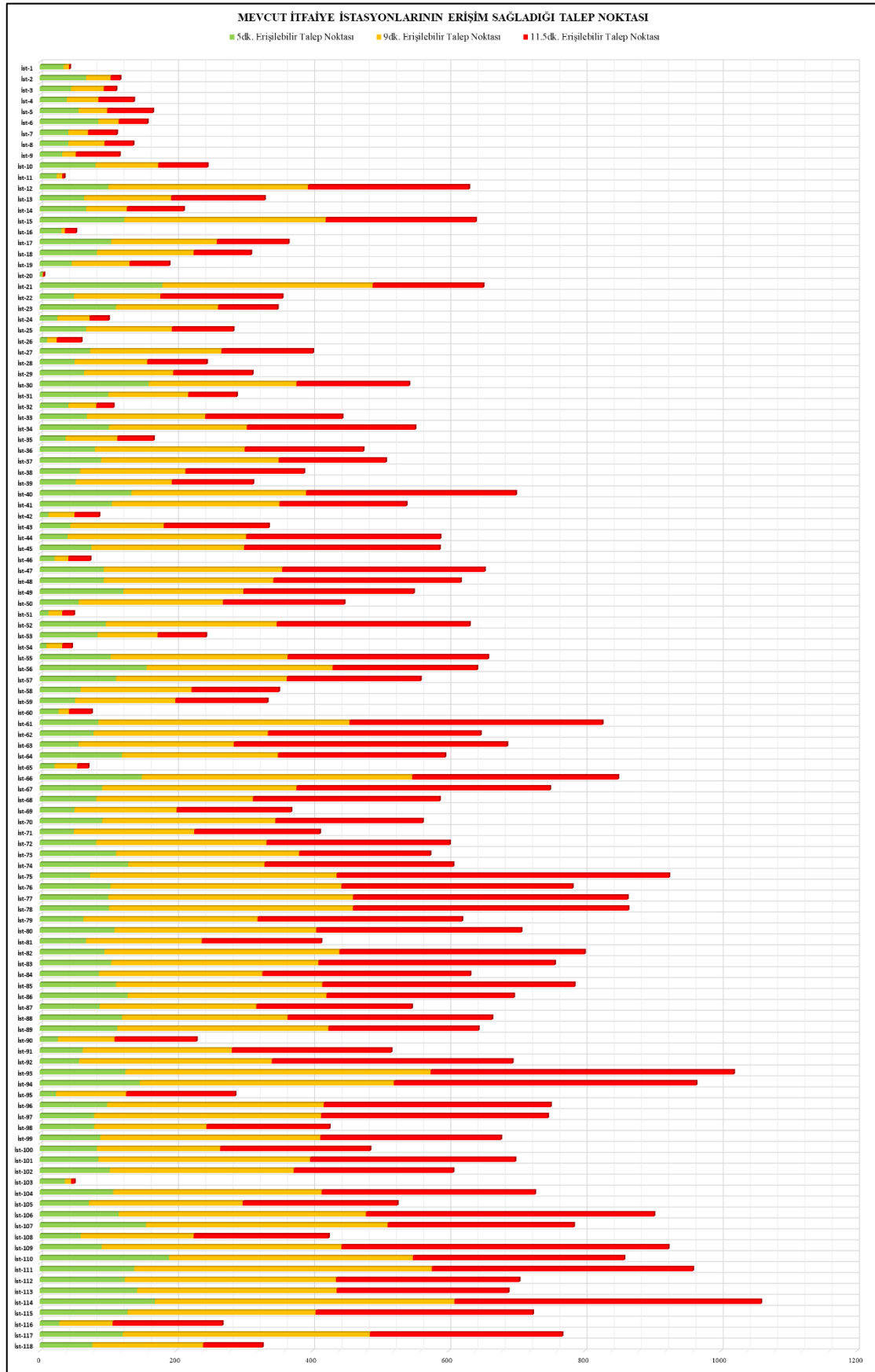
-11.5 dakika erişilebilir tahsis alanı için 24273 talep noktası ile nüfusun %81'i (15.306.945) olarak hesaplanmıştır.

Böylelikle belirlenen zaman dilimlerinde erişilemeyen 5789 talep noktası ile nüfusun %19'u (139.440) olarak hesaplanmıştır. Kaynak tahsis alanı analizinin sonuç haritası, hesaplanan taleplerle birlikte incelendiğinde erişilemeyen kısımlar İstanbul Avrupa Yakası'nda bulunan Çatalca, Arnavutköy, Silivri, Büyükçekmece ilçelerinin bazı kısımlarıdır. Özellikle Silivri ve Çatalca ilçelerinde daha çok mera, bahçeler fidanlıklar gibi arazi

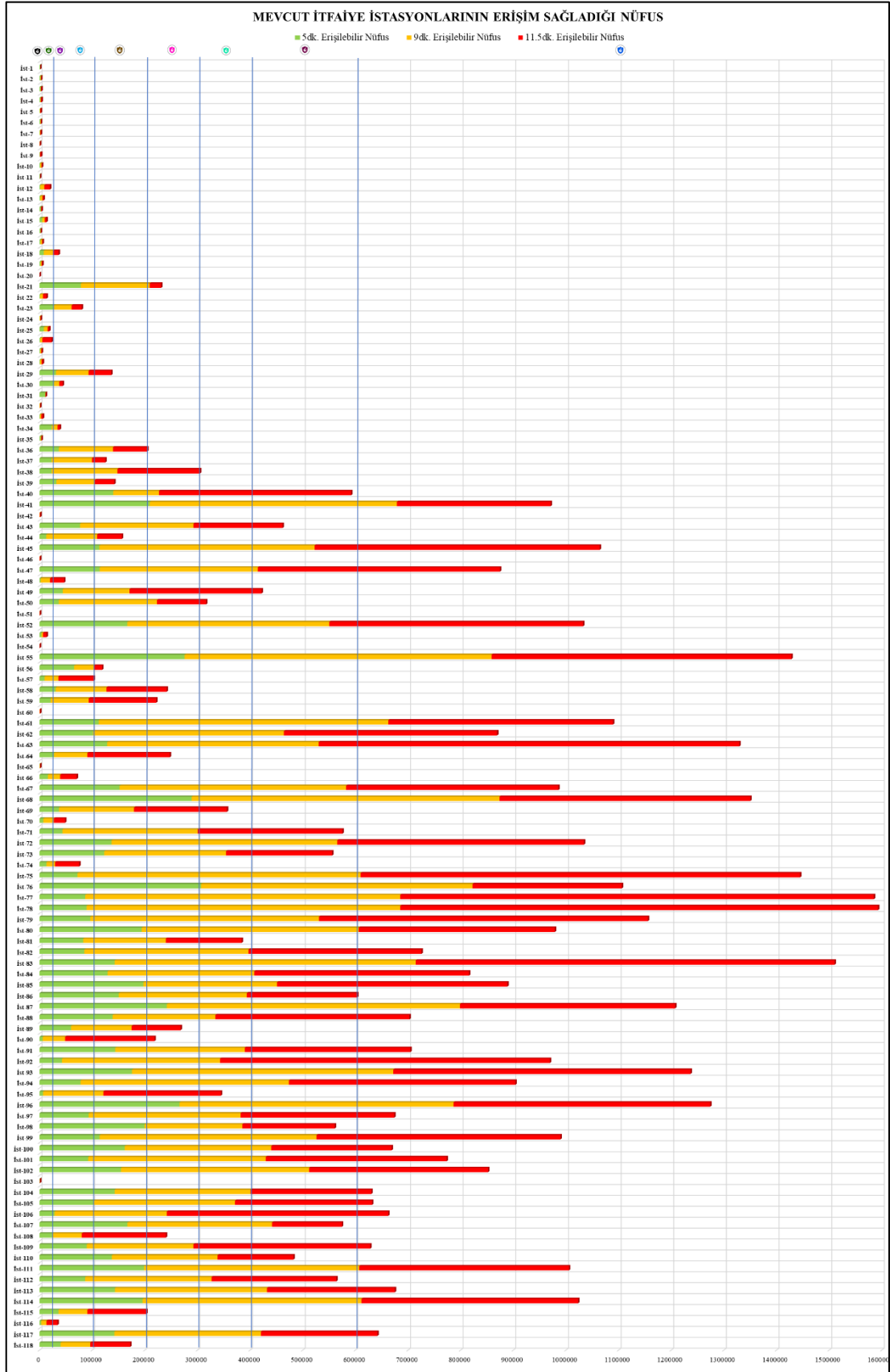
kullanım türleri mevcuttur. Burada yaşayan nüfus da oldukça azdır. Avrupa Yakası'nda bulunan Sarıyer ilçesinin Kısırkaya-Kilyos bölgesi ve Beylikdüzü ilçesinin Dereağzı mahallesine de erişim olmadığından buralara birer adet istasyon tesis edilmiştir. İstanbul Anadolu Yakası'nda ise Tuzla, Pendik, Şile, Beykoz, Çekmeköy ilçelerine yeni istasyonlar tesis edilmiştir. Tuzla Pendik ilçelerinin sınırlarında bulunan mahallerine tesis edilmiştir. Bu 5 ilçe için erişilemeyen nüfuslar yoğun olmayan mahalle-köy statüsünde olan birimlerdir. Ayrıca mevcut 118 itfaiye istasyonunun ile 5,9 ve 11.5 dakika içerisinde uygulanan kaynak tahsis alanı analizi sonucunda, istasyon bazında erişim sağlanılan toplam talep nokta sayısı ve bu talep noktalarının karşılık gelen nüfus hesaplanarak sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Diğer taraftan tüm bu nitelikler göz önünde bulundurularak çalışma kapsamında belirlenen 18 aday itfaiye istasyonu ile erişilemeyen nüfus talep noktaları için Empedansı En Aza İndirme / P-Medyan ve Kapsama Alanını En Üst Düzeye Çıkarma uygun yer seçimi analiz modelleri uygulanmıştır. Şekil 8'deki örnekte görüldüğü gibi benzer sonuçlar ile Aday-1, Aday-2 ve Aday 3 istasyon noktalarının kaynak tahsis alanı içerisinde erişebileceği talep noktaları tahsis edilmiştir. Bu durumda 5 dakika içerisinde Aday-1 istasyonu 77, Aday-2 98 ve Aday-3 istasyonu 76 talep noktasında 3278 nüfusa erişebilmektedir. 9 min içerisinde Aday-1 istasyonu 125, Aday-2 istasyonu 140 ve Aday İst-3 istasyonu 165 talep noktasında 4845 nüfusa erişebilmektedir. 11.5 dakika içerisinde ise Aday-1 istasyonu 162, Aday 2 istasyonu 164 ve Aday-3 istasyonu 195 talep noktasında 5764 nüfusa erişim sağlamaktadır.



Şekil 8. Aday-1, Aday-2 ve Aday-3 örnek itfaiye istasyonlarının a) 5, b) 9, c) 11.5 dakikada erişilebilir talep noktaları











Şekil 9. Mevcut itfaiye istasyonlarının 5,9 ve 11.5 dakika içerisinde erişim sağladıkları talep noktası sayısı




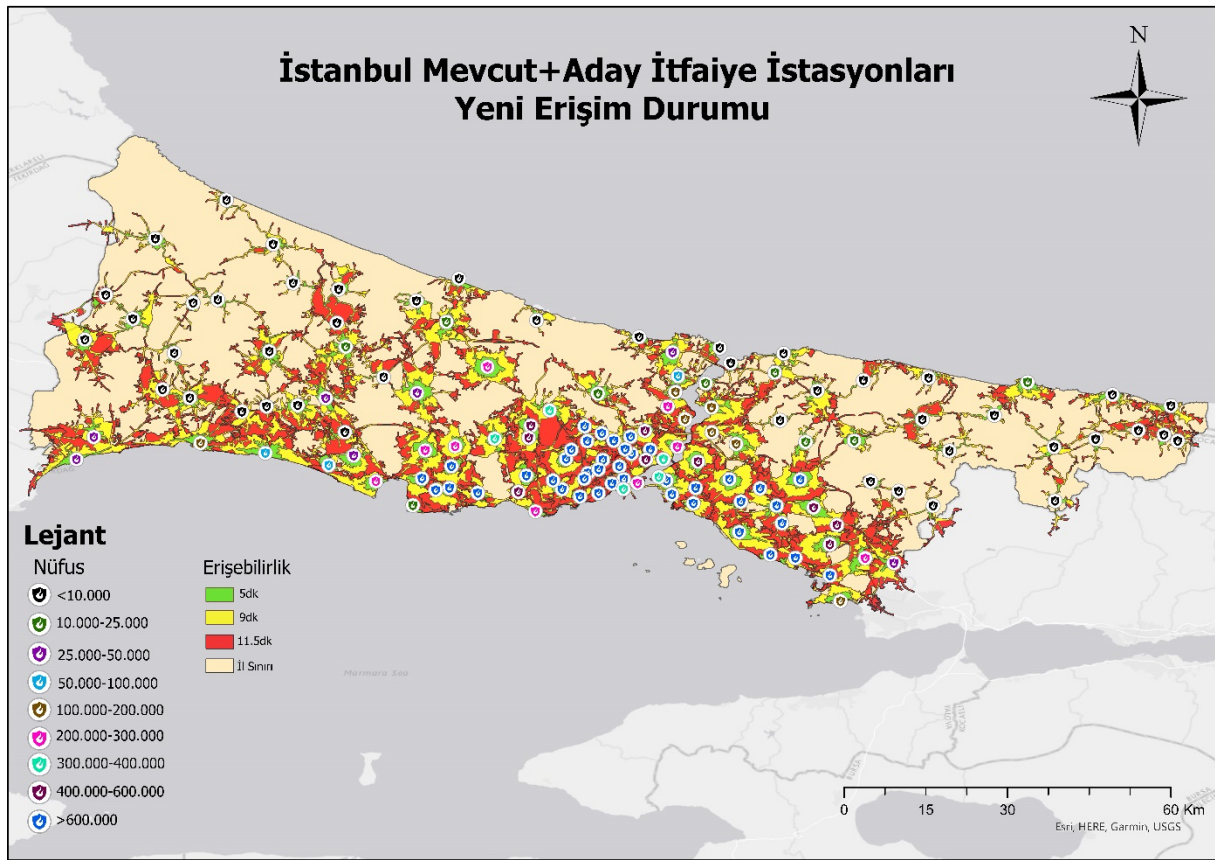
Şekil 10. Mevcut itfaiye istasyonlarının 5,9 ve 11.5 dakika içerisinde erişim sağladığı talep noktalarının karşılık geldiği nüfus

Elde edilen bu toplam nüfus 26326 sayılı Belediye İtfaiye Yönetmeliği'nin 11. Bölüm Araç, Teçhizat ve Malzeme kısmı ile bağdaştırılarak toplam nüfusa tahsis edilmesi gereken araç, malzeme ve teçhizat bilgisi belirlenmiştir. <10.000 nüfus grubunda 30, 10.000-25.000 nüfus grubunda 7, 25.000-50.000 nüfus grubunda 6, 50.000- 100.000 nüfus grubunda 3, 100.000-200.000 7, 200.000-300.000 nüfus grubunda 9, 300.000-400.000 nüfus grubunda 5, 400.000-600.000 nüfus grubunda 9 ve > 600.000 nüfus 42 istasyon grubunda olmak üzere, 18'i yeni aday istasyon olmak üzere toplam 136 itfaiye istasyonu ile taleplerin %95'ine karşılık toplam 15.410.928 nüfusa erişim sağlanabileceği belirlenmiştir. Tablo 1'de mevcut ve yeni önerilen itfaiye istasyonları için yönetmelik kapsamında tahsis edilmesi gereken araç kapasitesi tanımlanmıştır. Ayrıca önerilen 18 istasyonun tesis edilmesi durumunda, mevcut ve aday itfaiye istasyonlarının 5, 9 ve 11.5 dakika içerisinde ulaşabileceği yerler tekrar analiz edilerek sonuçlar Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 5'teki daha öncesinde erişim sağlanamayan yerler için hem erişim sağlanmış hem de mevcut itfaiye istasyonlarının talep yükü azaltılmıştır.

Tablo 1. Mevcut ve aday itfaiye istasyonları için tahsis edilmesi gereken teçhizat

Harita Gösterimi	Nüfus	Araç	Mevcut İstasyon Numarası	Aday İstasyon Numarası
	<10.000 (a)	En az 1 adet itfaiye söndürme aracı	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-13-14-16-17-19-20-24-27-28-32-33-35-42-46-51-54-60-65-103-	1-2-3-4-5-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18
	10.000 - 25.000 (b)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 2 adet itfaiye söndürme aracı, 1 adet merdivenli araç	12-15-22-53-25-26-31-53	7-8
	25.000 - 50.000 (c)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 3 adet itfaiye söndürme aracı, 1 adet merdivenli araç, 1 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	18-30-34-48-70-116	6
	50.000 - 100.000 (ç)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 1 adet ambulans, 4 adet itfaiye söndürme aracı, 1 adet merdivenli araç, 1 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	23-66-74	-
	100.000 - 200.000 (d)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 1 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 1 adet ambulans, 6 adet itfaiye söndürme aracı, 2 adet merdivenli araç, 2 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	29-37-39-44-56-57-118	-
	200.000 - 300.000 (e)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 1 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 2 adet ambulans, 8 adet itfaiye söndürme aracı, 2 adet merdivenli araç, 3 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	21-36-58-59-64-89-90-108-115	-
	300.000 - 400.000 (f)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 2 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 2 adet ambulans, 10 adet itfaiye söndürme aracı, 3 adet merdivenli araç, 3 adet çift kabinli pikap, 2 adet hizmet aracı	38-50-69-81-95	-
	400.000 - 600.000 (g)	En az 2 adet acil kurtarma aracı, 2 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 3 adet ambulans, 14 adet itfaiye söndürme	40-43-49-71-73-98-107-110-112	-

		aracı, 4 adet merdivenli araç, 4 adet çift kabinli pikap, 2 adet hizmet aracı	
	> 600.000 (ğ)	En az 2 adet acil kurtarma aracı, 2 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 3 adet ambulans, 14 adet itfaiye söndürme aracı, 4 adet merdivenli araç, 4 adet çift kabinli pikap, 2 adet hizmet aracına ilaveten, her 150.000 nüfus için 1 adet itfaiye söndürme aracı, her 400.000 nüfus için ise 1 adet merdivenli araç, 1 adet ambulans, 1 adet çok maksatlı kurtarma aracı, her 500.000 nüfus için ise 1 adet acil kurtarma aracı, 1 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	41-45-47-52-55-61-62-63-67-68-72-75-76-77-78-79-80-82-83-84-85-86-87-88-91-92-93-94-96-97-99-100-101-102-104-105-106-109-111-113-114-117-



Şekil 11. 5, 9 ve 11.5 dakika içerisinde, mevcut ve aday itfaiye istasyonları ile yeni erişim durumu

5. Sonuç

Çalışmada mevcut ve önerilen itfaiye istasyonları ile sezgisel ağ-tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları kapsamında P-medyan olarak ifade edilen empedansı en aza indirme ve kapsama alanını artırma teknikleri kullanılarak, İstanbul ilinde nüfusu temsil eden taleplerin karşılanması için optimizasyon yapılmıştır. Gerçekleştirilen itfaiye tesis yer seçimi uygulamasında, itfaiye yönetmeliğine göre itfaiye istasyonunun hizmet sunduğu nüfusa göre tahsis edilecek hizmet araçları belirlenmiştir. Ayrıca yangın riski olan yapılar, sanayi tesisleri ve birçok yangın oluşturan unsuru dikkate alarak itfaiye talep noktası analizleri ile uygulama geliştirilebilir. Kullanılan algoritmalar itfaiye örneğinde olduğu gibi herhangi acil durum hizmetinin

optimizasyonu için kullanılabilmesi gibi, endüstriyel tesis yer seçimi ve bölgesel planlamada kamu hizmetleri için uygun yeri seçimi gibi birçok farklı uygulama alanında karar destek yaklaşımı olarak uygulanabilmektedir. Uygulama ihtiyacına göre, talebi temsil eden nüfus için belirli demografik özellikteki nüfusa yönelik veya belirlenen kriterlere bağlı talep sayısı dikkate alınarak, herhangi tesis yer seçimi uygulamasında mevcut ve önerilen tesislere göre uygun konum için tesis yeri optimizasyonu yapılabilir. Mevcut veri altlığı İstanbul'da farklı uygulama ihtiyaçları için kullanılabilmesi gibi, aynı metodoloji herhangi bir ilde veya yerleşim alanında kullanılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Arif Çağdaş Aydınoğlu problemin tanımlanması, makale kurgusunun planlamasında, Süleyman Şişman makale yazım ve düzenlenmesinde, İrem Ergül literatür taraması ve analizlerin gerçekleştirilmesi konusunda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Aktaş, E., Özaydın, Ö., Ülengin, F., Önsel, Ş., & Ağaran, B. (2011). İstanbul' Da İtfaiye İstasyonu Yerlerinin Seçimi İçin Yeni Bir Model. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 2–12. Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/11376/144>

Algharib, M. S. (2011). *Distance And Coverage: An Assessment Of Location-Allocation Models For Fire Stations In Kuwait City, Kuwait*. (PhD Thesis, Kent State University). Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/DISTANCE-AND-COVERAGE%3A-AN-ASSESSMENT-OF-MODELS-FOR-Algharib/3f339bd307bf72254d79ef514bb6a0192cad072a>

Alp, O., Erkut, E., & Drezner, Z. (2003). An Efficient Genetic Algorithm For The P-Median Problem. *Annals of Operations Research*, 122(1–4), 21–42. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1026130003508>

Al-Sabbagh, T. A. (2020). GIS location-allocation models in improving accessibility to primary schools in Mansura city-Egypt. *GeoJournal*, 1-18. doi: <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10290-5>

Arifin, M. S. (2011). Problem Using Genetic Algorithm and Simulated Annealing: a Case Study Based on School in Enschede. *Springer*, 55(4), 445–470. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/LOCATION-ALLOCATION-PROBLEM-USING-GENETIC-ALGORITHM-Huisman/c255cb15ca78c176d0108e462c6ae9e8882479e7>

Aydın, C. (2018). Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İtfaiye İstasyonu İhtiyacının Sınıflandırılması. *European Journal of Science and Technology*, 14, 169–175. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.458613>

Aydinoglu, A. C., & Iqbal, A. S. (2021). Determining Parking Demand and Locating Parking Areas Using Geographic Analytics Methods. *Journal of Urban Planning and Development*, 147(1), 05020035. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000650](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000650)

Badri, M.A., Mortagy, A.K., & Alsayed, A. (1998). A multi-objective model for locating fire stations. *European Journal of Operational Research*, 110, 243-260. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00247-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00247-6)

Balinski, M.L. (1965). Integer programming: methods, uses, computation. *Management Science*, 12, 253-313. doi: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.12.3.253>

Bastı, M. (2012). P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları. *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology*, 3(7), 47–75. doi: <https://doi.org/10.5824/1309-1581.2012.2.004.x>

Belediye İtfaiye Yönetmeliği. (2006, 21 Ekim). Resmi Gazete (Sayı: 26326). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=10713&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

Chevalier, P., Thomas, I., Geraets, D., Goetghebeur, E., Janssens, O., Peeters, D., & Plastria, F. (2007). Locating fire stations in Belgium: an integrated gis approach. *Proceedings Of The 47th Congress Of The European Regional Science Association*, 1-15, Paris.

Church, R.L., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32, 101-118. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01942293>

Çatay, B. (2011). İstanbul' Da İtfaiye İstasyonu Yer Seçiminde Risk Faktörüne Dayalı Bir Çoklu Kapsama Yaklaşımı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 33-44. Erişim adresi: <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TVRFNE16QXhNUT09/istanbul-da-itfaiye-istasyonu-yer-seciminde-risk-faktorune-dayali-bir-coklu-kapsama-yaklasimi>

D'brot, C., Bravo, W., & Arana V. (2019). Optimum Location And Amount Of New Fire Stations Based On Geographic Information System And Analytic Hierarchy Methods, *IEEE Xplore*, 3-8. doi: [10.1109/CONITI48476.2019.8960912](https://doi.org/10.1109/CONITI48476.2019.8960912)

Densham, P. J., & Rushton, G. (1991). Designing and Implementing Strategies for Solving Large Location-Allocation Problems with Heuristic Methods Department of Geography. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/2460286_Designing_and_Implementing_Strategies_for_Solving_Large_Location-Allocation_Problems_with_Heuristic_Methods

Erden, T. (2009). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analitik Hiyerarşi Yönetimi'ne Dayalı İtfaiye İstasyon Yer Seçimi İstanbul Örneği. (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://polen.itu.edu.tr/xmlui/handle/11527/1661>

Erkal, T., & Değerliyurt, M. (2013). Eskişehir'de Acil Durum Yönetiminde Ağ (Network) Analizlerinin Kullanılması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 11-20.

ESRİ. (2021a). ArcGIS Uygulama Dokümanı. Erişim adresi: https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_e0cf3.pdf

ESRİ. (2021b). Choose the best location with Location-Allocation. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/networks/location-allocation-tutorial.htm>

ESRİ. (2021c). Solve Location Allocation. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/ready-to-use/itemdesc-solvelocationallocation.htm>

Hakimi, S. L. (1964). Optimum Distribution Of Switching Centers In A Communication Network And Some Related Graph Theoretic Problems. doi: <https://doi.org/10.1287/opre.13.3.462>

Hewitt, R. L. (2002). Siting A Fire Station By Leveraging Soft Constraints And Supporting Science. *Interfaces*, 32(4), 69-74. doi: <https://doi.org/10.1287/inte.32.4.69.50>

Hogg, J. (1968). The siting of fire stations. *Operational Research Quarterly*, 19, 275-287. doi: <https://doi.org/10.2307/3008620>

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Açık Veri Portalı. (2020). İtfaiye İstasyonları Konum Bilgileri Veriseti. Erişim adresi: <https://data.ibb.gov.tr/dataset/itfaiye-istasyonlari-konum-bilgileri>. Son erişim tarihi: 22 Mayıs 2020.

İstanbul İtfaiyesi. (2020). İstanbul Büyükşehir Belediyesi - İtfaiye Daire Başkanlığı. Erişim adresi: <http://itfaiye.ibb.gov.tr/tr/guvenliginiz-icin.html>. Son erişim tarihi: 01 Haziran 2020.

Jiang, B., & Claramunt, C. (2004). A Structural Approach To The Model Generalization Of An Urban Street Network. *GeoInformatica*, 8(2), 157–171. doi: <https://doi.org/10.1023/B:GEIN.0000017746.44824.70>

Karaş, İ. R. (2007). Objelerin Topolojik İlişkilerinin 3B CBS ve Ağ Analizi Kapsamında Değerlendirilmesi. 21(4), 256–263. (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://avesis.yildiz.edu.tr/yonetilen-tez/a434bcc1-9d09-4c25-8994-5f25f9357773/objelerin-topolojik-iliskilerinin-3b-cbs-ve-ag-analizi-kapsaminda-degerlendirilmesi>

Karim, A.A.E., & Awawdeh M.M. (2020). Integrating GIS Accessibility and Location-Allocation Models with Multicriteria Decision Analysis for Evaluating Quality of Life in Buraidah City, KSA, *Sustainability*, 12(4), 1-28. doi: <https://doi.org/10.3390/su12041412>

Kesik, O. A., Aydınoğlu, A. Ç., & Taştan, B. (2016). Ağ Analiz Tekniklerini Kullanarak Afetlerle Başa Çıkabilme Erişebilirlik: İstanbul Fatih İlçesi Örneği. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(36), 79–94. doi: <https://doi.org/10.17295/dcd.67726>

Khan, M.U.H., Vaezi M., & Kumar, A. (2018). Optimal Siting Of Solid Waste-To-Value-Added Facilities Through A GIS-Based Assessment, *Science of the Total Environment*, 610(611), 1065-1075. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.169>

Koyuncu, M., & Koyuncu, S. (2016). Osmanlı'da Afet Yönetimi. *Journal of Contemporary Medicine*, 6(4), 378–378. doi: <https://doi.org/10.16899/gopctd.283333>

Kuehn, A.A., & Hamburger, M.J. (1963). A heuristic program for locating warehouses. *European Journal of Operational Research*, 9(4), 643-666. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.4.643>

Manne, A. (1964). Plant localization under economy of scale: decentralization and computation. *Management Science*, 11, 213-235. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.11.2.213>

Murawski, L., & Church, R.L. (2009). Improving accessibility to rural health services: the maximal covering network improvement problem, *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(2), 102-110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2008.02.012>

National Fire Protection Association (NFPA). (2021). NFPA Codes and Standards. Retrieved from <https://www.nfpa.org/Codes-and-Standards/All-Codes-and-Standards/List-of-Codes-and-Standards>

National Fire Protection Association (NFPA-1710). (2021). Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments. Retrieved from <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1710>.

Open Street Map (OSM).(2020). Geofabrik İndirmeleri. Erişim adresi: <https://www.openstreetmap.org/>. Son erişim tarihi: 21 Mayıs 2020.

Plane, D.R., & Hendrick, T.E. (1977). Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver fire department. *Operational Research*, 25 (4), 563-578. doi: <https://doi.org/10.1287/opre.25.4.563>

Richard, L., & Church, R. L. (1994). Integrating Normative Location Models into GIS Problems and Prospects With The P-Median Model. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/7nz7762k>

Scaparra, P. M., & Scutella, M. G. (2001). Facilities, Locations, Customers: Building Blocks of Location Models. A Survey. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.4386&rep=rep1&type=pdf>

Schilling, D.A., ReVelle, C., Cohen, J., & Eizinga, D.J. (1980). Some models for fire protection locational decisions. *European Journal Of Operational Research*, 5(1), 1-7. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(80\)90067-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(80)90067-3)

- Schreuder, J. (1981). Application of a location model to fire stations in Rotterdam. *European Journal of Operational Research*, 6, 212-219. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(81\)90210-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(81)90210-1)
- Serra, D., & Marianov, V. (2011). New Trends in Public Facility Location Modeling. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.563843>
- Shahparvari, S., Fadaki, M., & Chhetri, P. (2020). Spatial Accessibility Of Fire Stations For Enhancing Operational Response In Melbourne. *Fire Safety Journal*, 117(May), 103149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103149>
- Şimşek, İ., Byksalih, İ., Taşpınar, S., Bayburt, S., & Buhur, S. (2012). İstanbul Halk Ekmek Satış Noktalarının CBS Ortamına Aktarılarak, Satış ve Ağ Analizleri ile Web Tabanlı Bir Sistemin Oluşturulması. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 16-19 Ekim, Zonguldak-Türkiye.
- Toregas, C.R., Swain, R., ReVelle, C.S., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19, 1363-1373. doi: <https://doi.org/10.1287/opre.19.6.1363>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK). (2020). Nfus ve Demografi İstatistikleri. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>. Son erişim tarihi: 20 Nisan 2020.
- stndağ, ., & Boyraz, Z. (2008). CBS Yardımı ile Kent İi Yangın Analizi: Elzığ rneği. *New World Sciences Academy*, 3, 307–320. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsanature/issue/10859/130578>
- Yao, J., Zhang, X., & Murray, A. T. (2019). Location optimization of urban fire stations: Access and service coverage. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73, 184-190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.10.006>
- Yu, W., Chen ,Y., Chen, Z., Xia, Z.,& Zhou, Q. (2020). Service Area Delimitation Of Fire Stations With Fire Risk Analysis: Implementation And Case Study, *International Journal of Environmental Research and Public Health (Int. J. Environ. Res. Public Health)*, 17(6), 1-24. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17062030>
- Zhao, L., Huiyong, L., Sun, Y., Huang, R., Hu, Q., Wang, J., & Gao F. (2017). Planning Emergency Shelters for Urban Disaster Resilience: An Integrated Location-Allocation Modeling Approach, *Sustainability*, 9(11), 1-20. doi: <https://doi.org/10.3390/su9112098>



Journal of Turkish Operations Management

Bir imalat firmasında en iyi ürün kalitesi için lazer ile kesim parametrelerinin eniyilenmesi

Mustafa Yurdakul¹, Taha Tükel², Yusuf Tansel İç^{3*}, İbrahim Ülke⁴, Arif Balcı⁵, Serkan Güneş⁶

¹Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara
e-mail: yurdakul@gazi.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1562-5738>

²Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara
e-mail: taha.tukel@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2692-1794>

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Ankara
e-mail: yustanic@baskent.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-9274-7467>

⁴Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara
e-mail: ibrahimulke@gazi.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8927-0052>

⁵Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kafkas Üniversitesi, Kars
e-mail: arifbalci@kafkas.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4932-9654>

⁶Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara
e-mail: srkngnes@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-3976-0771>

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 08.07.2021
Revize: 27.09.2021
Kabul: 16.10.2021

Anahtar Kelimeler:

Fiber Lazer,
Deney Tasarımı,
Yanıt Yüzey Yöntemi,
En İyileme

Özet

Bu çalışmada, fiber lazer makinesinde çeşitli parametreler değiştirilerek üç farklı kalınlıkta işlenen St52 malzemesi ve süreç parametrelerinin kesim kalitesine etkileri araştırılmıştır. Yanıt yüzeyi metodolojisi ile 81 test örneğine ilişkin üç tekrarlı bir deney planı oluşturduk. Daha sonra ortalama yüzey pürüzlülüğünü (Ra), ortalama pürüzlülük derinliğini (Rz), ikinci dereceden ortalama pürüzlülük değerini (Rq), maksimum pürüzlülük derinliğini (Rt), yüzey sertliğini ve ısıdan etkilenen bölgeyi ölçtük. Son aşamada, yanıt değeri olarak test numunesi başına işlem süresi belirlendi. Daha sonra, Minitab yardımıyla ürün kalitesine etki eden eniyi parametreleri bulmayı amaçladık. Yüzey sertliği açısından sonuçları elde ettiğimizde kesme hızının artmasıyla yüzey sertliğinin azaldığını gözlemledik. Makro düzeyde yüzey sertliği, lazer gücü ve yardımcı gaz basıncının artmasıyla artmaktadır.

Optimizing laser cutting parameters for best product quality in a manufacturing company

Article Info

Article History:

Received: 08.07.2021
Revised: 27.09.2021
Accepted: 16.10.2021

Keywords:

Fiber Laser,
Design Of Experiment,
Response Surface Method,
Optimization

Abstract

In this study, St52 material that three different thicknesses were processed by changing various parameters on a fiber laser machine, and the effects of process parameters on cutting quality were investigated. We created three replicated experimental plans related to 81 test samples by the response surface methodology. Then, we measured the average surface roughness (Ra), average roughness depth (Rz), quadratic average roughness value (Rq), maximum roughness depth (Rt), surface hardness, and heat-affected zone. Finally, the processing time per test sample was determined as the response value. Afterward, with the help of Minitab, we aimed to find the optimum parameters affecting the product quality. When we obtained results in terms of surface hardness, we observed that the surface hardness decreases with the increase in cutting speed. The surface hardness at the macro level increases with the higher level of laser power and auxiliary gas pressure.

1. Giriş

Son yıllardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak, lazer teknolojisindeki gelişimler sanayiye de everilmiş ve lazer ile kesim yöntemleri yaygın olarak metal veya metalik olmayan malzemelerin kesilmesinde kullanılır hale gelmiştir. Ancak bu yaygın kullanım alanı ve uygulama sonucunda karşılaşılan kalitesizlik problemleri, kesilen malzeme bazında uygulanması gereken kesim faktörlerinin doğru seçilmesi gereksinimini de beraberinde getirmiştir (Tükel ve Yurdakul, 2019, Tükel 2020). Bu çalışma kapsamında, 8 mm 12 mm ve 15 mm kalınlıkta olan St-52 malzemesi, bir fiber lazer tezgâhında farklı faktör değerleri kullanılarak kesilerek faktörlerinin kesilen parçanın kalitesi üzerine etkileri incelenmiş ve en iyi faktör değerleri belirlenmiştir. Faktörler kesme hızı: 850 mm/dak, 1000 mm/dak ve 1150 mm/dak, lazer gücü: 3000 W, 3500 W ve 4000 W, yardımcı gaz basıncı: 0,55, 0,65, 0,75 bar olarak belirlenmiştir. Deney tasarımı yöntemlerinden biri olan yanıt yüzey yöntemi yardımıyla belirlenen 3 tekrarlı plan kapsamında, ilgili faktör değerleriyle lazer ile kesme işlemleri yapılarak 5 cm x 10 cm ebadında 81 adet deney parçası oluşturulmuştur. Kesme süresince diğer tezgâh parametreleri sabit değerlere ayarlanmıştır.

Kesme işleminin ardından, numune parçalarının ortalama pürüz derinliği (R_z), maksimum pürüz derinliği (R_t), ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), yüzey sertliği (HRA), kuadratik ortalama pürüzlülük değeri (R_q) ve ısı tesiri altındaki bölgeye ilişkin değerlerin ölçümü yapılmıştır. Her bir parça için işlem süresi değerleri de yanıt olarak kullanılmış ve Box-Bhenken tasarımı ile Minitab19 paket programı kullanılarak yanıt yüzeyi yöntemi uygulanarak ürün kalitesini eniyileyen faktör değerlerinin bulunması sağlanmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Bilimsel yazın taraması sonucunda; lazer ile kesme işleminde elde edilecek performans yanıtlarını en iyi düzeyde karşılayabilecek kesme parametrelerinin değerlerini bulmaya yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışmalar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır:

Erdoğan (2007), CO₂ lazer delik delmede tezgah değerlerinin delik kalitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Kesme işlemi faktörlerini iş parçası kalınlığı: 1,2 ila 4 mm, lazer gücü: 2500 ila 4000 W, odaklama mesafesi: (-4) ila (-2) inç, yardımcı gaz basıncı: 8 ila 14 bar, lazer frekansı: 500 ila 1200 Hz olarak belirlemiştir. Sonrasında optik mikroskopla delik çapı ölçülerek, ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve tekrar katılaştıran bölge büyüklükleri incelenmiştir. Sonuçta, farklı değerlerdeki kalınlıklarda farklı faktör değerlerinin en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir.

Patel ve Patel (2011) ise, 6 mm kalınlığa sahip olan hardox 400 malzemesini kullanarak; CO₂ lazer kesme tezgahında lazer gücü: 100, 1500, 2000W, gaz basıncı: 0,5, 0,6, 0,7 bar, atım frekansı: 20, 25, 30 Hz ve kesme hızı : 200, 400, 600 mm/dak olarak belirlenen faktör değerleri ile bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, kesme aralığının gaz basıncı, frekans, lazer gücü ve kesme hızına bağlı olduğunu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 0,6 bar gaz basıncı, 25 Hz atım frekansı, 1000 W lazer gücü, ve 200 mm/dak kesme hızı değerleri ile en dar kerf genişliğine ulaşıldığı belirlenmiştir.

Cekic ve diğ. (2012), CO₂ lazer kullanarak üç farklı alaşımli çeliğin işlem parametrelerini eniyiledikleri çalışmalarında; yardımcı gaz olarak nitrojen, hava ve oksijeni kullanmışlardır. Çalışmalarında lazer tezgâh gücü 2000 W, parça kalınlıkları 3mm ve 4mm, nozül çapı 2 mm, lazer ışını dalga boyu 10600 nm olarak kullanılmıştır. Deney sonucunda çeliklerin lazer ile kesilmesinde oksijenin yardımcı gaz olarak kullanılmasının daha yüksek kesme hızına ulaşmayı sağlayabildiği, azot gazı ile gerçekleştirilen kesim işleminde ise son işlem gerektirmeyen yüzeyin elde edilebildiği gösterilmiştir.

Zaied ve diğ. (2012), S235 düşük karbonlu çeliğin CO₂ lazer ile kesilmesi işleminde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin matematiksel olarak modellenmesine çalışmışlardır. Çalışmalarında, 8mm kalınlığa sahip olan bir parça, kesme hızı: 600, 1200 ve 2200 m/dak, lazer gücü: 3, 4, 5 kW faktör değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan ANOVA analizi ile kesme hızı ve lazer gücü faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü değerine etkisi belirlenmiş ve elde edilen matematiksel model sayesinde yüzey pürüzlülüğü değerini en küçükleyecek en iyi faktör değerleri elde edilmeye çalışılmıştır.

Bernat ve diğ. (2018) bir fiber lazer kesme işleminde lazer gücünün ve kesme hızının ölçü doğruluğu ve yüzey pürüzlülüğü değerine etkilerini analiz ettikleri çalışmalarında, numune olarak paslanmaz çelik ve yapı çeliği malzemelerini kullanmışlardır. Numune kalınlıkları 6 mm olarak seçilmiştir.

Arcan (2011), CO₂ ile lazerle kesme tezgahında kesme hızı, kesme gazı basıncı ve lazer ışını odak noktası faktörlerini kullanarak, 5 mm kalınlığındaki St44 malzemesinin kesme kalitesinde belirlenmiş olan faktörlerin etkisini araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda, farklı faktörlerin sertlik değeri üzerindeki etkisinin malzemenin faz değişkenliğinin aynı olması sebebiyle düşük olduğu, faktör değerlerinin ayarlanarak istenen kesim yüzeylerinin elde edilebileceği açıklanmıştır. Ghany ve Newishy (2015) her biri ayrı ayrı yardımcı gazlar olarak atımlı ve sürekli dalga (CW) Nd: YAG lazer ışını ve azot veya oksijen kullanarak 1,2 mm östenitik paslanmaz çelik saclar için en iyi lazer kesim parametrelerini araştırmışlardır.

Chen (1998), gaz bileşiminin yumuşak çeliğin CO₂ lazer kesimine etkilerini araştırmıştır. Wee ve Li (2001), yumuşak çeliğin lazerle kesilmesinde çizgi oluşumu için iki boyutlu bir analitik model geliştirmişlerdir. Bagger ve Olsen (2001), 1,8 mm kalınlığında orta dayanımlı çelik için darbeli lazer kesim parametrelerini eniyilemeye çalışmışlardır. Li ve diğ. (2007), 2 mm kalınlığında yumuşak çelik sacların lazerle kesilmesi üzerine bir araştırma sunmuşlardır. Kaebernick ve diğ. (1999), en uygun kesme koşullarını belirlemek amacıyla farklı atım genişlikleri için kesme hızının bir fonksiyonu olarak giriş tarafındaki çentik genişliğini tahmin etmek için bir model geliştirmişlerdir.

Lamikiz ve diğ. (2005) güç, gaz basıncı, kesme hızı ve odak konumu gibi ana lazer kesim parametrelerini farklı AHSS sac çelik tiplerinde kesim kalitesi ve geometrisi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Rajaram ve diğ. (2003) 4130 çeliğin CO₂ lazer kesim kalitesini araştırmış ve kerf genişliği ve ITAB genişliğinin lazer gücünden önemli ölçüde etkilendiğini, kesim hızının ise küçük bir rol oynadığını göstermişlerdir. Prasad ve diğ. (1998), 1 mm kalınlığında metal kaplı çelik sacların lazerle kesilmesini tartışmıştır. Chen (1999), yüksek basınç yardımcı gaz akışının 3 mm kalınlığında yumuşak çelik plakanın CO₂ lazer kesimine etkisini araştırmak için bir deney gerçekleştirmiştir.

Ghany ve diğ. (2006) lazer gücü, farklı gaz türleri, kesme hızı, gaz basıncı ve odak konumu gibi farklı faktörlerin, çapak, çentik genişliği ve kesim yüzeyi pürüzlülüğünün kesme kalitesi özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Dubey ve Yadava (2008a, 2008b), yüksek silikon alaşımlı çeliğin ince sacları için çok performanslı özelliklere sahip Taguchi yöntemi ve yanıt yüzeyi yöntemi kullanarak lazer ışını kesme işlemini eniyilemeye çalışmışlardır.

Durukan ve diğ. (2014), 4 mm ve 6 mm kalınlığındaki AISI 304 paslanmaz çelik malzeme üzerinden belirli ölçülerde üçgen, kare ve dairesel şekilli parçaları farklı kesme şartlarında CO₂ lazer kesim tezgâhı ile keserek, kesilen numunelerin boyutsal doğruluğu üzerinde kesme parametrelerinin tam faktöriyel deney tasarımı yöntemi kullanılarak etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında bağımsız değişkenler olarak lazer gücünü, kesme ilerlemesini, odak noktasını ve gaz basıncını seçmişlerdir.

Madic ve diğ. (2020), CO₂ lazer kesim yönteminde cüruf oluşumu, kerf genişliği, yüzey pürüzlülüğü ve kopma enerjisi ile ilgili pratik süreç kısıtlamalarını aynı anda göz önünde bulundurarak malzeme kaldırma oranını en üst düzeye çıkarmak için deney tasarımına dayalı bir en iyileme çalışması gerçekleştirmişlerdir.

Ding ve diğ. (2020), genelleştirilmiş regresyon sinir ağına dayalı tümleşik bir model ve genetik algoritma yöntemlerini kullanarak (NSGAI) fiber lazer kesim paslanmaz çeliğin kalite özelliklerini öngörmek ve en iyilemek için bir model önermişlerdir.

Anghel ve diğ. (2020) ise, 304 sınıfı paslanmaz çelikten minyatür dişlilerin CO₂ lazerle kesilmesi üzerine yürütülen bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada, güç, kesme hızı, odak konumu ve gaz basıncı gibi lazer parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki etkilerinin analizi yapılmıştır. 9,04 mm dış çapa ve 4,5 mm alın genişliğine sahip paslanmaz çelik düz dişliler, yardımcı gaz olarak azotlu bir CO₂ lazer sistemi kullanılarak kesilmiştir. Yanıt yüzeyi yöntemine dayalı olarak, yukarıda bahsedilen lazer parametrelerinin her birinin üç düzeyde değiştiği toplam yirmi dokuz deney gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizi sonucunda, odak konumu en önemli parametre olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, en iyi lazer parametreleri, lazer gücünde 2407 W, kesme hızı için 1,25 m/dak, odak konumu için (-) 2,4 mm, gaz basıncı için 12,5 bar olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerde elde edilebilen en iyi R_a değeri ise 0,43µm olarak tespit edilmiştir.

Chaki ve diğ. (2020), alüminyum alaşımının Nd:YAG lazer kesimi ile ilişkili kalite özelliklerinin tahmini ve en iyilenmesi için Yapay Sinir Ağlarını (ANN) ve Parçacık Sürü Optimizasyonunu (PSO) birleştiren entropi tabanlı ANN-PSO modelinin etkinliğini araştırmıştır. Araştırma sonucunda, kesme hızı, atım enerjisi ve atım genişliğinin kontrol edilebilir giriş parametreleri olarak kabul edildiği, kerf genişliği, kerf sapması, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma hızının yanıt olarak ölçüldüğü tam faktöriyel deney tasarımına dayalı bir model önerilmiştir.

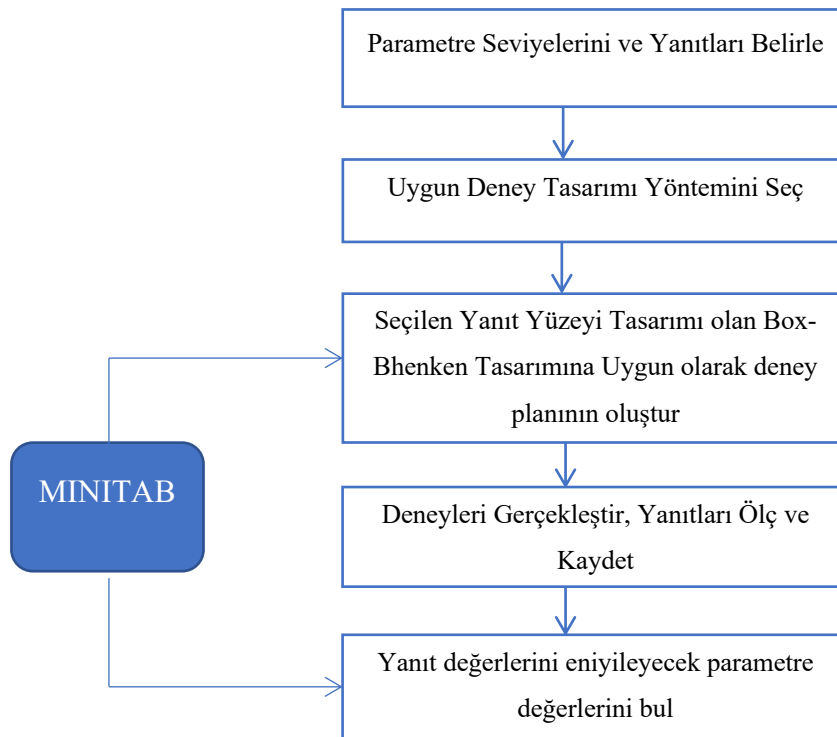
3. Yöntem

Çalışmada uygulanacak deney için tezgâha ait olan işlem faktörleri lazer gücü, gaz basıncı ve kesme hızı olarak, tezgâha ait işlem kapasitesi de değerlendirilerek belirlenmiştir. Başka bir değişken ise malzeme kalınlığıdır. Böylece çalışmamızda toplam 4 adet faktör kullanılmıştır. Her bir faktör için 3 farklı seviye kullanılarak bir deney tasarımı belirlenmiştir. Deneylerin ve ölçüm sonuçlarının tutarlılığı için 3 kez tekrarlanmış bir deney tasarımı Minitab19 yazılımı yardımıyla yanıt yüzey yönteminde Box-Behnken tasarımı kullanılarak oluşturulmuştur. Sıralı bir şekilde gerçekleştirilmeyen ve sadece bir kez yapılabilecek deneyler için Box-Behnken tasarımları avantaj sağlamaktadır. Bu tasarım, birinci ve ikinci dereceden katsayıların etkin bir şekilde tahmin edilmesine olanak verir. Box-Behnken tasarımı daha az tasarım noktasına sahip olduğundan, aynı sayıda faktöre sahip merkezi kompozit tasarımlardan (Central Composite Design-CCD) daha az deneyle çalıştırılır. Deneye ait olan değişken ve sabit değerler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Deney tasarımında kullanılan parametreler

Faktörler ve Seviye Değerleri	
Faktörler	Seviye Değerleri
Parçanın Kalınlığı(A) (mm)	1.Seviye: 8 / 2. Seviye: 12 / 3. Seviye: 15
Kesme Hızı (B) (mm/dak)	1. Seviye: 850 / 2. Seviye: 1000 / 3. Seviye: 1150
Lazer Gücü (C) (Watt)	1. Seviye: 3000 / 2. Seviye: 3500 / 3. Seviye: 4000
Yardımcı Gaz Basıncı (D) (Bar)	1. Seviye: 0,55 / 2. Seviye: 0,65 / 3. Seviye: 0,75
Tezgâha bağlı parametreler	
	Değer
Nozul Mesafesi (mm)	1,5
Odak (Fokus) (mm)	0
Duty (%)	100
Frekans (Hz)	5000
Gaz Türü	Oksijen
Parça Boyutları (mm)	100x50

Çalışmada takip edilen yönteme ilişkin olarak çizilen akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada takip edilen yönteme ilişkin akış şeması

3.1 Lazer Tezgâhı

Çalışmamızdaki deneyler Yilgenci San. ve Tic. A.Ş./ Sakarya firmasındaki Durma marka HD-F 6020 model fiber lazer tezgahında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Durma HD-F 6020 model fiber lazerle kesme tezgahına ait olan teknik özelliklere ilişkin bilgiler Tablo 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Durma HD-F 6020 fiber lazer tezgâhı

Tablo 2. Fiber lazer tezgâhının özellikleri

Özellik	Değer
X-Ekseni (mm)	6150
Y-Ekseni (mm)	2100
Z- Ekseni (mm)	185
Maksimum Sac Ölçüsü (mm)	6096x2032
Maksimum Sac Ağırlığı (kg/m ²)	200
Çalışma Modları	CW, QCW, SW
Çıkış Güç Değeri (W)	400-4000
Dalga Boyu Emisyon Değeri (nm)	1070-1080
Senkronizasyon (m/dak)	170
İvme (m/s ²)	28
Konumlama Hassasiyet Değeri (mm)	±0,05

3.2 Deney Malzemesi

Deneyler St-52 çelik malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapı çelikleri sınıfında yer alan St-52 çoğunlukla yüksek mukavemet değeri gereken işlemlerde, köprüler, çelik konstrüksiyonlar, endüstriyel yapılar gibi alanlarda tercih edilmektedir. Mekanik özellikleri çoğunlukla içeriğinde yer alan karbon miktarlarına dayanır. Buna ek olarak üretilme şekli ile üretim sırasında içeriğine katılan fosfor, kükürt, azot, silisyum, bakır ve mangan elementleri mekanik özellikler üzerinde doğrudan etkilidir. Tablo 3’te, St-52 malzemenin kimyasal bileşimi, Tablo 4’te ise aynı malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. St-52 Malzemesinin kimyasal içeriği

St-52 kimyasal içerik	(% ağırlık)
Karbon (C)	0,20%-0,23%
Bakır (Cu)	0,55%-0,60%
Mangan (Mn)	1,60%-1,70%
Kükürt (S)	0,035%-0,040%
Alüminyum (Al)	0,015%-0,02%
Silisyum (Si)	0,55%-0,60%
Fosfor (P)	0,035%-0,040%
Azot (N)	0,008%-0,009%

Tablo 4. St-52 Malzemenin mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı (MPa)		Akma Sınırı (MPa)		Kopma Uzaması (%)	
<3 mm	≥3 mm	≤16 mm	≥16 mm	≥3 mm	≥40 mm
510-680	490-630	355	345	22	21

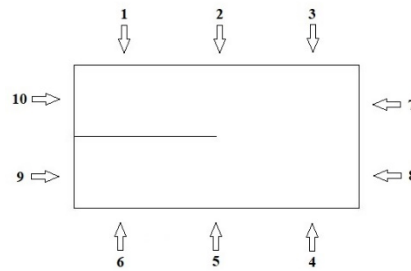
3.3 Deneyin Yapılışı

Çalışmamızda, farklı kalınlıkta kesilecek deney numuneleri ayrı ayrı tezgâhın tablasına yerleştirilmiştir. Belirlenen deney planına göre (Ek A), tezgâhın değerleri her defasında tek tek girilerek kesme operasyonu gerçekleştirilmiş ve kesilen parçalara numaralar verilerek ölçme işlemine hazır hale getirilmiştir.

4. Bulgular

4.1 Yüzey Pürüzlülüğü

Lazerle kesilen numunelerin yüzey pürüzlülükleri Tesa Technology Rugosurf 20 marka yüzey pürüzlülüğü ölçme aleti kullanılarak ölçülmüştür. Ölçme süreci DIN ISO 9013 Standartları kapsamında, malzeme kalınlığının 2 mm'den büyük olması nedeniyle, her bir kesim yüzeyinin üst kısmından 2/3'ü kadarlık bir mesafeden, 10 farklı noktadan ölçümler olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de yüzey pürüzlülüğü ölçüm noktaları görülmektedir.



Şekil 3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm noktaları

Kesim işlemi yapılan 8 mm kalınlıktaki parça 76'nın bütün kesim yüzeyleri Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Parça no 76 yüzey görüntüsü (kalınlık 8mm)

Minitab programında gerçekleştirilen ANOVA analizi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü (R_a), kuadratik ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_q), maksimum pürüz derinliği (R_t) ve ortalama pürüz derinliği (R_z) regresyon eşitliklerinin R^2 (adj) değerlerinin %92'nin üzerinde olduğu ve iyi bir tahmin için elverişli olduğu değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri için çizilen yanıt yüzey grafikleri ve en iyi değerleri Şekil 5-Şekil 12'de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne dair regresyon eşitlikleri ise aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

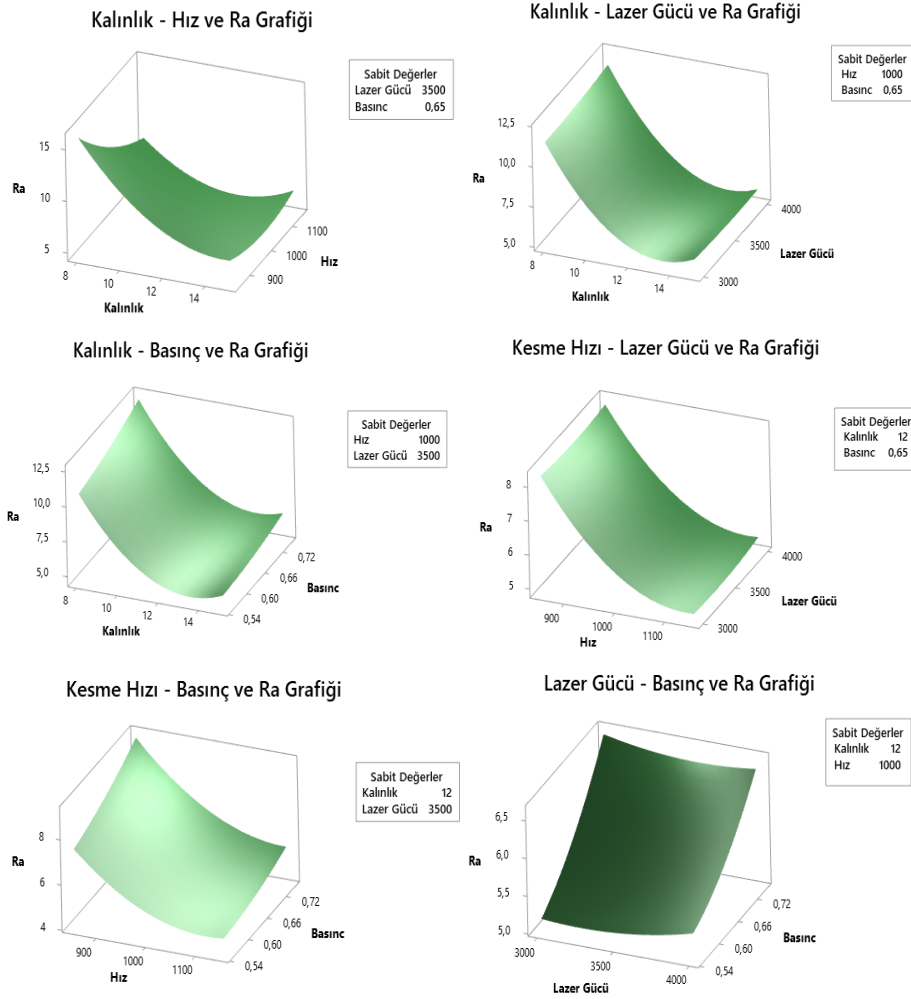
$$Ra=6,00839-2,92252x_1-1,84208x_2+0,03879x_3+0,69370x_4+2,50341x_1^2+0,90732x_2^2+1,70002x_1x_2 \quad (1)$$

$$Rq=7,40160-3,61933x_1-2,26268x_2+0,03715x_3+0,86102x_4+3,07884x_1^2+1,08147x_2^2+2,14194x_1x_2 \quad (2)$$

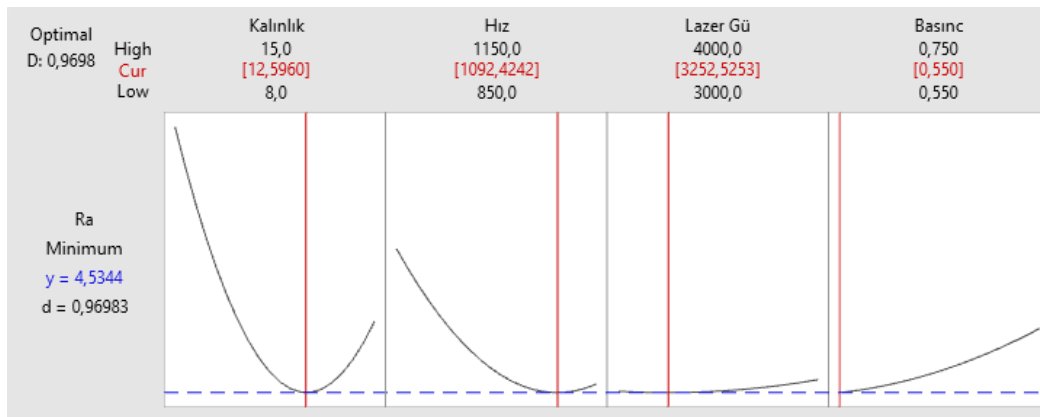
$$Rt=43,40122-17,88516x_1-12,21957x_2+0,02047x_3+5,90248x_4+14,48866x_1^2+4,97228x_2^2+11,60758x_1x_2-3,47665x_1x_4 \quad (3)$$

$$Rz=30,29460-11,14537x_1-8,08853x_2+0,27646x_3+3,00264x_4+11,15284x_1^2+3,54811x_2^2+9,02777x_1x_2 \quad (4)$$

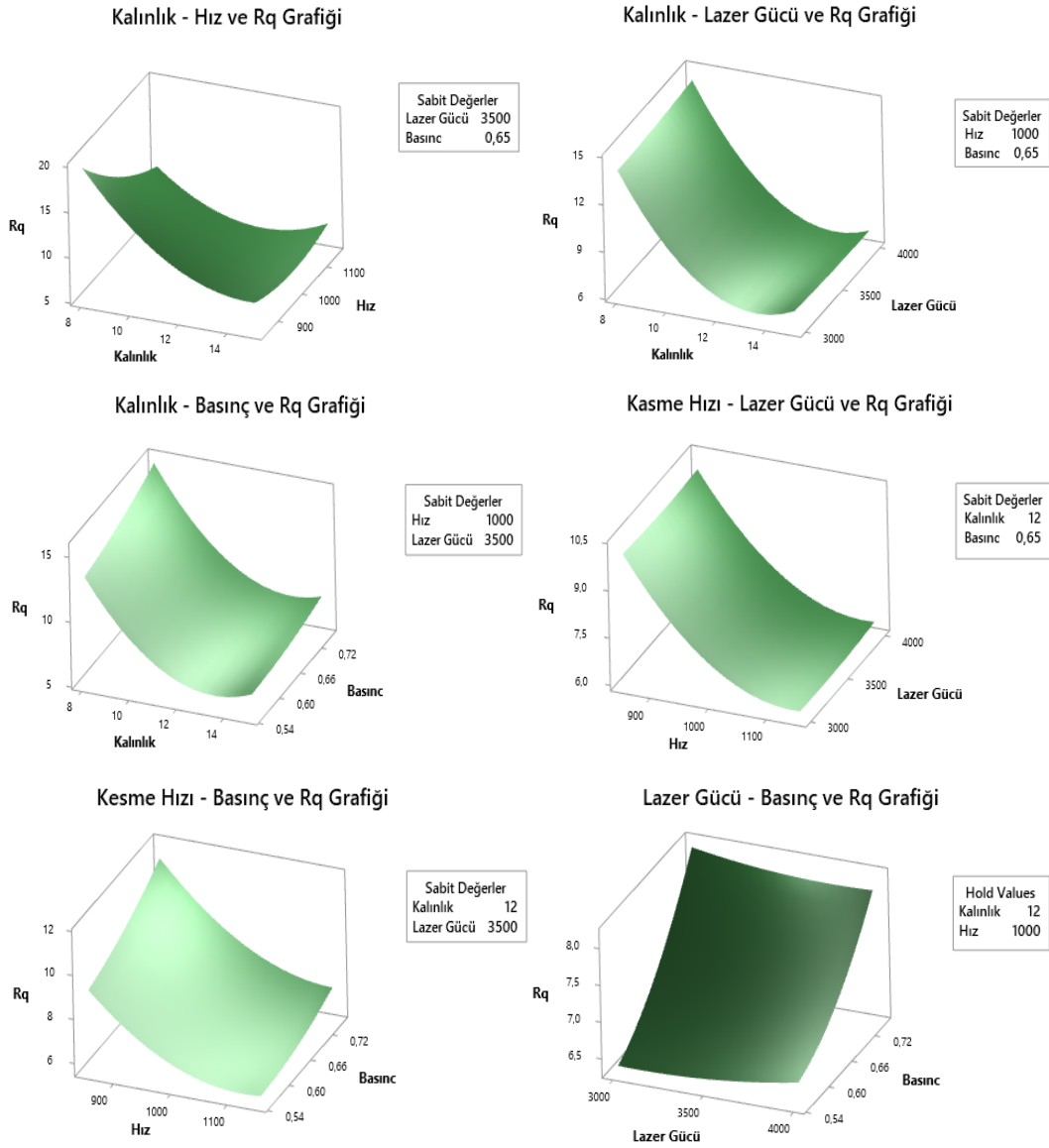
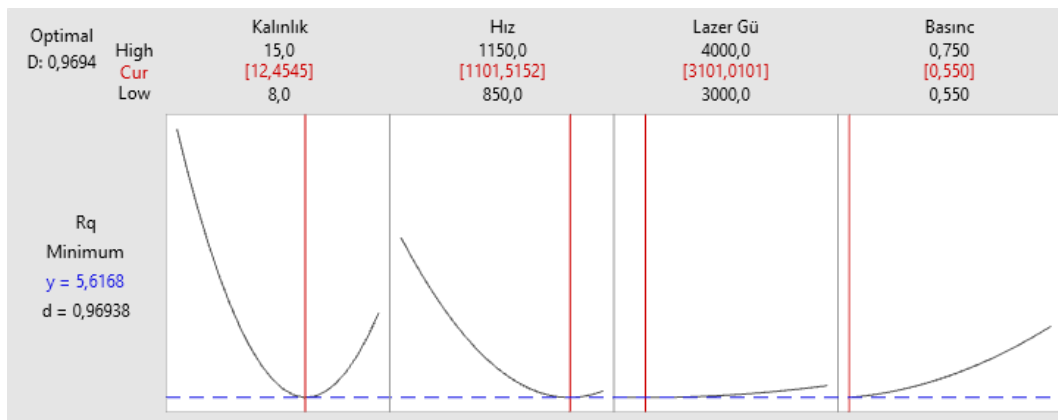
Denklemlerde x_1 : Kalınlık, x_2 : Kesme hızı, x_3 : Lazer Gücü, x_4 : Basıncı olarak temsil edilmektedir.

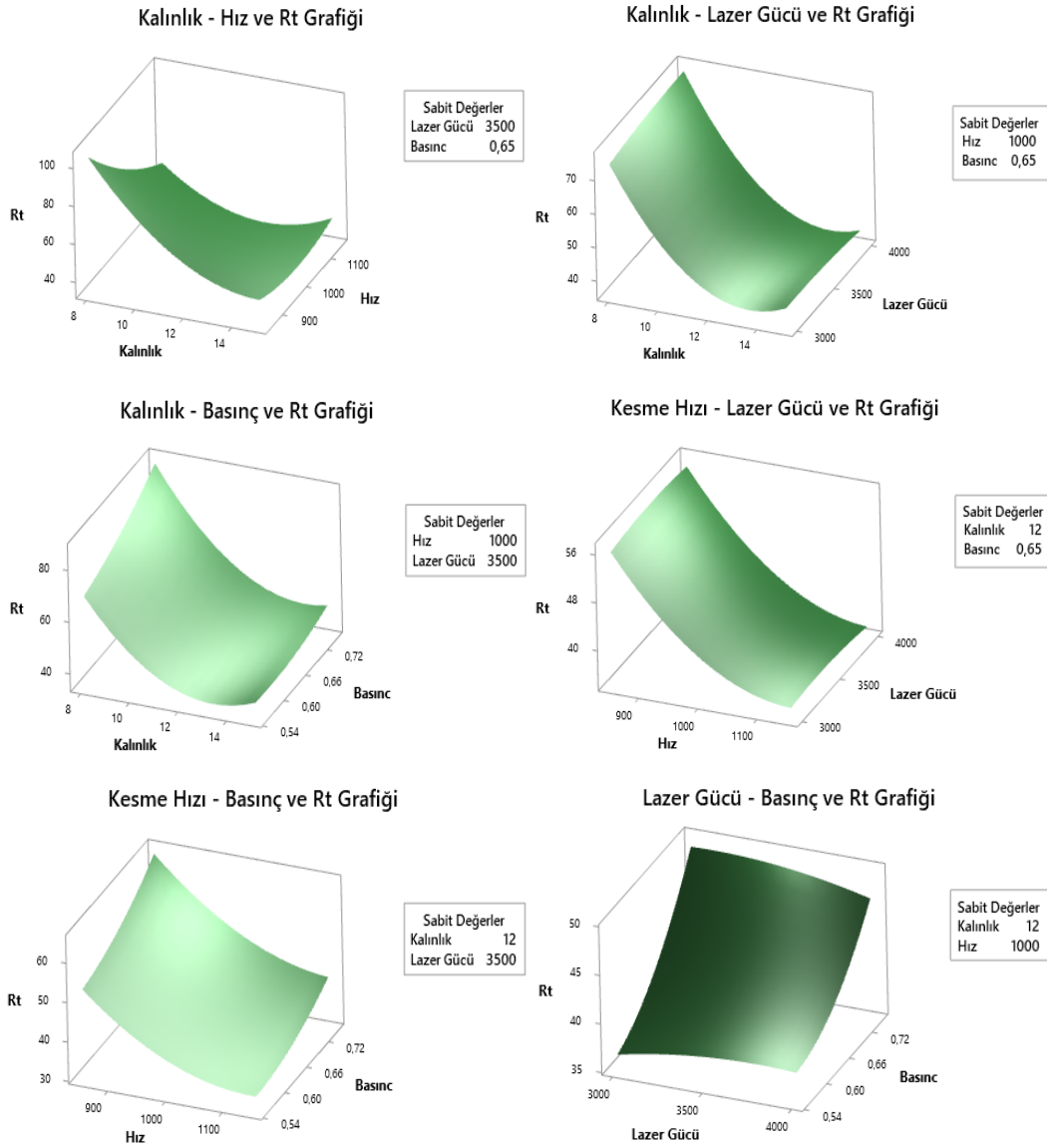
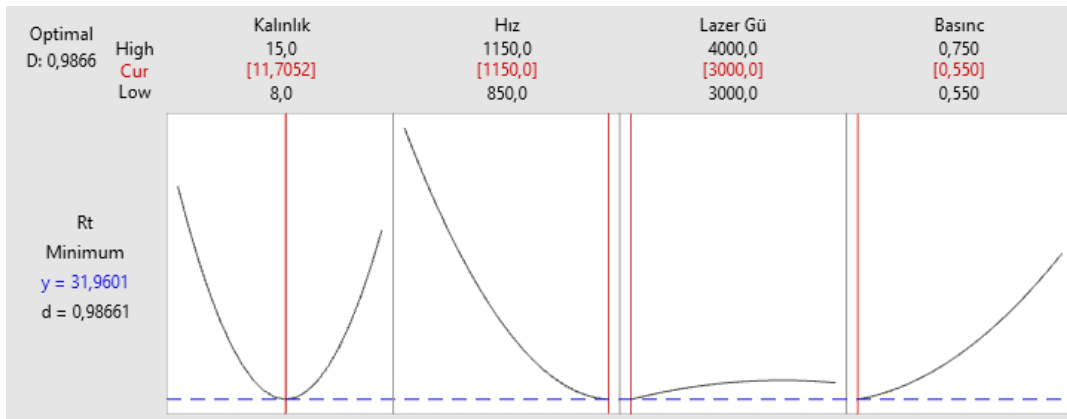


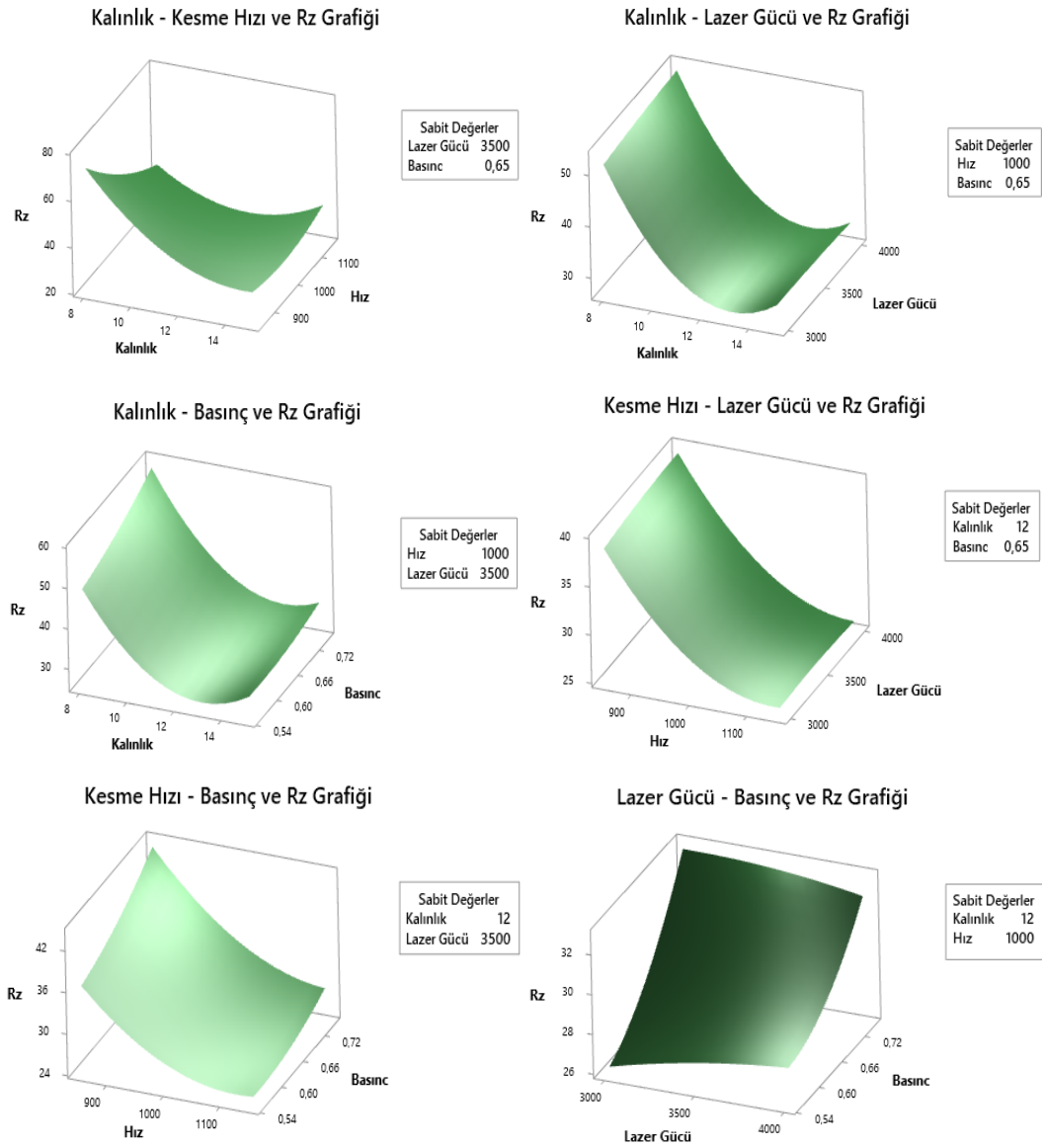
Şekil 5. Ra için elde edilen grafikler



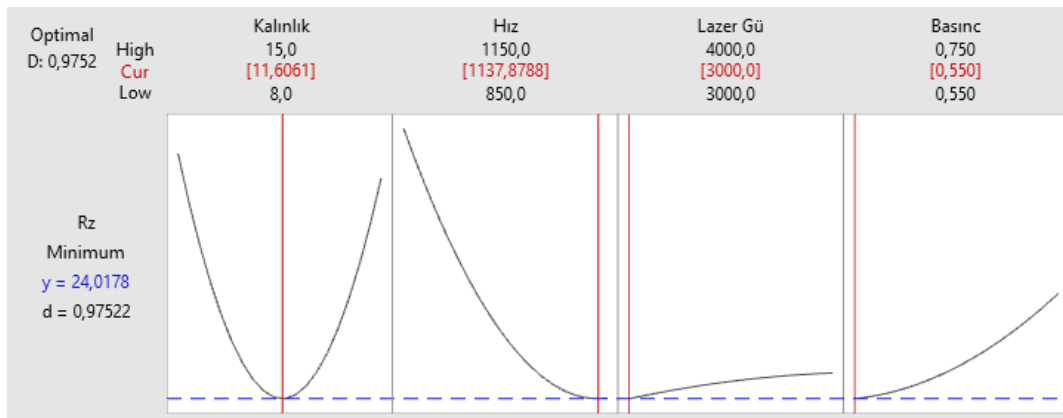
Şekil 6. Ra ana etki değerleri ve en iyi değerler grafiği

Şekil 7. R_q için elde edilen grafiklerŞekil 8. R_q ana etki değerleri ve en iyi değerler grafiği

Şekil 9. R_t için elde edilen grafiklerŞekil 10. R_t ana etki değerleri ve en iyi değerler grafiği



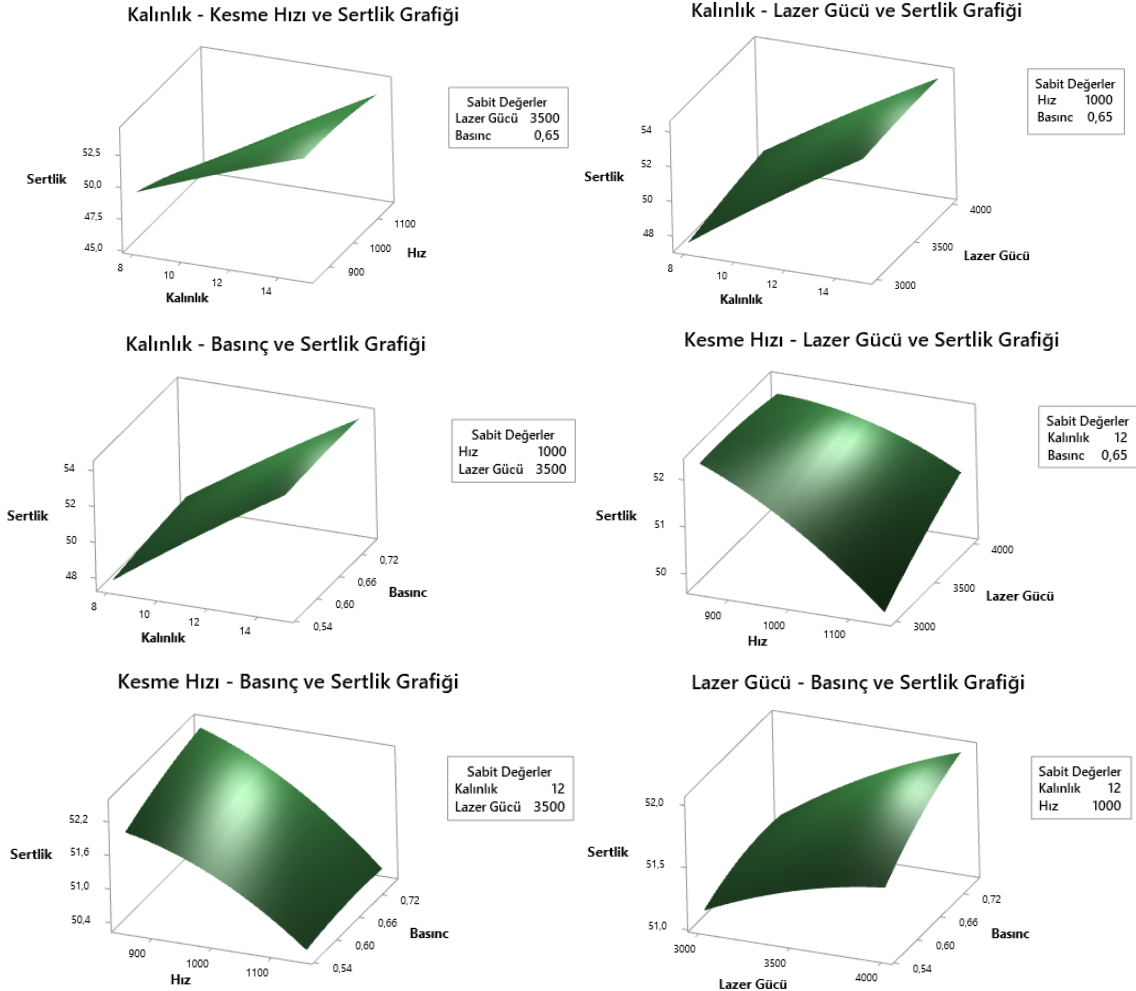
Şekil 11. Rz için elde edilen grafikler



Şekil 12. Rz ana etki değerleri ve en iyi değerler grafiği

4.2 Yüzey Sertlik Değeri

Kesme işlemi gerçekleştirilmiş olan numunelerin, kesim işlem sırasında artan ısıyla etkileşmesi nedeniyle kesilmiş yüzeylerinde oluşan makro sertlik değerleri Rockwell yöntemi ile ölçülmüştür. Numune ölçüm işlemleri Time Technology-TH 500 model tezgâh tipi Rockwell sertlik ölçme aleti ile gerçekleştirilmiştir.

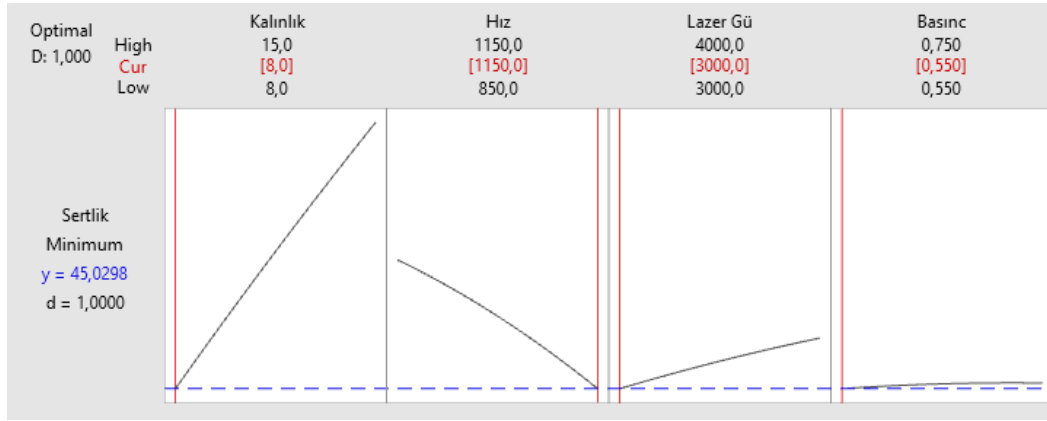


Şekil 13. Yüzey sertliği için elde edilen grafikler

Ölçüm, numune parçanın alete konumlandırılması ve elmas ucun numuneye temas etmesinin ardından, 10 Kgf ön yük uygulanarak ve ardından 60 Kgf toplam yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümün ardından, HRA cinsinden sertlik değerleri belirlenmiştir. Minitab programı yardımıyla sertlik değeri için regresyon fonksiyonu Eş. (5)'te verilmiş olup, R^2 (adj) değerinin %84,74 ile yeterli düzeyde olduğu değerlendirilmiştir.

$$S=51,17830+3,07056x_1-0,99584x_2+0,31088x_3+0,16971x_4+0,66512x_1x_2 \quad (5)$$

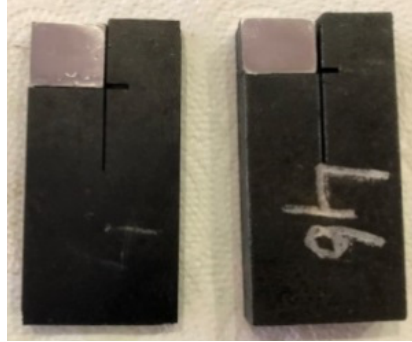
Minitab19 kullanılarak sertlik için yüzey grafikleri ve en iyi parametre değerleri Şekil 13 ve Şekil 14'de verilmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre 8 mm kalınlıkta, 1150,0 mm/dak kesme hızında, 3000 W lazer gücünde ve 0,55 bar yardımcı gaz basıncında yüzey sertliği değeri 45,02 HRA olarak tespit edilebilmektedir.



Şekil 14. Yüzey sertliği en iyileme sonuçları

4.3 Isıdan Etkilenen Bölge

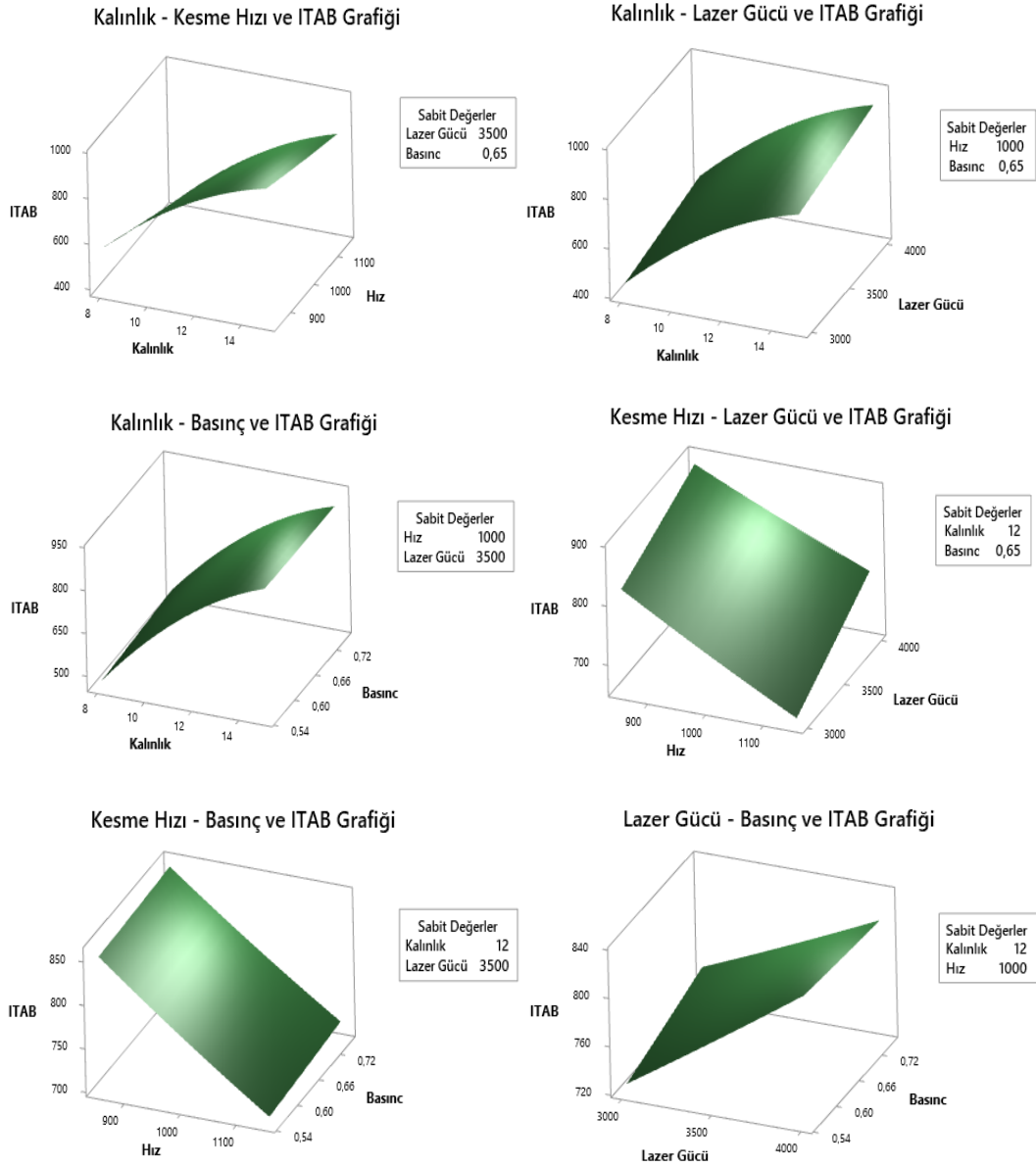
Lazer ile kesilmiş olan numune parçaların işlem sırasında açığa çıkan ısı ile etkileşimi nedeniyle kesilen yüzeyin ITAB değeri Gazi Üniversitesi'ndeki Toz Metalürji laboratuvarında yer alan Leica marka mikroskop kullanılarak belirlenmiştir. ITAB değerini ölçmek amacıyla, numuneler çok büyük olduğundan tamamına yüzey parlatılması yapılamaması nedeniyle numunelerden daha küçük alanda parçalar kesilmiş ve ölçümler bu küçük numuneler üzerinden gerçekleştirilmiştir (Şekil 15).



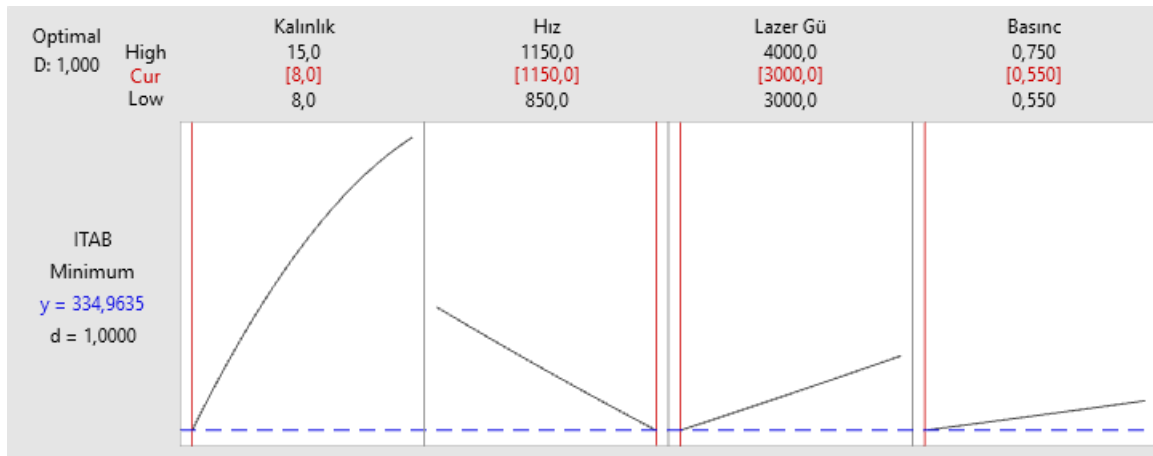
Şekil 15. ITAB ölçüm için bir numune örneği

Kesilmiş olan numuneler 400, 600, 1200 ve 2500 kum zımpara kullanılarak, Gazi Üniversitesi Toz Metalürjisi Laboratuvarındaki Struers marka Labpol1 parlatma makinasında parlatılmıştır. Dağlanma işlemi amacıyla ISO/TR16060'de belirtildiği gibi %95 etil alkol ve %5 nitrik asit ile hazırlanan nital çözeltisi içinde numuneler 10-15 saniye bekletilmiştir. Ardından numuneler mikroskop altında 50x büyütülerek incelenmiştir. Minitab19 programı kullanılarak elde edilen regresyon fonksiyonu Eş(6)'da, yüzey grafikleri Şekil 16'da ve en iyileme sonuçları Şekil 17'de verilmiştir. Regresyon fonksiyonunun R^2 (adj) değerinin %96,59 ile yeterli düzeyde olduğu değerlendirilmiştir.

$$I=750,42637+208,37361x_1-73,56304x_2+40,91314x_3+5,42846x_4-57,79970x_1^2 \quad (6)$$



Şekil 16. ITAB mesafesi için elde edilen grafikler



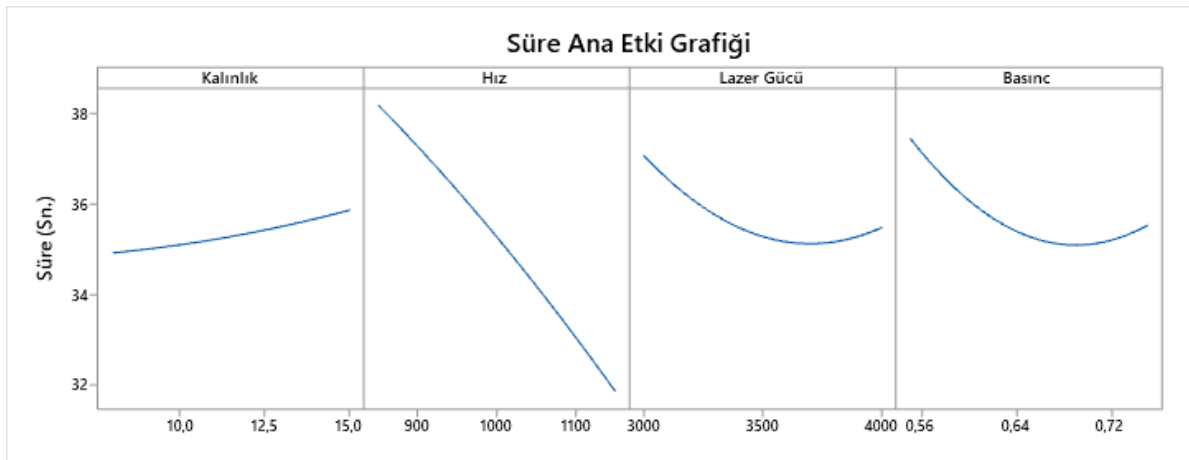
Şekil 17. ITAB en iyi değerler grafiği

4.4 İşlem Süresi

Lazerle kesme işlemi süresi için, her bir parça için üretilme sürelerinin belirlenmesi sonucunda bir eniyileme yapılarak süre kayıplarının önüne geçilebileceği değerlendirilmiştir. İşlem süresi üzerinde etkili olan faktör kesme işleminin hızı olarak belirlenmektedir. Yüksek miktarlı üretimlerde işleme süresinin azalması üretim maliyetinin de azalmasını beraberinde getirecektir. Kesme süresi için elde edilen regresyon fonksiyonu Eş.(7)'de verilmiştir. Regresyon fonksiyonunun R^2 (adj) değeri %71,2 olup, değerlendirme yapılabilecek alt sınır değeri olarak kabul edilmiş ve yeterli düzeyde olduğu değerlendirilmiştir.

$$T=35,26360+0,47222x_1-3,16667x_2-0,79866x_3-0,95917x_4+1,00000x_3^2+1,20833x_4^2+2,91667x_3x_4 \quad (7)$$

Kesme işlemi süresi için ana faktör kesme hızı olduğundan diğer grafikler Şekil 18'e eklenmemiştir. Kesme hızı arttığında parça başına gerekli olan işleme süresinde kısalma olacaktır. Şekil 18'deki ana etki grafiğinden de görüldüğü üzere, kesme hızı faktörü haricindeki diğer faktörlerin etkisinin düşük mertebelerde olduğu görülmektedir.



Şekil 18. İşlem süresinin ana etki grafiği

4.5 Çapak Oluşumunun İncelenmesi

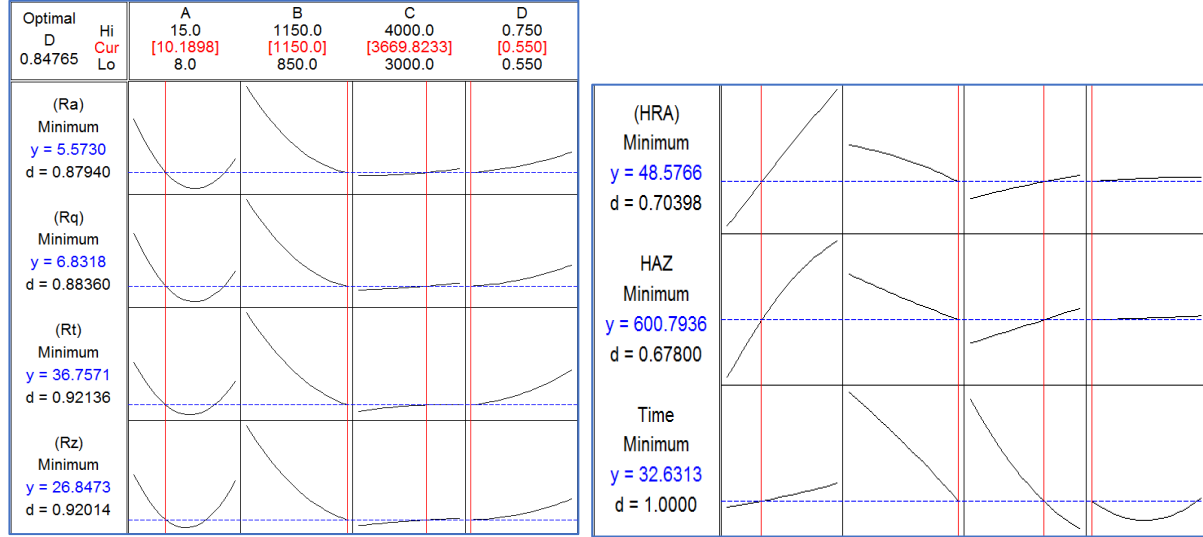
Kesilen deney parçaları analiz edildiğinde; 18,19,32 ve 37,38,60 nolu numunelerde çok fazla çapak oluşmuştur (Şekil 19). Bu numunelerin kesiminde yardımcı gaz basıncının 0,65 bar düzeyinde bulunması, çapak oluşmasında gaz basıncının önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ergiyen malzemeyi mümkün olan en kısa sürede uzaklaştırmak için yardımcı gaz basıncı değerinin yüksek seviyede tutulmasının fayda sağlayabileceği değerlendirilebilir.



Şekil 19. 18-19-32 numaralı numunelerde çapak oluşumu

4.6 Tüm Yanıtların Aynı Anda Eniyilenmesi

Lazer makinesinde farklı parametrelerle kesilmiş St-52 malzemeden imal edilmiş 81 numunenin ölçülmüş olan yanıtlarının analizi için, 3 farklı kalınlıkta en iyi kesme parametrelerini bulmak üzere Minitab programının “yanıt en iyileycisi - response optimizer” aracı kullanılmıştır. Tüm yanıtları aynı anda eniyileyen parametre değerleri Şekil 20’de verilmiştir.



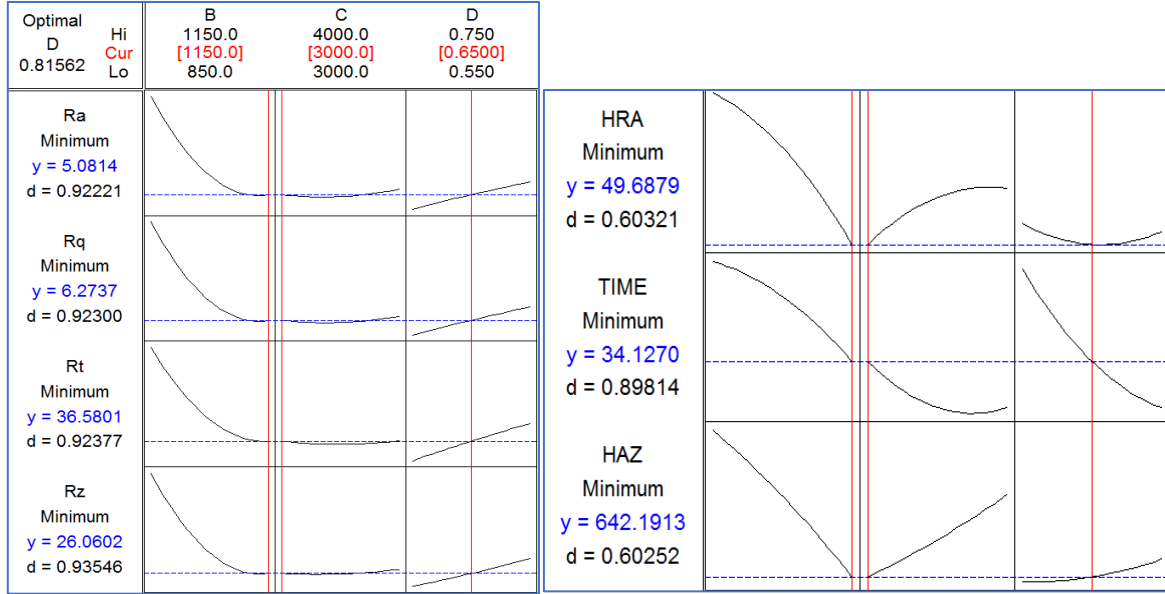
Şekil 20. Tüm yanıtlar için eniyileme sonuçları

Buna göre, Parça Kalınlığı (A): 10,19 mm, Kesme Hızı (B): 1150 mm/dak, Lazer Gücü (C): 3669 W, Yardımcı Gaz Basıncı (D): 0,55 bar değerlerinde tüm yanıtlar için eniyilenmiş bir çözüm olacaktır. Bu sonuçlar tüm yanıtların eşit ağırlıklı alındığı duruma göre elde edilmiştir. Birbirinden farklı altı ağırlık senaryosuna göre, yeni en iyileme sonuçları elde edilmiştir (Çizelge 5). Tablo 5’ten görüldüğü gibi, parça kalınlığı (A) ağırlığa en duyarlı parametredir ve 8,5 ila 10,09 arasında değişen değerler almıştır. Yeni bir analiz olarak, parça kalınlığı 12 mm olarak sabit tutulup B, C ve D faktörleri için en iyileme çalışması tekrarlanarak yeni en iyi parametre değerleri elde edilmiştir (Şekil 21).

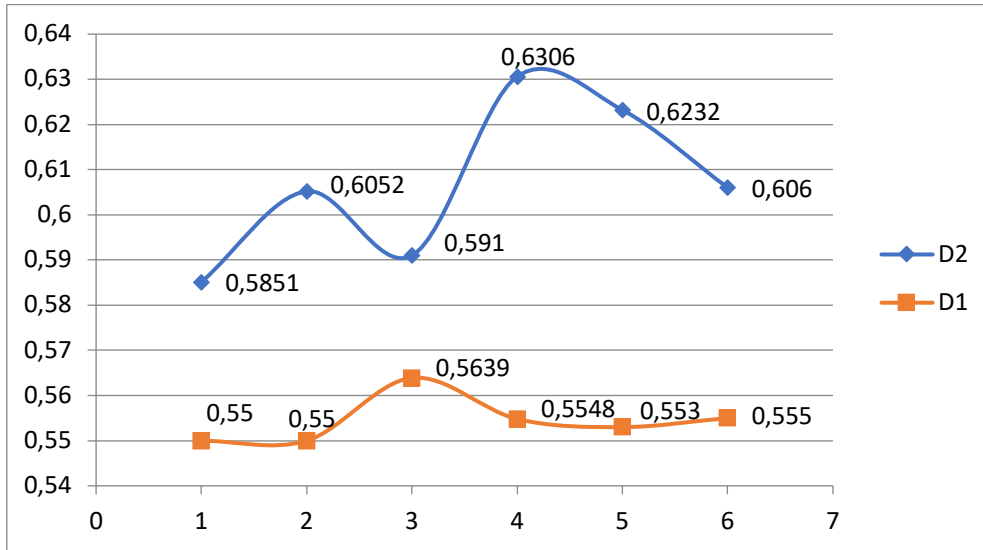
Tablo 5. Bazı etkili yanıtlar için ağırlık senaryoları

Ağırlık Senaryoları		En İyi Değişken Parametre Değerleri				
Ra	HAZ	Kalınlık (A) (mm)	Kesme Hızı (B) (mm/dak)	Lazer Gücü (C) (W)	Yardımcı Gaz Basıncı (D) (bar)	
10	10	9,3	1150	3000	0,55	
5	10	9,1	1150	3000	0,55	
10	5	10,09	1150	3000	0,639	
10	7	8,5	1150	3000	0,5548	
7	3	9,37	1150	3000	0,553	
3	10	9,01	1150	3000	0,555	

Yeni en iyileme sonuçları, D faktörünün farklı ağırlık senaryoları için en hassas faktör olduğunu göstermektedir. Çizelge 5’deki ağırlıklar ile en iyileme çalışmaları tekrarlanmış ve en iyi gaz basıncı değerinin değişimi Şekil 22’de gösterilmiştir. Parça kalınlığı bir değişken parametre olarak alındığında (şekilde D1 olarak gösterilmiştir), en iyi yardımcı gaz basıncı değişimi dar bir aralıkta değişirken, parça kalınlığı 12 mm de sabit tutulduğunda (şekilde D2 olarak gösterilmiştir), gaz basıncı değerinin arttığı ve daha geniş bir aralıkta değiştiği gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra, lazer gücü (C) parametresinin en iyi değerinin de 3000 W olarak gerçekleştiği görülmüştür.



Şekil 21. B, C ve D faktörleri için en iyileme sonuçları



Şekil 22. En iyi gaz basıncı değeri (D) grafiği

5. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, lazer ile kesilen malzemelerin kalitesi bakımından, tezgâh parametreleriyle birlikte malzeme kalınlığının sonuçlar üzerinde etkili olduğu görülmektedir. St-52 malzemesi, 8 mm, 12 mm ve 15 mm kalınlıkları bazında değerlendirildiği zaman, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili olan faktörün kesme hızı olduğu belirlenmiştir. Kesme hızı arttığında, yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olan diğer faktörlerden gaz basıncı değerinin artması durumunda yüzey pürüzlülüğü de artmıştır. Lazer gücü değişimi, ilgili faktörler içerisinde sonuçlar üzerinde daha az etkiye sahip olmakta ve lazer gücündeki azalma sonucunda yüzey pürüzlülüğü değeri de azalmaktadır.

Yüzey sertliği açısından sonuçlar analiz edildiğinde, kesme hızı arttığında yüzeyin sertliğinin azalacağı, lazer güç değeri ile yardımcı gaz basıncının artması durumunda ise makro-yüzey sertliğinde artış olacağı belirlenmiştir.

ITAB açısından sonuçlar değerlendirildiğinde, kesme hızı artışı ITAB üzerinde olumlu etkiye sebep olmaktadır. Lazer gücü arttığında ise malzemenin yüzey kısmına etkiyen enerji de yükseldiğinden dolayı ITAB'ın büyüdüğü, yardımcı gaz basıncının sürece etkiyen diğer faktörlere göre daha az etkiye sahip olduğu, fakat yardımcı gaz basıncı arttığında ITAB'ın da büyüdüğü belirlenmiştir.

Çapak oluşumunun azaltılması için, ergitilen malzeme kesim bölgesi civarından daha hızlı uzaklaştırılması için yardımcı gaz basıncının artırılması gerektiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada St-52 malzemesi için lazer ile kesim işleminde uygun olan kesme parametreleri elde edilmiştir. Malzeme tipi değiştiğinde farklı parametre değerlerinin uygun olacağı açıktır. Dolayısıyla, kompozitler, alaşımli metaller, ahşap bazlı malzemeler, polimerler açısından da yeni çalışmalar yapılarak farklı malzemeler için uygun kesme parametreleri belirlenmelidir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışma Taha TÜKEL'in yüksek lisans tez çalışmasına dayanmakta olup, tez çalışması sonrasında gerçekleştirilen ilave çalışmalarla oluşturulmuştur. Bu araştırmada; Taha TÜKEL, deney planının hazırlanmasında, deneysel çalışmaların yapılmasında, optimizasyon sonuçlarının elde edilmesinde, Mustafa YURDAKUL, problemin ortaya konmasında ve çözüm yöntemi üretilmesinde, senaryo analizlerinin geliştirilmesinde, Yusuf Tansel İÇ, deney tasarım planının ve modelin geliştirilmesinde, analizlerin derinleştirilmesinde ve makalenin yazılmasında, İbrahim ÜLKE, yazım kontrolünün yapılıp makalenin düzenlenmesinde, Arif BALCI, içeriğin ve sunumun geliştirilmesine, Serkan GÜNEŞ, deneysel çalışmaların tamamlanmasına destek olarak katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Anghel, C., Gupta, K., & Jen, T. C. (2020). Analysis and optimization of surface quality of stainless steel miniature gears manufactured by CO₂ laser cutting. *Optik*, 203, 164049. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.164049>

Arcan A. (2011). Lazer ışını ile metallerin kesilmesine etki eden parametrelerin incelenmesi (2011). *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 8-15. Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/559801>

Bagger C. and Olsen FO. (2001). Pulsed mode laser cutting of sheets for tailored blanks. *Journal of Material Processing Technology*, 115, 131–135. doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00752-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00752-X)

Bernat,R., Zalezak, Z., Zarnovsky, J. and Kescskes, N. (2018). Monitoring the Quality of Laser Cutting. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 50 (1), 137-145. Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/293129>

Cekic, A., Begic, D. and Kulenovic, M. (2012). Optimization of Process Parameters of Alloyed Steels Using CO₂ Lasers. *International DAAAM Symposium*, 0247-0250. Erişim adresi: https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2012/057.pdf

Chaki, S., Bose, D., & Bathe, R. N. (2020). Multi-objective optimization of pulsed Nd: YAG laser cutting process using entropy-based ANN-PSO model. *Lasers in Manufacturing and Materials Processing*, 7(1), 88-110. doi: <https://doi.org/10.1007/s40516-019-00109-8>

Chen SL. (1998). The effects of gas composition on the CO₂ laser cutting of mild steel. *Journal of Material Processing Technology*, 73:147–59. doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(97\)00224-0](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(97)00224-0)

Chen S. L. (1999). The effects of high pressure assistant gas flow on high power CO₂ laser cutting. *Journal of Material Processing Technology*, 88, 57–66. doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00402-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00402-6)

- Ding, H., Wang, Z., & Guo, Y. (2020). Multi-objective optimization of fiber laser cutting based on generalized regression neural network and non-dominated sorting genetic algorithm. *Infrared Physics & Technology*, 108, 103337. doi: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103337>
- Dubey A. K. and Yadava V. (2008). Multi-objective optimization of laser beam cutting process. *Optics & Laser Technology*, 40(3), 562–570. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2007.09.002>
- Dubey A. K. and Yadava V. (2008). Multi-objective optimization of Nd:YAG laser cutting of nickel-based super alloy sheet using orthogonal array with principal component analysis. *Optics and Lasers in Engineering*, 46, 124–132. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2007.08.011>
- Durukan, Z., Motorcu, A.R. and Güllü, A. (2014). Modeling of the effects of parameters on dimensional accuracy in laser cutting of AISI 304 steel with different geometries. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(3), 505-515. Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/11503/1391>
- Erdoğan Ş. (2007). Lazerle delmede işleme parametrelerinin delik kalitesine olan etkisinin deneysel araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara. Erişim adresi: https://dspace.gazi.edu.tr/bitstream/20.500.12602/149309/1/senol_erdogan_tez.pdf
- Ghany K.A. and Newishy M. (2005). Cutting of 1.2 mm thick austenitic stainless steel sheet using pulsed and CW Nd:YAG laser. *J Mater Process Technology*, 168:438–47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.251>
- Ghany K. A., Rafea H. A. and Newishy M. (2006). Using a Nd:YAG laser and six axes robot to cut zinc-coated steel. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 28, 111, 1–7. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-004-2468-x>
- Hecht J. (2019) *Understanding Lasers (Fourth Edition)*. United States of America: John Wiley&Sons, 4-5, 240-241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2019.100317>
- Kaebnick H., Bicleanu D. and Brandt M. (1999). Theoretical and experimental investigation of pulsed laser cutting. *CIRP Annals*, 48(1), 163-166. doi: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63156-4](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63156-4)
- Lamikiz A., Lacella LNL, Sanchez JA, Pozo DD, Etayo JM, Lopez JM. (2005), CO₂ laser cutting of advanced high strength steels (AHSS). *Applied Surface Science*, 242, 362–368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2004.08.039>
- Li L., Sobih M. and Crouse P. L. (2007). Stration-free laser cutting of mild steel sheets. *CIRP Annals*, 56(1), 193-196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.05.047>
- Madić, M., Mladenović, S., Gostimirović, M., Radovanović, M., & Janković, P. (2020). Laser cutting optimization model with constraints: Maximization of material removal rate in CO₂ laser cutting of mild steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 234(10), 1323-1332. doi: <https://doi.org/10.1177/0954405420911529>
- Patel, J. M., and Patel, D. M. (2011). Parametric Investigation in CO₂ Laser Cutting Quality of Hardox-400 Materials. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 5979-5984. Erişim adresi: http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/mechanical_engineering/Parametric%20investigation.pdf
- Prasad G. V. S., Siores E. and Wong W. C. K.(1998). Laser cutting of metallic coated sheet steels. *Journal of Material Processing Technology*, 74, 234–242. doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(97\)00276-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(97)00276-8)

Rajaram N., Sheikh-Ahmed J. and Cheroghi SH. (2003). CO₂ laser cut quality of 4130 steel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43, 351–358. doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(02\)00270-5](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(02)00270-5)

Tükel, T. (2020). *Lazer İle Kesim Parametrelerinin Deney Tasarım Yöntemi İle En İyi İyilenmesi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara. Erişim adresi: <https://dspace.gazi.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12602/216017/?isAllowed=y&sequence=1>

Tükel, T., Yurdakul, M. (2009). Lazer ile kesim parametrelerinin deney tasarım yöntemi ile eniyilenmesi. *Uluslararası bilim, teknoloji ve sosyal bilimlerde güncel gelişmeler sempozyumu*, Ankara, 286-293. Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/293129>

Wee L. M. and Li L. (2005). An analytic model for striation formation in laser cutting. *Applied Surface Science*, 247:277–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.01.143>

Zaied, M., Bayraktar, E., Katundi, D., Boujelbene, M., and Miraoui, I. (2012). Effect of Laser Cutting Parameters on Surface Quality of Low Carbon Steel (S235). *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 128-134. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/334697188_Effect_of_laser_cutting_parameters_on_surface_quality_of_low_carbon_steel_S235

EKLER

EK A. (Appendix A). Deney sonuçları (Experimental results)

No	Parça	R _s			R _q			R _i			R _e			HRA			ITAB			Süre		
		Tek. 1	Tek. 2	Tek. 3	Tek. 1	Tek. 2	Tek. 3	Tek. 1	Tek. 2	Tek. 3	Tek. 1	Tek. 2	Tek. 3	Tek. 1	Tek. 2	Tek. 3	Tek. 1	Tek. 2	Tek. 3	Tek. 1	Tek. 2	Tek. 3
1	(25-72-80)	6,447	6,428	6,394	7,871	8,215	7,887	45,489	52,455	46,744	30,778	33,960	31,192	51,98	51,49	51,20	778,89	786,03	745,02	35,33	35,33	35,33
2	(31-34-39)	5,081	4,811	5,821	6,272	5,878	6,982	37,861	33,561	39,729	26,844	25,186	31,896	50,38	52,63	51,32	839,55	834,83	819,32	35,33	35,33	35,33
3	(1-2-28)	5,454	5,485	4,992	6,767	6,697	6,166	38,472	39,055	34,676	29,816	28,995	27,272	54,51	55,11	54,19	921,86	946,29	972,63	37,33	37,33	37,33
4	(21-46-68)	5,329	5,347	5,693	6,476	6,597	6,995	35,875	38,962	39,426	28,257	29,906	30,740	53,09	54,30	53,89	920,89	902,13	906,32	37,33	37,33	37,33
5	(30-45-69)	6,014	4,188	5,322	7,274	5,183	6,632	38,868	31,663	40,378	28,728	22,744	27,649	50,09	50,87	50,46	742,66	779,92	721,47	32,67	32,67	32,67
6	(11-48-56)	4,900	4,893	4,224	6,059	6,085	5,270	33,657	35,226	30,976	26,117	26,247	23,360	49,93	52,22	50,31	721,95	689,97	669,75	32,67	32,67	32,67
7	(44-54-76)	12,530	11,739	10,278	14,959	14,437	12,652	75,378	72,344	67,516	54,616	52,798	46,835	48,54	47,29	47,20	444,96	438,34	424,20	35,33	35,33	35,33
8	(7-10-73)	10,344	8,138	8,740	12,790	9,866	10,582	69,906	56,008	61,076	48,825	37,298	42,494	51,16	52,72	53,60	859,77	862,62	856,00	39,00	39,00	39,00
9	(4-50-66)	10,357	10,422	11,661	12,948	12,857	14,468	75,465	66,072	71,475	48,117	47,544	52,399	47,39	46,14	47,69	458,11	452,46	437,87	35,33	35,33	35,33
10	(37-38-60)	6,656	6,578	6,319	8,087	8,116	7,644	46,824	46,106	42,296	34,258	35,574	34,073	53,25	53,65	54,08	853,17	857,47	845,17	32,67	32,67	32,67
11	(17-43-79)	6,362	6,247	6,374	7,704	7,952	7,683	43,974	48,638	44,284	30,556	33,555	31,162	52,53	51,94	52,07	850,83	786,39	825,41	35,33	35,33	35,33
12	(15-33-53)	8,554	8,119	9,443	10,352	9,880	11,586	55,983	56,501	68,326	40,739	37,422	44,557	49,61	52,92	51,35	892,74	903,96	909,61	39,00	39,00	39,00
13	(65-75-81)	9,262	7,682	9,070	11,280	9,464	11,000	58,577	54,063	57,262	40,123	34,255	41,260	46,12	45,72	45,84	500,43	425,22	439,28	32,67	32,67	32,67
14	(20-36-49)	4,943	4,794	5,469	6,121	5,923	6,661	36,243	34,057	38,214	26,357	25,606	27,533	51,31	51,46	52,68	779,39	785,93	769,50	35,33	35,33	35,33
15	(52-62-78)	5,681	7,991	5,023	6,978	9,909	6,068	42,184	58,462	33,905	28,972	40,821	24,216	51,93	50,70	52,25	815,58	761,58	725,31	35,33	35,33	35,33
16	(24-26-41)	8,512	8,575	8,749	10,413	10,436	10,597	56,191	59,857	58,213	39,609	39,082	39,451	53,08	50,88	52,68	827,77	815,58	820,7	39,00	39,00	39,00
17	(55-57-77)	15,672	15,200	15,567	19,223	18,857	19,348	102,081	100,908	104,490	72,709	71,504	74,128	49,02	50,50	48,79	581,80	531,50	649,52	39,00	39,00	39,00
18	(18-19-32)	5,181	5,628	6,004	6,444	6,954	7,327	38,564	41,591	43,761	29,486	29,783	32,674	51,27	54,56	54,08	848,95	891,73	849,46	35,33	35,33	35,33
19	(3-35-70)	5,120	6,811	7,741	6,380	8,430	9,289	38,562	49,977	52,654	28,843	36,508	37,103	54,48	53,64	54,10	916,18	904,00	902,24	37,33	37,33	37,33
20	(8-16-42)	5,555	4,926	6,100	6,808	6,056	7,410	38,811	34,083	43,709	27,772	24,441	30,358	49,84	50,13	51,55	713,02	688,08	720,09	32,67	32,67	32,67
21	(6-13-47)	4,381	5,272	5,545	5,471	6,448	6,774	31,841	37,081	39,423	24,087	27,036	26,535	51,10	51,42	50,90	773,24	735,61	730,00	47,00	47,00	47,00
22	(9-14-51)	4,988	5,062	4,715	6,164	6,272	5,815	36,205	37,209	33,176	26,135	25,974	25,296	50,69	49,28	49,73	629,31	628,91	631,64	32,67	32,67	32,67
23	(23-71-74)	14,055	12,643	11,556	17,187	15,523	15,113	93,632	91,611	93,325	62,689	57,822	59,780	47,32	48,87	47,03	474,00	467,10	483,96	35,33	35,33	35,33
24	(12-22-40)	6,613	6,519	6,171	8,172	7,924	7,484	46,640	44,735	40,342	34,051	32,659	31,566	55,37	53,84	54,64	897,84	949,18	958,09	39,00	39,00	39,00
25	(58-59-67)	5,338	6,510	5,029	6,540	8,082	6,245	40,160	47,967	39,085	26,944	33,330	26,592	50,80	52,07	51,33	825,47	778,91	769,46	35,33	35,33	35,33
26	(5-61-63)	7,521	6,721	7,779	9,252	8,336	9,636	56,831	47,048	54,060	36,878	33,945	37,683	53,37	51,99	51,81	853,63	875,30	827,33	39,00	39,00	39,00
27	(27-29-64)	12,244	10,960	11,955	15,049	13,141	14,738	74,825	65,510	77,850	54,894	47,626	53,697	48,66	50,78	48,61	542,29	493,48	497,63	35,67	35,67	35,67



Journal of Turkish Operations Management

Toplu ulaşım sistemlerinde çok amaçlı şoför çizelgeleme problemi: Kırşehir ili örneği

Emre Yazıcı¹, Koray Akkaş², Sefa Mergen³, Ahmet Burak Koç⁴, Hacı Mehmet Alakaş^{5*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: emreyazici92@hotmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-3661-2119>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: kry_1228@hotmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-8941-467X>

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: smergen95@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1238-8319>

⁴Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: ahmetburakkoc0695@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9515-7382>

^{5*}Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: hmalagas@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9874-7588>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 10.06.2021

Revize: 27.08.2021

Kabul: 09.10.2021

Anahtar Kelimeler:

Ulaşım Planlama,
Personel Çizelgeleme,
Şoför Çizelgeleme,
Hedef Programlama

Özet

Son zamanlarda hızla artan nüfus ile şehir içi seyahat eden yolcu sayısı her geçen gün artmaktadır. Şehir içi seyahatte en çok kullanılan ulaşım araçları ise genellikle otobüslerdir. Şehir içi ulaşımında yolcuların memnuniyetinin sağlanması ve verimliliğinin optimal olması için yöneticiler tarafından planlamaların etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, Kırşehir toplu taşıma operasyonlarının araç ve sürücü çizelgeleme aşamaları ele alınmıştır. İşletme verimliliğinin artması ve personellerin adil bir şekilde çalışma ortamına sahip olmaları için hedef programlama yöntemi kullanılarak çizelgeleme yapılmıştır. Önerilen model ile şoförlerin aylık sefer sayılarının dengelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen çözüm ile şoförlerin sefer sayıları belirlenerek bir aylık çalışma planı oluşturulmuştur. Bu plan doğrultusunda şoförlerin çalışacağı günler ve hatlar belirlenerek verimli bir çalışma düzeni sağlanmıştır.

Multi-objective driver scheduling problem in public transportation: a case study in Kırşehir

Article Info

Article History:

Received: 10.06.2021

Revised: 27.08.2021

Accepted: 09.10.2021

Keywords:

Transportation Planning,
Staff Scheduling,
Driver Scheduling,
Goal Programming

Abstract

The number of passengers traveling in the city is increasing day by day with the rapidly increasing population. The most used transportation type in the city is buses. To ensure the public's satisfaction in urban transportation and to ensure the efficiency of the enterprise to be optimal, it is necessary to make proper pre-planning by the management. In this article, the vehicle and driver scheduling stages of Kırşehir public transportation operations are discussed. In order to increase operational efficiency and ensure that the personnel have a fair working environment, scheduling has been made using the goal programming method. With the proposed model, it is aimed to balance the monthly trip numbers of the drivers. With the solution obtained, a monthly work plan was created by determining the number of trips of the drivers. In line with this plan, the days and lines for the drivers to work were determined an efficient working order was ensured.

1. Giriş

Nüfus artışı ve kırsal kesimden şehir içi bölgelere nüfusun kayması ulaşımda yaşanan problemlerin temel kaynağıdır. Şehir içinde nüfus artışı ile birlikte bireysel araç kullanımının artması, ulaşım sorunlarının da artmasına dolayısıyla ulaşım problemlerinin monoton bir şekilde artan bir grafik çizmesine neden olmuştur. Problemlerin başında trafik tıkanıklığı, ulaşımda geçen uzun süreler ve bu sürelerle dayalı zamanın verimsiz kullanımı gelmektedir. Ulaşımda yaşanan problemlerin çözüm noktalarından birisi de bireysel araç kullanımının azaltılarak toplu ulaşım araçlarına tercihinin artırılmasıdır.

Toplu ulaşım araçlarının tercihinde yaşanacak bir artış, ulaşımda planlamanın ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Toplu ulaşımı kullanan bireylerin ulaşım süreçlerinde herhangi bir problem yaşamadan bu hizmetten faydalanmaları gerekmektedir. Bu hizmetin sağlanabilmesi için ulaşım faaliyetlerinde görev alan bireylerin ve ulaşım ile ilişkili zamanlamaların etkin bir şekilde planlanması önem arz etmektedir. Literatürde ulaşımaya yönelik bu tarz planlamaları elen alan çalışmalar, ekip çizelgeleme bir diğer ifade ile şoför çizelgeleme olarak adlandırıldığı gibi ulaşımda personel çizelgeleme problemi olarak da bilinmektedir.

Ulaşım faaliyetinde görev yapan şoförlerin çizelgelenmesi, toplu taşımada en önemli operasyonel planlama süreçlerinden birisidir. Hizmet veren şoförlerin çalışma düzenlerinin etkin ve verimli planlanması, ulaşımın kesintisiz bir şekilde sürdürülmesi için önem arz etmektedir. Şoförler, her türlü iklim şartlarında ve coğrafi koşullar da ilgili üst yöneticiler tarafından hazırlanan hat planına uyarak çalışmaktadır. Bu plan doğrultusunda sabit saatlerde çalışılabileceği gibi vardiyalı bir sistemde de çalışma söz konusu olabilir. Uzun saatler araç kullanan ve kısıtlı bir çalışma alanında faaliyet gösteren şoförlerin performanslarının olumsuz yönde etkilenmemesi için uygun çalışma düzeni sağlanmalıdır. Çalışma planının verimli olmaması halinde olumsuz şartlar, toplu ulaşımda görev alan şoförlerin iş verimliliklerinde ve işe odaklanmalarında düşüş yaşamalarına ve buna bağlı olarak da kaza yapmalarına neden olabilir. Uzun çalışma saatlerine bağlı olarak artan stres, düzensiz çalışma ortamları ve uygun olmayan fiziki koşulların neden olduğu sağlık problemlerinin önlenmesi ve toplam iş yüklerinin eşit seviyelere getirilmesi için çizelgeleme yöntemi kullanılarak uygun bir çalışma düzeninin oluşturulması sağlanmalıdır. Bu bağlamda çizelgeleme yöntemi ile çalışan personelin ihtiyaç ve tercihlerini göz ardı etmeden bir model kurularak hem çalışan personelin hem de ilgili işletmenin planlı ve sistemli bir çalışma düzeni oluşturması sağlanmaktadır (Özder, Varlı ve Eren, 2017).

Bu çalışmada Orta Anadolu illerinden birisi olan ve 2013 yılından bu yana nüfusu her yıl artış gösteren Kırşehir ilinde şehir içi otobüs hatları ve bu hatlarda çalışan şoförler için çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Toplu ulaşımda çalışan şoförler için adil ve eşit çalışmalarını sağlamak amacıyla bir hedef programla modeli geliştirilmiştir. Bu model ILOG CPLEX kullanılarak çalıştırılmış ve şoförler için optimal çizelgeleme hazırlanmıştır. Çalışmamızın ilk bölümünde ulaşım planlama ve şoför çizelgelemenin öneminden bahsedilmiş, ikinci bölümünde ise literatürdeki toplu ulaşım sistemlerinin çizelgelenmesine yönelik çalışmalarına yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde toplu taşımacılığın öneminden ve projeye konu olan şehirden kısaca bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntem hakkında bilgiler yer almaktadır. Beşinci bölümde uygulamaya yönelik olarak problemin tanımı ve problem çözümüne ilişkin önerilen matematiksel model ve sonuçlar yer almaktadır. Son bölümde ise sonuçlar yorumlanmaktadır.

2. Literatür Taraması

Literatürde çizelgeleme ve atama problemlerinin sağlık, eğitim ve üretim gibi birçok sektörde incelendiği görülmektedir. Ulaşım sektörü de çizelgeleme probleminin incelendiği sektörlerin başında yer almaktadır. Ulaşım problemlerinde çizelgeleme çalışmalarının araç çizelgeleme, şoför çizelgeleme ve araç ve şoför çizelgeleme gibi farklı amaçlar için gerçekleştirildiği incelenen literatür çalışmalarından anlaşılmaktadır. Bu kapsamda incelenen literatür çalışmalarında problemin çözümünde tam sayılı programlama, hedef programlama, tabu arama ve genetik algoritma gibi kesin ve sezgisel yöntemleri barındıran farklı çözüm yöntemlerinin uygulandığı da görülmektedir. İncelenen bu çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

İncelenen literatür ışığında şoför çizelgeleme problemi için sezgisel yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir. Lourenço, Paixao ve Portugal (2001), sezgisel yöntemlerden genetik algoritma ve tabu arama yöntemi ile Goel (2009) ise kamusal otoriteler tarafından önerilen düzenlemeleri dikkate alarak büyük şehir arama algoritması ile probleme çözüm önerisi sunmuştur. Perumal, Larsen, Lusby, Riis ve Christensen (2020) ise sütun oluşturma sezgisel yöntemini kullanmıştır. Alakaş ve Yazıcı (2021), bir üniversite kampüs hattında çalışan araçların çizelgelenmesi problemini hedef programlama yöntemi ile gerçekleştirmiştir. İncelenen çalışmaların bir kısmında araç ve şoför çizelgeleme probleminin birlikte optimize edilmeye çalışıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda Mesquita Pias ve Respicio (2009), araç ve şoför çizelgeleme probleminin çözümü için sezgisel yöntemler ve doğrusal programlama yöntemlerini kullanmıştır. Öztop (2016) toplu ulaşımda maliyetleri azaltmak için araç ve şoför sayılarını optimize etmeye yönelik olarak tam sayılı programlama yöntemi ile bir gerçek hayat problemine çözüm önerisi sunmuştur. Liu, Ceder ve Chewdhry (2017), tam sayılı programlama

yöntemi ile toplu taşıma araçlarının hareket ve varış zamanlarını optimize etmek için bir matematiksel model sunmuştur. Benzer bir problem için ise Fonseca, Hurk, Roberti ve Larsen (2018), karma tam sayılı bir model geliştirmiştir. Kıran (2012), şoför-hat-zaman çizelgeleme problemini gidiş ve dönüş güzergahlarını dikkate alarak çözmek için arı kolonisi yöntemini kullanmıştır. Zhao, Lu, Sun ve Hu (2020), şoför dinlenme sürelerini dikkate alarak araç ve şoför sayılarını optimize etmek için dinamik programlama algoritmalarını tabu arama yöntemi ile kombine ederek problemi çözmüştür. İncelenen literatür çalışmalarında toplu ulaşım faaliyetine yönelik olarak çeşitli amaçlar için sezgisel ve optimal çözüm yöntemlerinin tercih edildiği görülmektedir.

Ulaşım çizelgelemeye yönelik olarak incelenen çalışmaların yalnızca karayolu ulaşımı ile ilgili olmadığı aynı zamanda hava ve demiryolunda da benzer çalışmaların yer aldığı görülmektedir. Havayolu ulaşımına ilişkin olarak Orhan, Kapanoğlu ve Karakoç (2010), uçuş planlanması ve çizelgelenmesini incelemiştir. Orhan, Kapanoğlu ve Karakoç (2012), diğer bir çalışmada ise rotalama ve bakım çizelgeleme problemi için bir hedef programlama modeli geliştirmiştir. Demiryolunda Gültekin ve Eren (2014), tam sayılı programlama ile trenlerin hareket saatlerinin gecikmesini minimize etmeyi, Gencer ve Eren (2016) metro hatlarında çizelgeleme problemini talep tahminleri yaparak incelemeyi amaçlayan bir çalışma ortaya çıkarmıştır. Gencer, Alakaş, Eren ve Hamurcu (2018), bir diğer çalışmada hareket saatlerinin çizelgeleme problemi için uzman sistemler ile bir karar destek sistemi önerisinde bulunmuştur. Erpik (2019) ise metrobüs hatlarında araç sayılarını ve bekleme optimizasyonu için genetik algoritma yöntemini kullanmıştır. Ayrıca özellikle son zamanlarda çevreci ulaşım politikalarını dikkate alarak elektrikli araçların kullanımını dikkate alan çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Elektrikli otobüslerin çizelgeleme problemi için Wen, Linde, Ropka, Mirchandani ve Larsen (2016), sezgisel ve kesin çözüm yöntemi, Ji, Bie ve Shen (2020), genetik algoritma yöntemi ve Yao, Liu, Lu ve Yang (2020) ise geliştirdiği bir sezgisel yöntem ile çözüm sunmuştur.

Personel çizelgeleme problemi için hedef programlama yöntemi literatürde araştırmacılar tarafından yoğun ilgi gören bir yöntemdir. Güvenlik sektöründe vardiya çizelgeleme (Demirel, Yelek, Alağaç ve Eren 2018), hastanelerde hemşire çizelgeleme (Varlı ve Eren, 2017a), hizmet sistemlerine yönelik olarak organizasyon personellerinin çizelgelenmesi (Cürebal, Koçtepe ve Eren 2020b, 2020a) ve temizlik personeli çizelgeleme (Özder ve diğ. 2017) gibi çeşitli sektörlerde hedef programlama yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca hedef programlama yöntemi bakım planlama (Özcan, Gür ve Eren, 2021) ve ulaşım alternatif araç seçimi (Hamurcu ve Eren, 2018) gibi sektörlerde de avantajları dikkate alınarak kullanılan yöntemlerden birisidir. İncelenen literatür taraması Tablo 1’de özetlenmektedir.

Hedef programlama yönteminde, belirlenen hedeflerin modele kısıtlar halinde dahil edilerek bu hedeflerden sapmaların minimize edilmesini amaçlayan modelleme yapısı dikkate alındığında, toplu ulaşım çalışmaları için bu yöntemin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Zira ele alınan çalışmada amaç personellerin çalışma düzenini tatmin ederek, ulaşımındaki ihtiyaçları karşılayacak bir planlamanın yapılmasıdır. Bu yönüyle hem personellerin istek ve arzularını hem de ulaşım için gerekli kısıtları dikkate alarak oluşturulacak hedeflerin kısıtlara dahil edilerek problemin bir hedef programlama yöntemi ile modellenmesi çözüm açısından daha etkin sonuç vermesini sağlayacaktır. Bu yönüyle ele alınan problem için hedef programlama yöntemi ile çözüm sunulması yöntemin probleme uygunluğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Literatür Özeti

Yazar (Yıl)	Yöntemler			Ulaşım Sistemi		Çizelgeleme Problemi		
	OY	SY	Diğer	Karayolu	Diğer	Araç	Şoför	Diğer
Lourenço vd. (2001)		✓		✓			✓	
Goel (2009)		✓		✓		✓		
Mesquita vd. (2009)	✓	✓			✓	✓	✓	
Orhan vd. (2010)			✓		✓	✓	✓	

Orhan vd. (2012)	✓			✓	✓	
Kıran (2012)		✓		✓		✓
Gültekin ve Eren (2014)	✓			✓	✓	
Gencer ve Eren (2016)			✓	✓		✓
Öztop (2016)		✓		✓	✓	✓
Wen vd. (2016)	✓	✓		✓	✓	
Liu vd. (2017)	✓			✓	✓	✓
Fonseca vd. (2018)	✓	✓		✓	✓	✓
Gencer vd. (2018)			✓	✓		✓
Erpik (2019)			✓	✓	✓	
Ji vd. (2020)		✓		✓	✓	
Perumal vd. (2020)		✓		✓	✓	
Yao vd. (2020)		✓		✓	✓	
Zhao vd.(2020)	✓	✓		✓	✓	✓
Alakaş ve Yazıcı (2021)	✓			✓	✓	✓

Kısaltmalar: OY: Optimal Yöntemler SY: Sezgisel Yöntemler

3. Hedef Programlama Yöntemi

Hedef programlama çok kriterli karar verme modellerinin bir türüdür. Modeli oluşturulurken olmazsa olmaz kısıtlara ek olarak hedeflenen kısıtlara gevşek değişkenler eklenerek modelin kısıtları yazılır. Buradaki amaç oluşturulan hedef kısıtlarındaki gevşek değişkenlerin minimize edilmesi işlemidir. Diğer modellemelerde tek bir amaç fonksiyonu kullanılırken hedef programlama ile oluşturulan modellerde birden çok amaç aynı anda veya sırasıyla kullanılır. Yani hedef programlama birden fazla amacı birer kısıt haline dönüştürerek kısıtların önem derecelerine göre sıralayarak veya her birini ağırlıklandırarak bu kısıtların sapmalarını amaç fonksiyonunda en küçükleme ile hedefe ulaşılmasını sağlar (Varlı ve Eren, 2017b).

Hedef programlama modeli direkt olarak hedefleri optimize etmek yerine hedefler ve sonuçlar arasındaki sapmaları en aza indirmek, zıt amaçları yönetmek için kullanılır. Özellikle de personel çizelgeleme gibi karmaşık ve içinde birçok amaç bulunan problemlerin çözümünde doğrusal programlama yetersiz kalmaktadır. Probleme karmaşık hedefler dâhil olduğu zaman, problemin çözümünde doğrusal programlama yöntemi yetersiz kalmaktadır. Bu noktadan itibaren karar problemlerini çözmeye Hedef Programlama Yönteminden yararlanılmaya başlanır (Gülenç ve Karabulut, 2005). Bu nedenle personel çizelgeleme problemi gibi birden çok amacın var olduğu problemlerde çözüm için hedef programlama tercih edilmektedir.

Hedef programlama, ergonomik personel çizelgeleme (Alakaş, Pınarbaşı, Sönmez ve Yüksel, 2020; Kaçmaz, Alakaş, ve Eren, 2020), işgücü planlaması (Özcan, Varlı ve Eren, 2017), üretim planlaması (Gülenç ve Karabulut, 2005), akademik personel çizelgeleme (Varlı, Alağaç, Eren ve Özder, 2017), ulaşım alternatiflerinin seçimi (Hamurcu ve Eren, 2018) ve kuruluş yeri seçimi (Derse, 2018) gibi birçok alanda problem çözümü için etkin bir biçimde kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan matematiksel modelleme yöntemleri içinde zıt/karşıt hedefleri amaç fonksiyonuna dâhil edebilmesi nedeniyle tercih edilen hedef programlama modeli üç ana unsurdan oluşmaktadır. Bunlar; amaç fonksiyonu, kısıt denklemleri ve negatif olmama koşuludur. Hedef programlamanın matematiksel gösterimi ise denklem 1-3'teki gibidir;

Parametreler ve karar değişkenleri:

x_j : j. karar değişkeni

a_{ij} : i. hedefin j. karar değişkeni katsayısı

b_i : i. Hedef için ulaşılmak istenen değer

d_i^+ : i. Hedefin pozitif sapma değeri

d_i^- : i. hedefin negatif sapma değeri

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^k (d_i^+ + d_i^-) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + d_i^+ + d_i^- = b_i \quad (2)$$

$$d_i^+ + d_i^- = 0 \quad (3)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad i=1 \dots k \quad j=1 \dots n$$

4. Kırşehir İli Şehir İçi Ulaşım Çizelgeleme Problemi İçin Hedef Programlama Modeli

Bu çalışmada şehir içi ulaşımda şoför çizelgeleme problemi Kırşehir ili özelinde incelemektedir. Çalışmanın amacı, Kırşehir ili şehir içi otobüs hatlarında çalışan şoförlerin hat ve vardiyalara atanmalarında adil ve eşit bir çizelgeleme oluşturmaktır. Bu doğrultuda belirlenen hedefler, hedef programlama yöntemiyle modellenerek problemin çözümüne ilişkin bir model geliştirilmiştir.

Ele alınan probleme özgü edinilen bilgiler ve talepler şu şekilde özetlenmektedir. Şoförlerin çalışma süresi gün içindeki mesai ve vardiya saatini aşmamalı, aşacağı zaman ise sürücü dinlendirilmeden tekrar mesaiye başlamamalıdır. Bu kısıtlara uyulması aynı zamanda yolcu talebini karşılayacak en az sefer-şoför ile yürütülmesini de gerektirir. İdareciler tarafından kadın personelin geç saatlerde mesaiye kalmaması istenmektedir. Bu bağlamda kadın personel sadece gün içerisinde gündüz vardiyasında çalışmalıdır. Otobüslerde biri kadın olmak üzere toplamda 52 şoför hizmet vermektedir. Toplamda 11 hat bulunmakta ve bu hatlarda 21 araç çalışmaktadır. Ayrıca şoförler iki vardiya halinde hizmet vermektedir. Ulaşım planlama biriminin yöneticilerinin, şoförlerin altı gün çalıştıktan sonra bir gün izin kullanmalarını, kadın şoförlerin akşam (2. vardiya) vardiyalarına atanmamasını ve hangi şoförün hangi araçla hangi vardiyada çalışacağı sorularına yanıt bulunmasını hedeflemektedir. Probleme ilişkin elde edilen veriler Tablo 2’de özetlenmektedir.

Tablo 2. Problemin verileri

Hat Numaraları	Hat İsimleri	Otobüs Sayıları (Adet)	Şoför Sayısı	Sefer Sayıları (Adet)	Çalışma Saatleri
1 Nolu Hat	Otogar-Hastaneler-Meydan-Kültür Merkezi-Bağ başı Üniversite	6	12	85	06:15/23:30
2a Nolu Hat	Petlas-Göhlhisar-Kümnet Altı-Meydan	2	4	28	06:45/22:30
2b Nolu Hat	Ökse-Değirmendere-Kından-Kından Toki-Meydan	1	2	27	06:30/20:30
3 Nolu Hat	Güvercinlik-Hızırağa-Ortayol-Meydan	2	4	27	06:30/21:00
4a Nolu Hat	Nasuh dede-Şirin evler-Meytaş-Fen Lisesi-Meydan	1	2	15	07:00/21:00
4b Nolu Hat	Çukur çayır-Fen Lisesi-Hilla-Meydan	1	2	15	06:45/21:00
5 Nolu Hat	Güneykent-Pomem-Güneykent Toki-Meydan	2	4	28	06:30/22:30
6 Nolu Hat	Bağbaşı-Okullar Bölgesi-Meydan	1	2	15	06:45/21:00
7a Nolu Hat	Çatı Yapı-Anadolu Mahallesi-Meydan	2	4	28	07:00/22:00
7b Nolu Hat	Cacabey Ortaokulu-Türbe-Ispallaz Hastane-Kervansaray-Cumartesi pazarı	1	2	15	06:30/21:30
8 Nolu Hat	Selgah-Bahçelievler-Basın Anıtı-Meydan	2	4	28	06:15/21:15
Toplam	11	21	42	311	

Tablo 2’de sunulan verilen ışığında problemin çözümü için oluşturulan hedef programlama modeli aşağıda yer almaktadır. Problemin çözümünde 7126 kısıt ve 36245 karar değişkeni modelde yer almıştır.

Hedef programlama modeli:

Parametreler:

n:şoför sayısı, n=52 (i=1 kadın şoförü ifade etmektedir)

m:gün sayısı, m=30 (j=1 pazartesi gününü ifade etmektedir)

p:hat sayısı, $p=11$

t:vardiya sayısı, $t= 2$

T_k : k. hatta ihtiyaç duyulan şoför sayısı

W_{kl} : k. hattın l. vardiyasındaki sefer sayısı

İndisler:

i:şoför $1, \dots, n$

j:gün $1, \dots, m$

k:hat $1, \dots, p$

l:vardiya $1, \dots, t$

Karar Değişkenleri:

$$X_{ijkl} = \begin{cases} 1; & \text{i. şoför j. günde k. hatta l. vardiyaya atanırsa} \\ 0; & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i. şoför j. günde izinli ise} \\ 0, & \text{diğer durumda çalışır} \end{cases}$$

V: Herhangi bir şoföre atanan aylık en yüksek sefer sayısı

Sapma Değişkenleri:

d_{1i}^+ :Gündüz vardiyası için i. şoförün atandığı toplam vardiya sayısının pozitif sapma değeri

d_{1i}^- : Gündüz vardiyası için i. şoförün atandığı toplam vardiya sayısının negatif sapma değeri

d_{2i}^+ :Akşam vardiyası için i. şoförün atandığı toplam vardiya sayısının pozitif sapma değeri

d_{2i}^- : Akşam vardiyası için i. şoförün atandığı toplam vardiya sayısının negatif sapma değeri

d_{3i}^+ : i. şoförün hafta sonu için atanmasının pozitif sapma değeri

d_{3i}^- : i. şoförün hafta sonu için atanmasının negatif sapma değeri

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Minimize } V + \sum_{i=1}^{52} (d_{1i}^+ + d_{1i}^- + d_{2i}^+ + d_{2i}^- + d_{3i}^+ + d_{3i}^-) \quad (4)$$

Kısıtlar:

1. *Kısıt:* Günlük tüm hatlarda ihtiyaç duyulan şoför sayısı

$$\sum_{i=1}^{52} X_{ijkl} = T_k \quad j= 1, \dots, 30, k=1, \dots, 11, l= 1, 2 \quad (5)$$

2. *Kısıt:* Şoför izinliyse o gün çalışmamasını sağlar

$$\sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^t X_{ijkl} \leq 1 - h_{ij} \quad i=1, \dots, 52, j= 1, \dots, 30, l= 1, 2 \quad (6)$$

3. *Kısıt:* Herhangi bir şoförün altı günden fazla art arda çalışmamasını sağlar.

$$h_j + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} \geq 1 \quad j=1, \dots, 24 \forall i \quad (7)$$

4. *Kısıt:* Her şoför aynı gün içerisinde sadece tek vardiyada çalışılacak

$$\sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^t X_{ijkl} \leq 1 \quad i=1, \dots, 52 \quad j= 1, \dots, 30 \quad (8)$$

5. *Kısıt:* Eğer şoför j. gün 2. Vardiyada çalıştıysa j+1. gün 1. vardiyada çalışamaz

$$\sum_{k=1}^p X_{ijk2} + X_{i(j+1)k1} \leq 1 \quad i=1, \dots, 52 \quad j=1, \dots, 29 \quad (9)$$

6. *Kısıt*: Kadın şoför için 2. Vardiyada çalışmama kısıtı

$$\sum_{j=1}^{30} X_{1jk2} = 0 \quad k=1,2,6,7,8,9,11 \quad (10)$$

Hedef kısıtı 1: Her bir şoförün aylık atandığı gündüz vardiyası toplam sayısı mümkün olduğunca eşit olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p X_{ijk1} + d_{1i}^- - d_{1i}^+ = 13 \quad i=1, \dots, 52 \quad (11)$$

Hedef kısıtı 2: Her bir şoförün aylık atandığı akşam vardiyası toplam sayısı mümkün olduğunca eşit olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p X_{ijk2} + d_{2i}^- - d_{2i}^+ = 13 \quad i=1, \dots, 52 \quad (12)$$

Hedef kısıtı 3: Bu hedefle her bir şoförün aylık çalışma planında yaptıkları seferlerin sayıları birbirine eşit olmalı

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^t W_{kl} * X_{ijkl} \leq V \quad i=1, \dots, 52 \quad (13)$$

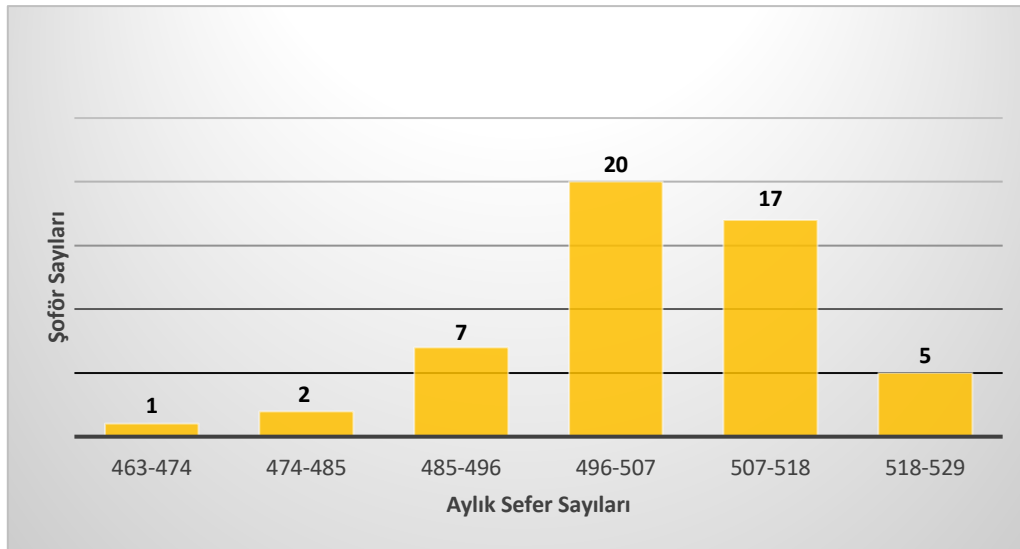
Hedef kısıtı 4: Bu hedefle her bir şoförün hafta sonu atamaları mümkün oldukça birbirine eşit olmalı (j=1 Pazartesi)

$$\sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^{11} (X_{i6kl} + X_{i7kl} + X_{i13kl} + X_{i14kl} + X_{i20kl} + X_{i21kl} + X_{i27kl} + X_{i28kl}) + d_{3i}^- - d_{3i}^+ = 6 \quad i=1, \dots, 52 \quad (14)$$

5.3. Bulgular

Modelin çözümünde Intel (R) Core (TM) i7 5500u CPU@ 2.40 GHz işlemcisi 16 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayardan yararlanılmıştır. Elde edilen veriler ILOG CPLEX Studio IDE programda yazılmış olup CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Yapılan çizelgeleme, 30 günlük bir şoför çalışmasını içermektedir. İş yerindeki kadın şoförün çalışma şartları, şoför sayısı, vardiya sistemi, hat farklılıkları ve izin durumlarına bakıldığı zaman el ile adil bir çizelgeleme yapmanın mümkün olmadığı bir kez daha ortaya çıkmıştır. Hazırlanan matematiksel model sayesinde elde edilen sonuçların, tüm kısıt ve hedefleri kapsadığı, eşit ve adil bir şekilde çizelgelendiği görülmektedir.

Şoförlerin aylık yaptığı sefer sayıları (V) Şekil 1'de grafik ile özetlenmektedir. Yatay ekseninde sefer sayıları dikey ekseninde şoför sayıları yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre bir ay içerisinde en az görev alan şoför 463 sefer en fazla ise 521 seferde görev almıştır. Sefer sayılarının ortalaması 504,80 standart sapması ise 12'dir. Şekil 1'e bakıldığında şoförlerin aylık sefer sayılarının belli bir bölgede toplandığı görülmektedir. Bu da şoförler arasında aylık sefer sayılarının dengeli dağılımını ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Şoförlerin aylık sefer sayıları

Tablo 3'de hedef programlama modelinin çözümü neticesinde sapma değişkenlerinin aldığı değerler gösterilmektedir. 1. hedef, tüm çalışanların gündüz vardiyasında eşit sayıda çalışmasının sağlanmasına yönelik bir hedeftir. Bu hedefte pozitif yönde sapmanın 0 olduğu ve negatif yönde sapmanın toplam 52 şoför için 46 olduğu görülmektedir. Şoför sayısına oranlandığında ise bu oranının birden küçük bir orana sahip olduğu görülmektedir. 2. hedef kısıtım ifade eden akşam vardiyasında eşit sayıda çalışma kısıtı için aynı sonuçlar elde edilmiştir. 4.

hedef her bir şoförün hafta sonu atamalarının mümkün oldukça birbirine eşit olmasını amaçlayan bir hedeftir. Bu hedefin sapma değişkenlerine bakıldığında ise negatif sapma değerinin sıfır, pozitif sapma değerinin ise 24 olduğu görülmektedir. İncelenen bu problem için belirlenen hedefler doğrultusunda elde edilen optimal sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4'te özetlenmektedir. Bu sapma değerleri ilgili yöneticiler ile birlikte değerlendirildiğinde sonuçların kabul edilebilir seviyede olduğu ifade edilmiştir. Zira sapma değişkenleri şoför sayısına oranlandığında birden küçük bir değer olduğu görülmektedir.

Hedef programla modelinin çözümü neticesinde Tablo 4'te hangi şoförün hangi hat hangi vardiyada çalışacağı sonuçları 52x30 boyutunda bir matris ile gösterilmiştir. Tablo 4'te satırlarda şoförler sütunlarda ise günlere yer verilmiştir. Matrisin elemanları ile i. şoförün j. günde hangi hat hangi vardiyada çalıştığı verilmiştir. 1. Şoför (kadın) için Tablo 4'ü inceleyecek olursak 1. şoför 2, 10, 13, 14, 16, 17, 21, 23 ve 24. günlerde sırasıyla 1. hatta 1. vardiyada çalışacağı, 25.günde 2.hat 1.vardiya, 20.günde 5.hat 1.vardiyada, 7.günde 9.hat 1.vardiyada ve 27.günde 10.hat 1.vardiyada çalışacağı görülmektedir. Kadın şoför hariç geri kalan 51 şoföre bakıldığı zaman her biri 30 günlük periyotta ortalama 6 gün tatil yapmaktadır.

Tablo 3. Sapma değişkenlerinin aldığı çözüm değerleri

Şoförler	Hedef Değişkenleri						Her şoförün aylık yaptığı sefer sayısı (Vi)
	D1 Artı	D1 Eksi	D2 Artı	D2 Eksi	D3 Artı	D3 Eksi	
1	0	0	0	13	0	0	508
2	0	2	0	0	1	0	518
3	0	0	0	1	0	0	497
4	0	1	0	0	0	0	487
5	0	2	0	0	0	0	518
6	0	1	0	0	0	0	501
7	0	3	0	0	0	0	505
8	0	1	0	1	1	0	463
9	0	1	0	1	0	0	499
10	0	1	0	0	0	0	504
11	0	1	0	1	1	0	497
12	0	0	0	1	2	0	521
13	0	0	0	3	0	0	493
14	0	2	0	0	0	0	506
15	0	1	0	0	1	0	509
16	0	2	0	0	0	0	490
17	0	1	0	0	0	0	511
18	0	1	0	0	0	0	518
19	0	0	0	2	0	0	519
20	0	0	0	2	1	0	507

21	0	1	0	1	2	0	480
22	0	1	0	1	0	0	500
23	0	1	0	0	2	0	505
24	0	1	0	0	0	0	517
25	0	0	0	0	2	0	519
26	0	2	0	0	0	0	506
27	0	2	0	1	0	0	521
28	0	0	0	1	2	0	493
29	0	0	0	0	0	0	481
30	0	2	0	0	2	0	503
31	0	1	0	0	0	0	506
32	0	1	0	0	0	0	502
33	0	1	0	0	0	0	505
34	0	2	0	0	0	0	511
35	0	1	0	0	0	0	498
36	0	1	0	0	0	0	516
37	0	1	0	0	0	0	512
38	0	1	0	0	2	0	514
39	0	0	0	3	0	0	497
40	0	0	0	3	1	0	504
41	0	0	0	1	0	0	504
42	0	0	0	1	0	0	518
43	0	0	0	2	0	0	519
44	0	1	0	1	1	0	494
45	0	1	0	1	2	0	507
46	0	1	0	1	0	0	489
47	0	2	0	0	0	0	491
48	0	0	0	1	0	0	512
49	0	1	0	0	0	0	516
50	0	1	0	0	1	0	514
51	0	0	0	2	0	0	513
52	0	0	0	1	0	0	512
Toplam	0	46	0	46	24	0	26250

Tablo 4. Personel görev çizelgesi

Günler/ Şoförler	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	27	28	29	30	
1		1(1)					9(1)			1(1)			1(1)	1(1)		1(1)	1(1)			5(1)	1(1)		1(1)	1(1)	2(1)		10(1)				
2	1(1)		2(1)	1(2)	1(2)	7(2)	9(2)	1(2)		9(1)	5(1)	1(1)	11(2)	9(2)		4(1)	9(1)	4(2)	1(2)	6(2)		2(1)	10(1)	2(1)	5(2)		1(2)	4(2)		1(1)	
3	1(1)		11(1)	11(1)	4(1)	6(1)	1(1)		8(1)	1(2)	3(2)	7(2)	9(2)		9(1)	1(1)	9(1)	4(1)	9(2)	1(2)		6(1)	1(1)	11(2)		5(2)	11(2)	10(2)	11(2)	4(2)	
4	1(1)	9(1)	6(2)	9(2)		10(1)	7(1)	8(1)	4(1)	8(1)	1(2)		1(2)	6(2)	9(2)	1(2)		3(1)	8(2)	11(2)		11(1)	4(1)	1(2)	2(2)	1(2)	5(2)		11(1)	1(1)	
5	1(1)	8(1)		11(1)	1(2)	1(2)	1(2)	11(2)		3(2)	9(2)	9(2)	8(2)		1(1)	6(1)	2(1)		11(1)	8(1)	1(1)	1(2)	9(2)	2(2)		10(2)		5(1)	1(1)	7(2)	
6	1(1)	3(1)	1(1)	4(2)	11(2)		10(2)	4(2)	10(2)	1(2)	1(2)		4(1)	9(1)	9(2)	7(2)	8(2)	7(2)		9(1)	7(1)		5(1)	1(1)	4(1)	1(1)		7(1)	9(2)	11(2)	
7	1(2)	1(2)	4(2)	11(2)	8(2)		5(1)	7(2)		7(1)	3(1)	9(1)	1(1)	2(2)		1(2)	7(2)		1(2)		1(2)		9(2)	5(2)		10(1)	1(1)	1(1)	11(1)	4(1)	
8	1(2)		7(1)	2(1)	1(1)	1(1)		2(1)	10(1)	4(1)	9(1)		10(2)	1(2)	8(2)	6(2)	11(2)	1(2)		7(1)	9(1)	3(1)	9(1)	9(2)	6(2)		4(2)	7(2)	1(2)		
9	1(2)		3(1)	5(1)	7(1)		9(1)	3(1)	1(2)		1(1)	6(1)	7(2)	7(2)	11(2)		11(1)	1(1)	5(1)	1(2)		7(2)	4(2)	8(2)		3(1)	7(1)	2(2)	2(2)	1(2)	
10	1(2)		6(1)	8(1)	2(1)	9(1)	7(1)		7(1)	10(1)	1(1)	1(2)	2(2)		11(1)	1(2)	1(2)	10(2)	11(2)		11(1)	7(1)	7(1)	7(2)		1(2)	1(2)	6(2)	1(2)	3(2)	
11	1(2)	9(2)	10(2)	7(2)		4(2)	3(2)	5(2)	4(2)	1(2)	2(2)		3(1)	11(1)	2(1)	9(1)		11(1)	4(1)	5(2)	4(2)		1(1)	1(1)	1(1)	10(1)		1(1)	7(1)		
12	1(2)		9(1)	2(1)	1(1)	1(2)	1(2)		9(1)	1(1)	10(1)	10(1)	5(1)	8(2)		10(2)	7(2)	8(2)	1(2)	7(2)	11(2)		1(2)	2(2)		7(1)	6(1)	7(1)	1(1)	11(1)	
13	2(1)		10(1)	1(1)		9(1)	11(1)	4(1)	1(1)	11(2)		11(2)		1(1)	1(2)	5(2)	6(2)	11(2)	11(2)		10(2)	2(2)		1(1)	11(1)		9(1)	2(1)	1(1)	6(2)	
14	2(2)	1(2)	1(2)	9(2)	1(2)		11(1)	9(1)	9(1)		6(1)	5(1)	7(1)	11(2)	4(2)		1(1)	9(1)	9(1)	1(1)	3(1)	8(2)		10(2)	1(2)	1(2)		1(2)		9(2)	
15	2(2)	9(2)		4(1)	7(2)	1(2)	7(2)	1(2)	9(2)		1(1)	1(1)		3(1)	7(1)	11(2)		8(1)	3(1)	7(1)	5(1)	1(1)	1(2)		8(1)	4(1)	2(2)	1(2)	6(2)	4(2)	
16	3(2)	1(2)	8(2)		2(2)	7(2)	1(2)		1(1)	11(1)	1(1)	4(1)	2(1)		10(1)	3(1)	8(1)	5(1)	5(2)	1(2)		1(1)	4(2)	4(2)		9(1)	2(2)	4(2)	1(2)		
17	4(1)	11(1)	4(1)	9(1)		1(1)	2(1)	1(1)	7(2)	2(2)		1(1)	11(1)	1(2)	2(2)	4(2)		11(1)	8(1)	1(1)	3(2)	10(2)	10(2)	11(2)	11(2)	3(2)	8(2)		4(2)	1(2)	
18	4(2)	11(2)	11(2)	1(2)	11(2)	3(2)		1(1)	11(2)		1(1)	7(1)	3(2)	5(2)	5(2)	2(1)	1(1)	11(1)	11(1)	7(1)	11(1)	7(2)		8(1)	7(1)	11(1)	1(1)	11(2)		1(1)	1(1)
19	4(2)	5(2)	1(2)	7(2)		11(1)	4(1)	6(2)	1(2)	10(2)		5(2)	9(2)		2(1)	1(1)	11(1)	1(2)		1(1)	1(1)		2(1)	1(1)	9(1)	11(2)		10(1)	4(1)	9(1)	
20	5(1)	2(1)	1(2)		6(2)	1(2)		7(1)	3(1)	7(1)	2(2)		11(1)	1(1)	1(1)		4(1)	1(2)	7(2)	4(2)	8(2)	11(2)		10(1)	4(1)	1(1)	9(1)	1(2)		9(2)	
21	5(2)		1(1)	6(1)	1(1)	5(1)	3(1)	1(2)		11(1)	11(1)	6(2)	1(2)	11(2)		1(1)	6(1)	1(1)	6(1)	10(1)	2(2)		8(2)	1(2)	4(2)	11(2)	11(2)	5(2)			
22	6(1)	9(1)	5(1)		2(1)	8(1)	1(1)	1(1)	8(2)		9(1)	10(2)		11(1)	1(2)	8(2)	10(2)	11(2)	1(2)		1(2)	9(2)	1(2)	6(2)	1(2)		7(1)	1(1)		4(1)	
23	6(2)	2(2)	3(2)		7(1)	1(1)	4(1)	8(2)		7(2)	1(2)	1(2)	7(2)	4(1)		11(1)	1(1)	1(2)	1(2)	2(2)	9(2)		2(1)	3(1)	9(1)	11(1)	8(1)	8(1)		7(1)	
24	7(1)	4(2)	7(2)	5(2)		7(1)	1(2)	11(2)	1(2)	11(2)		7(1)	9(1)	1(1)	10(1)	11(2)		7(1)	1(1)	1(2)		1(1)	2(1)	6(2)	1(2)	7(2)	7(2)	3(1)	1(1)	2(1)	
25	7(2)	8(2)	11(2)		4(1)	1(1)	10(1)	1(2)	11(2)	6(2)		8(1)	10(1)	4(1)	7(2)	1(2)		7(1)	7(2)	1(2)	1(2)	11(2)		6(1)	5(1)	11(1)	1(1)	5(1)	1(1)		
26	7(2)	6(2)	5(2)	11(2)	1(2)		8(1)	2(2)		1(1)	7(1)	1(1)	1(2)	7(2)		11(1)	4(2)	6(2)	9(2)	7(2)	1(2)		1(1)	2(1)	3(1)	8(1)	1(1)		3(1)		
27	8(2)	1(2)			1(1)	1(2)	7(2)		2(1)	1(1)	8(1)	11(1)	1(1)	6(1)		9(1)	4(1)	10(1)	1(2)		1(1)	4(2)	9(2)	1(2)	9(2)	9(2)		9(2)	9(2)		
28	9(1)	4(1)		10(1)	5(1)	2(1)	1(2)	3(2)	1(2)		7(1)	7(1)	9(1)	2(2)	10(2)		1(1)	3(2)	10(2)	11(2)	5(2)	1(2)		6(1)	1(1)	1(1)	9(2)	1(2)		6(1)	
29	9(2)	4(2)	2(2)	6(2)	5(2)		1(1)	11(1)	1(1)	11(2)	4(2)	8(2)		7(1)	9(1)	5(1)	5(1)		1(1)	4(1)	4(1)	10(1)	1(2)	9(2)		2(1)	1(1)	7(2)	8(2)	7(2)	
30	9(2)	7(2)		9(1)	7(2)	11(2)	11(2)	1(2)		9(1)	1(2)		1(1)	2(1)	6(2)		1(2)	1(2)		1(1)	2(1)	2(2)	3(2)		7(1)	6(1)	11(1)	1(1)	2(1)	10(2)	
31	10(2)	1(2)	4(2)	2(2)		6(2)	9(2)	7(2)	1(2)		7(2)	2(2)	11(2)	4(2)		8(1)	1(1)	1(1)	2(1)	8(2)		1(1)	11(1)	9(1)	1(1)	7(1)	3(1)		2(1)	2(1)	
32	11(1)	1(1)	4(1)	1(2)	3(2)		2(1)	4(1)	1(2)	8(2)	10(2)	11(2)		1(1)	7(1)		1(2)	5(2)	2(2)	4(2)	1(2)	11(2)		5(2)	9(1)		1(1)	6(1)	11(1)	5(1)	
33	11(2)	7(2)		1(1)	8(1)	1(1)	11(2)	9(2)	5(2)		2(1)	2(1)	1(2)		11(1)	2(1)	1(1)	7(1)	2(2)		11(1)	1(1)	7(2)		5(1)	1(2)	9(2)	2(2)	10(2)	2(2)	
34	11(2)		1(1)	1(1)	6(1)	7(1)		9(1)	7(2)	2(2)	9(2)	4(2)		3(2)	2(2)		5(2)	2(2)	4(2)	9(2)	11(2)		1(1)	11(1)	1(1)	2(1)	1(1)	1(2)		7(1)	
35	1(1)	11(2)	9(2)	1(2)		3(1)	1(1)	10(2)	9(2)	1(2)		1(1)	9(1)	8(1)	3(2)	9(2)		2(1)	9(1)	9(1)		11(1)	2(2)	3(2)	8(2)	2(2)	1(2)		9(1)	3(1)	
36		1(1)	9(1)	1(1)	1(2)	5(2)	6(2)		1(1)	5(1)	2(1)	4(2)	4(2)		6(1)	2(2)	1(2)	4(2)	6(2)		2(2)	10(2)	7(2)	1(2)		11(1)	1(1)	2(1)	7(1)	9(1)	
37	4(1)	10(2)	1(2)		3(1)	4(2)	8(2)	9(2)	4(2)	7(2)		1(1)	6(1)	10(1)	1(2)	2(2)	9(2)		1(1)	1(1)		4(1)	1(1)	4(1)	2(1)	1(2)		9(1)	3(2)	1(2)	
38	10(1)	11(1)	9(2)	1(2)		4(1)	6(1)	1(1)	5(1)	4(2)	1(2)		2(1)	1(1)	8(1)	1(1)	7(1)	2(1)		3(2)	1(2)	6(2)	11(2)		4(2)	1(2)	6(2)	1(2)	5(2)		
39		2(1)		2(2)	9(2)		1(2)	4(2)	2(2)	9(2)		9(1)	8(1)	4(1)	4(1)	7(1)	1(2)		1(1)	2(1)	2(1)	1(1)		11(1)	1(1)	1(1)	3(2)		11(2)	5(2)	
40		4(1)	3(1)	1(1)	1(1)	9(2)		5(1)	3(2)		11(1)	1(2)	4(2)	1(2)	1(2)		7(1)	9(2)		3(1)	10(1)	1(1)	7(1)	7(1)	7(2)		2(1)	11(2)	1(2)		
41	8(1)	1(1)	11(1)	7(1)	9(1)	11(2)		7(1)	1(1)	2(1)	1(2)	3(2)		1(2)	1(2)	7(2)	9(2)		2(1)	6(1)	8(1)	9(1)	11(1)		1(2)	9(2)	1(2)	8(2)	7(2)	1(2)	
42	11(1)	7(1)	2(1)	3(2)	4(2)	10(2)		1(1)		2(1)	4(1)	3(1)	1(1)	2(1)		4(1)	2(1)		1(1)	1(1)		4(2)	5(2)	1(2)		1(2)	6(2)	1(2)	11(2)	7(2)	1(2)
43		2(2)	2(2)	8(2)	1(2)		1(1)	1(1)	7(1)	9(2)	7(2)	1(2)		5(1)	1(1)	9(2)		1(1)	11(1)	10(2)	9(2)	4(2)		5(1)		4(1)	5(1)	11(1)	6(1)	1(1)	
44		1(1)		7(1)	10(1)	4(1)	4(2)	2(2)		6(1)	6(2)	1(2)	5(2)	10(2)	7(2)		10(1)	4(1)	1(1)	1(2)	7(2)	1(2)		1(1)	9(2)	4(2)		1(1)	4(1)	8(1)	
45	2(1)		1(1)		9(1)	1(1)	1(1)	2(1)	2(2)	4(2)		4(1)	1(2)	9(2)	11(2)		2(2)	2(2)	4(2)	2(2)	6(2)	1(2)		9(1)	10(2)		4(1)	1(1)	9(1)	11(1)	
46	7(1)	1(1)		10(2)	10(2)	2(2)	2(2)		1(1)	5(2)	11(2)	9(2)	2(2)		5(1)	2(1)		1(1)	4(1)	11(1)	9(1)	7(1)	4(1)		1(2)	8(2)	4(2)		1(1)	1(2)	
47		10(1)	8(1)	1(1)	1(1)	11(1)	5(2)		6(1)	3(1)	5(2)	2(2)		1(2)	1(2)	1(2)	1(2)		10(1)	9(2)	3(2)	1(2)		4(1)	11(2)	4(2)	10(2)		8(1)	1(1)	
48		6(1)	7(1)	3(1)	11(1)	2(1)	2(2)		11(1)	1(1)	1(1)	11(1)	6(2)		1(1)	7(1)	4(2)	9(2)	3(2)	1(2)		7(2)	1(2)	7(2)	2(2)		4(1)	1(1)	1(2)	11(2)	
49	9(1)	7(1)	7(2)		4(2)	1(2)	4(2)	1(2)	6(2)	1(2)		2(1)	1(1)	4(2)	4(2)	3(2)		1(1)	1(1)		7(1)	4(1)	9(1)	4(2)	1(2)	7(2)		9(1)	10(1)	10(1)	
50	3(1)	3(2)	1(2)	4(2)	9(2)	2(2)		11(1)	4(1)		8(2)		4(1)	7(1)	4(1)	1(2)	2(2)	1(2)		4(1)	1(1)	5(1)	1(1)	1(2)	3(2)		2(1)	4(1)	2(2)	1(2)	
51		1(2)	1(2)	1(2)	2(2)	9(2)		6(1)	2(1)	4(1)	4(1)	1(2)	1(2)		3(1)	1(1)	3(1)			1(1)	4(1)	9(1)	6(1)	8(1)	7(1)		7(2)	9(2)	1(2)	8(2)	
52		5(1)	1(1)	4(1)	11(1)	8(2)		10(1)	11(1)																						

gece çalışmalarının dengeli dağılımı sağlanmıştır. Ayrıca aylık toplam sefer sayılarının da dengeli dağılımı sağlanmıştır. Şoförler arasında bir kadın şoför bulunmaktadır. Kadın şoförün gece vardiyasında çalışmaması kısıt halinde modele dahil edilerek geceleri kadın şoförlerin çalışmaması sağlanmıştır. Böylelikle çalışma düzeni daha dengeli olmuştur.

Hedef programlama modelinin çözümü neticesinde her bir şoförün hangi gün hangi hatta ve hangi vardiyada çalışacağı tespit edilmiş ve izin günleri belirlenmiştir. Çalışan personellerin talepleri, vardiya sistemi, hat sayısı ve istisnai durumlar incelenerek hedef programlama yöntemi ile eşit ve adil bir çizelgeleme geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçların uygulanması halinde şoförler arasında adaletli bir çalışma düzeninin sağlanacağı ve personel verimliliklerinin artacağı öngörülmektedir. Yapılan bu çalışmada kullanılan matematiksel model, daha sonra yapılacak benzer şehir içi yolcu taşımacılığı planlamaları için bir örnek teşkil etmektedir.

Çalışmada Kırşehir ili için ulaşım verileri elde edilmiştir. Ancak büyükşehirlerde benzer bir problemi çözümü için ulaşım verilerinin bir bütün olarak incelenmesi noktasında bir kısıtlılık olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle büyükşehirlerde ilçelere veya bölgelere ayrılarak veri toplaması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Sonraki çalışmalarda hat uzunlukları ve yolcu sayıları dikkate alınarak bir talep tahmini elde edilmesi ve bu doğrultuda çalışılmasını önerebiliriz. Oluşturulan çizelge daha uzun bir periyod için genişletilebilir ve yeni eklenecek hatlara ya da personeller tarafından yeni isteklere göre model revize edilebilir. Hizmet sektörlerinin içinde bulunduğumuz COVID 19 salgını döneminde bir kez daha ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmış olup bundan sonraki çalışmalarda bu faktör dikkate alınarak yolcu kapasitelerine göre bir düzenleme yapılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada Emre Yazıcı, hedef programlama modelinin kurulması, modelin çözümü için kodlama yaparak yöntemin uygulanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması; Koray Akkaş, verilerin toplanması ve hedef programlama modelinin kurulması, Sefa Mergen, konu ve literatür araştırmasının yapılması, Ahmet Burak Koç, problemin çözümüne uygun yöntemlerin araştırılması ve belirlenmesi, Hacı Mehmet Alakaş, bilimsel yayın araştırmasının yeterliliğinin incelenmesi, yöntem ve uygulamanın incelenmesi ve genel makale incelemesi konularında katkı sağlamışlardır.

Destek

Çalışmanın yazarlarından Emre Yazıcı Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) tarafından “YÖK 100/2000 Doktora Bursu” programı ile desteklenmektedir.

Çıkar Çatışması

Bu makalenin yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Alakaş, H. M., Pınarbaşı, M., Sönmez, İ., & Yüksel, A. (2020). Ergonomic personnel-task scheduling problem : A medium voltage insurance. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 433–448. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/59336/851842>

Alakaş, H. M., & Yazıcı, E. (2021). Hedef Programlama ile Toplu Ulaşımında Araç Çizelgeleme Probleminin Çözümü : Kırıkkale Kampüs Hattı Örneği. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(2), 417–427. Doi: <https://doi.org/10.29137/umagd.830236>

Cürebal, A., Koçtepe, S., & Eren, T. (2020a). Organizasyon firması için COVID-19 pandemi döneminde aylık personel atama ve çizelgeleme probleminin çözümü : bir uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 479–493. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/59336/851877>

Cürebal, A., Koçtepe, S., & Eren, T. (2020b). Tanıtım Festivalinde Personel Çizelgeleme Problemi: Bir Uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 217–229. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gmbd/issue/58697/807040>

Demirel, B., Yelek, A., Alağaç, H. M., & Eren, T. (2018). ANKARAY Güvenlik Personelinin Vardiya Çizelgeleme Probleminin Hedef Programlama Yöntemi ile Çözümü. *Demiryolu Mühendisliği*, 18(8), 1–17. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/demiryolu/issue/35609/431463>

Derse, O. (2018). Biyogaz Enerji Tesisi için Hedef Programlama ile Yer Seçimi Problemi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(Özel), 121–126. Doi: <https://doi.org/10.19113/sdufbed.67077>

Erpik, Z. (2019). *Hat Çizelgeleme Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı: İETT Örneği*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/308433>

Fonseca, J. P., van der Hurk, E., Roberti, R., & Larsen, A. (2018). A matheuristic for transfer synchronization

- through integrated timetabling and vehicle scheduling. *Transportation Research Part B: Methodological*, 109, 128–149. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.01.012>
- Gençer, M. A., Alakaş, H. M., Eren, T., & Hamurcu, M. (2018). Ankara Metrosu M1 Hattı Hareket Saatlerinin Çizelgelenmesi: Bir Karar Destek Sistemi Uygulaması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(2), 108–128. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/39569/469380>
- Gencer, M. A., & Eren, T. (2016). Ankara Metrosu M1 (Kızılay-Batıkent) Hattı Hareket Saatlerinin Çizelgelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 4(2), 25–36. Doi: <https://doi.org/10.21541/apjes.59527>
- Goel, A. (2009). Vehicle scheduling and routing with drivers' working hours. *Transportation Science*, 43(1), 17–26. Doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1070.0226>
- Gülenç, İ. F., & Karabulut, B. (2005). Doğrusal Hedef Programlama İle Bir Üretim Planlama Probleminin Çözümü. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(55), 55–68. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kosbed/issue/25711/271297>
- Gültekin, N., & Eren, T. (2014). Demiryolu Çizelgeleme Probleminin Modellenmesi ve Çözümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 235–242. Doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6707/89390>
- Hamurcu, M., & Eren, T. (2018). Transportation planning with analytic hierarchy process and goal programming. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2(2), 92–97. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iarej/issue/38845/402522>
- Ji, J., Bie, Y., & Shen, B. (2020). Vehicle Scheduling Model for an Electric Bus Line. *Proceedings of 3rd KES-STS International Symposium, Smart Transportation Systems* 185, 29–39. Doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-5270-0_3
- Kaçmaz, S. Ö., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2020). Ergonomic staff scheduling problem with goal programming in glass industry. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(1), 369–377. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/56013/727142>
- Kıran, M. S., & Gündüz, M. (2012). Arı Kolonisi Optimizasyon Algoritması Kullanarak Şoför-Hat-Zaman Çizelgeleme. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 11(2), 59–66. Erişim adresi: <https://sujes.selcuk.edu.tr/sujes/article/view/74>
- Liu, T., Ceder, A. (Avi), & Chowdhury, S. (2017). Integrated public transport timetable synchronization with vehicle scheduling. *Transportmetrica A: Transport Science*, 13(10), 932–954. Doi: <https://doi.org/10.1080/23249935.2017.1353555>
- Lourenço, H. R., Paixao, J. P., & Portugal, R. (2001). Multiobjective Metaheuristics for the Bus-Driver Scheduling Problem. *Transportation Science*, 35(3), 331–342. Doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.35.3.331.10147>
- Mesquita, M., Paiais, A., & Respício, A. (2009). Branching approaches for integrated vehicle and crew scheduling. *Public Trasnp. Journal*, 1(21), 21–37. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12469-008-0005-2>
- Orhan, İ., Kapanoğlu, M., & Karakoç, T. H. (2010). Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 181–191. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20508/218321>
- Orhan, İ., Kapanoğlu, M., & Karakoç, T. H. (2012). Hedef Programlama ile Bütünleşik Uçak Rotalama ve Bakım Çizelgeleme. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(1), 11–26. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6691/88232>
- Özcan, E. C., Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hidroelektrik Santrallerde Vardiya Çizelgeleme Problemleri İçin Hedef Programlama Yaklaşımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 363–370. Doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.347609>
- Özcan, E., Gür, Ş., & Eren, T. (2021). A Hybrid Model to Optimize the Maintenance Policies in the Hydroelectric Power Plants. *Journal of Polytechnic*, 24(1), 75–86. Doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.626171>
- Özder, E. H., Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hedef Programlama Yaklaşımı İle Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 114–127. Doi: <https://doi.org/10.31466/kfbd.342344>
- Öztop, H. (2016). *Vehicle And Crew Scheduling Problem In Public Transportation*. Yaşar Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

- Perumal, S. S. G., Larsen, J., Lusby, R. M., Riis, M., & Christensen, T. R. L. (2021). A column generation approach for the driver scheduling problem with staff cars. *Public Transport*. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12469-021-00279-9>
- Varlı, E., Alağaç, H. M., Eren, T., & Özder, E. H. (2017). Goal Programming Solution of the Examiner Assignment Problem. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(2), 105–118. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/bilgesci/issue/32353/341552>
- Varlı, E., & Eren, T. (2017a). Hemşire Çizelgeleme Problemi ve Hastanede Bir Uygulama. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 34–40. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/273997>
- Varlı, E., & Eren, T. (2017b). Vardiya Çizelgeleme Problemi ve Bir Örnek Uygulama. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(2), 185–197. Doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.309302>
- Wen, M., Linde, E., Ropke, S., Mirchandani, P., & Larsen, A. (2016). An adaptive large neighborhood search heuristic for the Electric Vehicle Scheduling Problem. *Computers and Operations Research*, 76, 73–83. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.06.013>
- Yao, E., Liu, T., Lu, T., & Yang, Y. (2020). Optimization of electric vehicle scheduling with multiple vehicle types in public transport. *Sustainable Cities and Society*, 52. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101862>
- Zhao, X., Lu, J., Sun, H., & Hu, S. (2020). Two-way Vehicle Scheduling Approach in Public Transit Based on Tabu Search and Dynamic Programming Algorithm. *2020 IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering, ICITE 2020*, 498–502. Erişim adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9231516>



Journal of Turkish Operations Management

Web sitesi tasarım aşamasındaki kriterlerin önem derecelerinin GB-FUCOM ile belirlenmesi

Sultan Handenur Atçı^{1*}, Kumru Didem Atalay²

¹Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: kerem-hande@hotmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9620-108X>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: katalay@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9021-3565>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:
Geliş: 21.05.2021
Revize: 14.11.2021
Kabul: 16.11.2021

Anahtar Kelimeler:

İletişim,
İnternet,
Web Sitesi,
Bulanık FUCOM

Özet

Günümüzde internet, hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuş ve gün geçtikçe güçlenen bir iletişim aracı haline gelmiştir. Gelişen teknolojiler ile internet için büyük önem arz eden web siteleri insanların gündelik hayatlarını kolaylaştırmaktadır. Web siteleri insanların sıklıkla, eğlence, finans, eğitim, sosyal gibi birçok konuda ihtiyaçlarını hızlıca karşılamaktadır. Web sitelerinin kullanım amaçları birbirinden farklılık gösterse de bu siteleri hazırlarken dikkat edilmesi gereken ortak kriterler vardır. Bu makalede, web sitesi oluştururken kullanılan kriterler belirlenmiş ve iki ayrı bakış açısından incelenmiştir. Kriterler yazılımcı ve kullanıcılar açısından ayrı ayrı değerlendirilmiş ve farklılıkları ortaya konmuştur. Değerlendirmelerin yapılması için geliştirilmiş Genişletilmiş Bulanık FUCOM (Tam tutarlılık yöntemi) (GB-FUCOM) yöntemi kullanılmıştır.

Determining the Importance of the Criteria at the Website Design Stage with EF-FUCOM

Article Info

Article History:
Received: 21.05.2021
Revised: 14.11.2021
Accepted: 16.11.2021

Keywords:

Communication,
İnternet,
Website,
Fuzzy FUCOM

Abstract

Today, the internet has become an indispensable part of our lives and has become a communication tool that gets more powerful every day. With the developing of new technologies, websites that are an essential part of the internet make the daily lives of people easier. Websites frequently meet the needs of people in many areas such as entertainment, finance, education and social life. Even though the usage purpose of the websites differs from each other, there are some common criteria that needs to be considered during the preparation of website. In this article, we outline the criteria for creating a website and discuss these from two different points of view. The criteria were evaluated and reported separately for the software developer and the users. The differences between the two have been compared and discussed. The Extended Fuzzy FUCOM (Full Consistency Method) (EF-FUCOM) Method which has developed for the evaluations was used.

1.Giriş

İnternet ve iletişim teknolojileri günümüzde hızlı bir şekilde gelişmeye devam eden iki önemli kavramdır. Bu kavramların gelişmesiyle beraber insanların hayatlarını kolaylaştıran web sitesi tasarımları da aynı hızda gelişim göstermektedir. Günümüzde web siteleri farklı amaçlar için tasarlanıyor olsa da hepsinin temel amacı, insan hayatını kolaylaştırmak ve işleri hızlandırmaktır. Web sitesini tasarlariken dikkat edilmesi gereken birçok kriter bulunmaktadır. Web sitesi hazırlık aşamasındaki bu kriterlerin önemi web sitesi tasarlayan uzmanlara göre ve web sitesini kullanan kişilere göre değişiklik göstermektedir.

İletişim, eski zamanlardan günümüze kadar insanlar arasında veya diğer canlılar arasında konu olmaya devam etmektedir. İnsanlar aralarında iletişimi nasıl kurar sorusu sürekli sorulan bir soru haline gelmiştir. Canlıların kendi aralarında bir şekilde iletişim kurdukları, ses, koku gibi duyumlarla bağlantı kurdukları ve her birinin kendi türü için özellik taşıyan iletişim araçlarına sahip olduğu deneyimlenmiştir. İletişim teknolojileri genellikle, iletişim alanındaki tüm teknolojileri kapsayan bir kavramdır. İletişim, telekomünikasyon, yayın, yayım ve basın kelimeleri ile ilgili bütün teknolojileri kapsamaktadır. Aynı zamanda telgraf, telefon, faks, teleks, radyo, televizyon, uydu, interaktif televizyon, kablo televizyon, uzaktan kumanda, çağrı cihazı, Mobil İletişim için Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications) (GSM), telsiz, bilgisayar, modem, vb. gibi araçlarda iletişim teknolojilerine dahildir (Koçak, 2011).

İnternet ve yeni bilgi/iletişim teknolojilerinin gündelik hayata girişi ile farklı bağlamlarda iletişimin dinamikleri de değişmiştir ve gelişmeye devam etmektedir. Örneğin eğitsel ortamlarda, kurumlarda, kişisel ilişkilerde, insanların iletişim kurma biçimleri dramatik şekilde değişmiştir. İnternetin etkileşimli boyutları, teknoloji kullanıcılarına geleneksel yüz yüze iletişimden farklı bir alternatif sunmaktadır. Sahip olduğu etkileşimsel yetenekler ve çoklu ortam özellikleri ile internet, geleneksel iletişim biçimlerinin dinamiklerini değiştirmiştir (Şahin ve Gülnar, 2016). İnternet, dünyada farklı coğrafyalarda bulunan bilgisayarların birbirlerine bağlanarak oluşturdukları ve milyonlarca kullanıcının aynı ya da farklı zamanlarda erişim sağladığı bir iletişim ağı olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlanma internet bilgisayarların birbirleriyle iletişimine belirli elektronik dil ve kurallar doğrultusunda imkân sağlamanın yanında; çok yönlü bir kitle iletişim aracı olarak da kullanılmaktadır (Uysal, 2013).

İnternet kavramı, “international” ve “network” kavramının birleşmesinden oluşmuştur. İnternet kavramı ile ilgili literatürde çok sayıda tanım bulunmaktadır. İnternet, bilgisayar ağlarının aralarında bağlantı kurmalarıyla oluşan, dünya çapında yaygın bilgisayar ağlarına dayalı bir iletişim sistemidir (Beştaş, 2019). İnternet kavramını kısaca tanımlayacak olursak, internet, bilgisayarlar, sunucular ve akıllı cihazlar gibi makinelerin iletişim ve veri alışverişi amacıyla birbirine bağlandığı dünya çapında bir ağ olarak tanımlanabilir. Bu ağlar, ağ cihazlarını birbirine bağlamak için bazı iletişim protokollerini kullanır. İnternetin çalışma modelini anlamak için internetin altyapısını anlamak önemlidir. İnterneti çalıştıran iki ana kavram İnternet Protokol (IP) adresi ve İletim Denetimi Protokolü/İnternet Protokolü (Transmission Control Protocol/İnternet Protocol)(TCP/IP) paketidir (Beştaş, 2019).

Bilgisayarın icadı ve gelişmesinden bu yana, web dünyada artan bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu bilgi sistemini sayesinde insanlar birçok iş sektöründe, ofiste ve diğer alanlarda avantaj elde etmeye başlamışlardır. Birçok araştırmacı tarafından geliştirilen yeni teknolojiler, bilgisayarın fiyatını ve kullanımını kolay hale getirdikten sonra, bilgisayarların birçok evde yer edinmeye başlamasıyla birlikte web bilgi sisteminin kullanımı artmaya başlamıştır. Bu sayede günümüzde, internet ve yeni geliştirilen teknolojilerle beraber, yaşam kalitesi artmaktadır (Alnaseri, 2019).

Web, bilginin internet üzerinden paylaşımına izin veren hipermetin (hypertext), bilgisayar ekranı ya da diğer elektronik cihazlarda gösterilen ve sadece yazıdan ibaret olmayan gelişmiş özelliklere sahip belgelerdir. Hipermetin kelimesi bir bağlantıya sahip olan kelime anlamına gelmektedir. Web üzerine bir hipermetine tıkladığı zaman bilgisayar o bağlantının gösterdiği adresteki bilgiye ulaşmaya çalışır. Dünya Çapında Ağ (World Wide Web) (WWW), Web ya da W3, İnternet kullanıcıları tarafından en fazla tercih edilen ve kullanılan platformlarındanır (Kılınç, 2008).

Tipik bir webte gezinme sırasında, ileri geri iletişim her sayfa için yeniden gerçekleşmektedir. Bu durum her iki bilgisayarın da internete bağlı olmasıyla gerçekleşir. Her iki bilgisayar da komutları iletmek ve almak için protokolü tanıır ve istemci bilgisayar web sayfasını web tarayıcısı uygulamasında yeniden oluşturmak ve görüntülemek için kullanılan dili tanıyabilir. Yani, bu durumda üç farklı protokol bulunmaktadır. Bu protokollerden birincisi TCP/IP Protokolü’dür. Bilgisayarlar internete TCP/IP protokolü ile bağlanmaktadır. Her bilgisayara bir adres verilir, daha sonra bilgisayarı tanımlamak ve verileri veya komutları bir yerden diğerine

göndermesini sağlar. İnternette kullanılması istenen bir bilgisayar, modem veya ağ bağlantısı TCP/IP bağlantısı kurarak kullanılır (Stauffer, 2002). İkinci protokol Hipermetin Transfer Protokolü (Hypertext Transfer Protocol) (HTTP) ‘dür. Kullanıcı ile sunucu yönteminde, kullanıcılar ile sunucular arasında iyi tanımlanmış bir iletişim sözleşmelerini ortaklaşa kullanmalarından kaynaklanan özel bir ilişki vardır. HTTP web üzerinde iletişimin kurallarını tanımlayan protokoller bütünüdür. İnternet üzerindeki web sitesi adresleri “http” ifadesi ile başlar. Web üzerindeki tüm sunucu ve istemciler çoklu ortam dosyalarını gönderip alabilmek için HTTP dilini konuşmak zorundadır. Web tarayıcılar HTTP dışında diğer İnternet protokollerini de kullanabilirler ve bu sayede e-posta yönetimi, Dosya Aktarım Protokolü (File Transfer Protocol) (FTP) sunucularından bilgi edinme gibi işlemleri de gerçekleştirebilirler (Kılınç, 2008).

Uygulama katmanında bulunan protokollerden biri olan “HTTP” internet üzerinde sunucu (kaynak) ile istemci (alıcı) arasındaki veri akışlarını kurallar ve yöntemler çerçevesinde düzenlemektedir. Tüm Köprü Metni Biçimlendirme Dili (HTML) belgeler, bu protokolle sunucudan çağrılmakta, sunucu yine bu protokole göre düzenlemelerini yapıp istemciye aktarmaktadır. İstemci tarafından sunucudan çağırılan veriler “tarayıcı” adı verilen programlar tarafından anlamlı hale getirilmektedir (Serdaroğlu, 2019).

HTML, web tarayıcıları gibi programlarda görüntülenecek sayfaları oluşturmak ve metni vurgulamak için tasarlanmış bir dizi standart kod ve sözleşmedir. HTML’i kullanarak, web tarayıcısının bu sayfadaki görüntüleri veya diğer multimedya öğelerini (filmler, sesler ve animasyonlar) yüklemesine ve görüntülenmesine neden olan biçimlendirilmiş metin ve komutlar içeren bir web sayfası oluşturulur (Stauffer, 2002). Bir başka protokol ise Tekdüzen Kaynak Bulucu (Uniform Resource Locator) (URL) dir. URL’ler, bir web tarayıcısı üzerinden erişilebilen herhangi bir belgeye veya hizmete adrese göre erişmek için kullanılır. URL, internet aracılığıyla erişilmek istenen servisleri tanımlamak ve o servisleri belirlemek için kullanılan bir web adresidir.

Bir web tarayıcısı, web sayfalarına gitmeyi ve görüntülemeyi sağlayan bir programdır. Eğer web tarayıcı olmasaydı, web görüntülenemezdi. Web tarayıcısının işi oldukça basittir. Bir web sitesi adresine girildiğinde (örneğin www.google.com) veya bir web sayfasındaki bir bağlantıya tıklanır. Web tarayıcısı bu isteği web sunucusu adı verilen uzak bir bilgisayara gönderir. Tarayıcı bu içeriği aldığı anda web sayfasını oluşturur. Teknik olarak bu durum, tarayıcının sunucudan aldığı düz metni, sayfaya gömülü biçimlendirme talimatlarına dayanarak bir görüntüleme belgesine dönüşmüş olur. Bunun sonucunda farklı yazı tipleri, renkler ve bağlantılar içeren grafiksel olarak zengin bir web sayfası görüntülenir (Robbins, 2018).

Teknik olarak bir web sayfası, HTML adı verilen bir bilgisayar dilinde yazılmış özel bir belge türüdür. Web sayfaları web tarayıcıları için yazılmıştır. Web tarayıcıları, İnternet Explorer, Chrome ve Safari gibi programlardır. Web tarayıcılar bir web sayfası belgesinde HTML’i okurlar ve kullanıcıların okuması için mükemmel biçimlendirilmiş sonucu gösterirler (Robbins, 2018). Web sayfaları, internet alanında var olan bir iletişim platformudur. Bundan dolayı web sayfaları kullanıcılar tarafından aktif olarak kullanılabilmesi ve web ara yüz tasarımının etkili bir şekilde olabilmesi için görsel iletişimin kullanılmasını gerektirir. Kullanıcıların ziyaret ettiği web sayfalarının ara yüz tasarımı ve web sayfasının kullanıcılar tarafından kullanılabilirliği oldukça önemlidir (Sivri, 2020).

Web siteleri, çalışma mantığı ve programlama süreçlerine göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar statik web siteleri ve dinamik web siteleridir. Bu ikisinin birbirinden ayıran en temel özellik, kullanıcı etkileşimine izin verip vermemesidir. Statik web siteleri, kullanıcı ile karşılıklı olarak veri alışverişi olmayan ve salt okunur uygulamaları bulunduran, kullanıcıya sadece önceden hazırlanmış ve değiştirilemez bilgileri görüntüleme imkânı veren sitelerdir. Örneğin, kişisel blok sayfaları statik web siteleridir. Dinamik web siteleri ise sunucuya bir çağrı gönderilir gönderilmez oluşturulan sayfalardır. Böylece veriler, web sitelere etkileşimli olarak oluşturulabilir. Kullanıcı girdilerine yanıt verilebilir. Formlar hemen değerlendirilebilir ve bir sonraki sayfanın içeriği gösterilebilir. Uygulama olanakları neredeyse sınırsızdır. Herhangi bir kodlama yapısı bilmeye gerek kalmadan içerik yönetimi gerçekleştirilir. Örneğin, Instagram, Facebook ve Twitter dinamik web siteleridir (Kılınç, 2008).

Web sitesi tasarımında kullanılan kriterlerin hangisinin önemli olduğunun belirlenmesi ve kriterlerin ne derecede önemli olduğunun araştırılması web sitenin kalitesini artırarak daha iyi bir tasarımın elde edilmesini sağlamaktadır. Kriterlerin belirlenerek hangisi üzerine durulacağı veya daha fazla zaman harcanacağı bilinmesi web tasarımının başarısını arttıracaktır. Web sitesinin tasarımında kullanılan 10 ana kriter ve 5 alt kriter olmak üzere toplam 15 kriter literatür taraması sonucunda belirlendikten sonra bu kriterlerin önem dereceleri iki ayrı bakış açısından değerlendirilmiştir. Bu iki bakış açısı web sitesini tasarlayan yazılımcılar ve web sitesini kullanan kullanıcılarıdır. Bu çalışmada web sitesi tasarımındaki kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yönteminden olan Genişletilmiş Bulanık FUCOM (GB-FUCOM) kullanılmıştır.

Literatürde var olan Bulanık FUCOM (B-FUCOM) yaklaşımı geliştirilerek başlangıç sıralamalarını değiştirmeden geleneksel FUCOM da olduğu gibi aynı sıralamada ağırlık belirlenmesi stratejisi izlenmiştir. Çalışmada bu yönüyle metod anlamında literatüre bir katkı sağlanmıştır. Aynı zamanda web tasarımında bu kriterleri belirleyerek önem sıralarını ve ağırlıklarını belirleyen bir çalışmaya literatürde rastlanmamış olup çalışma bu yönüyle de yenilik içermektedir. Çalışmanın web sitesi tasarlayan ve kullanan kişiler için bir öngörü sağlayacağı ve web sitelerinin kalitesini arttıracığı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde web ve web sitesi tasarımı konularına ayrıntılı bir şekilde değinilmiş ve web sitesi oluşum aşamaları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Üçüncü bölümde ÇKKV yönteminden olan B-FUCOM açıklanmış ve GB-FUCOM verilmiştir. Dördüncü bölümde web sitesi oluştururken kullanılan kriterler GB-FUCOM ile sıralanarak sonuçlar verilmiştir. Son bölümde ise, sonuç ve tartışma olup bulunan sonuçlar geleneksel FUCOM ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2. Web Sitesi Tasarım Aşamaları

Schaupp ve diğ. (2006) başarılı bir web sitesi oluşturmak için yaptığı çalışmada, tasarımın iyi tanımlanması ve organizasyonun hedeflerine uygun olmasının önemini vurgulamıştır. Web sitesi başarısının ölçüsünün de memnuniyet olduğunu savunmuştur. Bu sebeple çalışmada, web sitesi memnuniyetini etkileyen dört farklı değişkeni araştırmıştır. Araştırma sonucunda web sitelerinin memnuniyet ve genel başarısının belirleyicilerinin hem içeriğe bağlı hem de amaca özgü olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmaya göre, web sitesi kullanımındaki artış, web sitesi kullanımına ilişkin bilgiler içeren kayıtlarda da benzer bir artışa sebep olmuştur. Web siteleri arasında artan bir rekabet vardır ve bu rekabetle beraber, kullanım verilerine veri madenciliği metodolojileri uygulayarak anlamlı bilgileri keşfetmek önemli bir durum olmuştur. Tüker (2018) çalışmasında, web kullanımına ilişkin kayıtların farklı karakteristik yapılarının paralel Fp-growth algoritmasının performansına olan etkilerini incelemiştir. Uygulamada çeşitli iş modellerini temsil etmek üzere farklı özelliklere sahip beş farklı veri seti kullanılmıştır. Birçok kuruluş için kurumsal web sitesi, organizasyonlar arası ve organizasyonlar arası bilgi alışverişinin yanı sıra satış ve tanıtım faaliyetleri için birincil araç olarak ortaya çıkmıştır. Web sitelerinin trafiği ne ölçüde çekebilecekleri ve tutabilecekleri açısından performansı, üzerinde işlem gören iş hacmini büyük ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Çalışmada, web sitesi performansını etkileyen faktörlerin belirlenmesi, web sitesi geliştirme çabalarını belirli tasarım parametrelerine doğru odaklamak ve web sitesi içindeki ilgili performansı etkileyen özellikleri dahil etmek için gerekli olduğu vurgulanmıştır. Tarafdar ve Zhang (2008) çalışmasında, Web sitelerinin performansına ilişkin ampirik bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Büyüközkan ve Güler (2016) lojistik firma web sitelerinin kalite performanslarının ölçümü probleminde bir çözüm önermişlerdir ve web sitelerinin kalitesini daha etkin bir şekilde değerlendirmek için ÇKKV yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmadaki değerlendirme kriter ağırlıkları ÇKKV yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) tekniğinin bulanık uygulaması ile hesaplanmıştır. Son olarak Türk lojistik sektöründe öncü sayılan 15 firmanın web sitelerinin performansları bulanık TOPSIS tekniği uygulanarak iyiden kötüye doğru sıralanmıştır. Yalçın ve Yağlı (2020) Türkiye’de faaliyet gösteren altı alternatif teknoloji mağazasının internet sitesini değerlendirmişlerdir. Bu doğrultuda hem kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde hem de alternatiflerin değerlendirilmesinde ÇKKV yöntemlerinden biri olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) kullanılmıştır. Ayrıca, kriter ağırlıklarındaki değişimlerin internet sitelerinin sıralamasına etkilerini araştırmak amacıyla duyarlılık analizi yapmıştır. Özbek ve Engür (2017) lojistik alanında faaliyet gösteren firmaların web sitelerinin kalitesini ÇKKV yöntemleri ile değerlendirmişlerdir. Web sitelerinin değerlendirilmesi 11 kriter temelinde ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemi ile yapılmıştır.

ÇKKV biri olan ve kriter ağırlıkları belirleme de kullanılan FUCOM yöntemi ilk olarak 2018 yılında Pamučar ve diğ. tarafından ortaya atılmıştır. Önerilen FUCOM modeli, ağırlık katsayılarının optimal değerlerini karşılaması gereken iki kısıtlama grubunun tanımını ifade eder. Bu kısıtlama gruplarından olan ilk grup, kriterlerinin ağırlık katsayılarının ilişkilerinin kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerine eşit olması koşuludur. İkinci grup ise, matematiksel geçişlilik şartlarını sağlaması durumudur. Kısıtlamaları tanımladıktan ve modeli çözdükten sonra, optimum ağırlık değerlerine ek olarak, tam tutarlılıktan sapma (TTS) elde edilir. TTS derecesi ise, elde edilen ağırlık katsayılarının kriterlerin tahmini karşılaştırmalı önceliklerinden sapma değeridir. Ayrıca, TTS ayrıca elde edilen kriter ağırlıklarının güvenilirlik onayıdır. Önerilen modeli göstermek ve performansını değerlendirmek için, literatürde birkaç örnek üzerinde test etmiştir. FUCOM’ un BWM (Best Worst Method) ve AHP’ ye göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya çıkarmıştır (Pamuçar ve diğ., 2018). Ecer (2021) çalışmasında ise, rüzgâr çiftlikleri için uygun yer tespitinde kullanılan faktörleri, ÇKKV yöntemlerinden olan FUCOM ile analiz etmiştir. Çalışmadaki değerlendirme modeli, üç temel boyutu ve on iki faktörü ele almıştır. Bulgular, bir rüzgâr çiftliği sahasının tercih edilmesinin büyük ölçüde rüzgâr potansiyeline ve yerleşim yerlerine olan uzaklığına bağlı

olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca önerilen yöntemin tutarlılığını ve kullanılabilirliğini göstermek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Nunić (2018) çalışmasında, çok kriterli bir model kullanarak PVC marangozluk üreticilerinin değerlendirilmesini ve seçimini hesaplamıştır. Beş potansiyel üreticiyi yedi kritere göre değerlendirmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için FUCOM kullanılmış ve PVC üreticisinin değerlendirilmesi ve seçilmesi için çok öz nitelikli sınır yaklaşım alanı karşılaştırması olan MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemini tercih etmiştir. Prentkovskis ve diğ. (2018) lojistik hizmet kalitesini iyileştirmek için yeni bir metodoloji geliştirmişlerdir. Çalışma toplam 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, kalite boyut sıralamasını belirlemek için Delphi yöntemi uygulanmıştır. İkinci aşamada, kalite boyutlarının ağırlık katsayılarını belirlemek için FUCOM kullanılmıştır. Üçüncü aşamada, kalite seviyesini belirlemek için SERVQUAL (hizmet kalitesi) modeli kullanılmıştır. Geliştirilen yeni metodoloji bir yandan çok sayıda müşterinin kalite boyutlarının değerlendirilmesini ve diğer yandan uzmanların değerlendirmelerini dikkate almaktadır. Bozanic ve diğ. (2019) Bailey köprüsünün inşası için en uygun yerin seçilmesi için bir model geliştirmişlerdir. Seçilen kriterlerin ağırlık katsayılarının belirlenmesi için FUCOM ve bu kriterlere bağlı olarak alternatiflerin değerlendirilmesi için bulanık MABAC kullanılmışlardır. Durmić ve diğ. (2020), kireç üretimi için şirkette sürdürülebilir bir tedarikçinin değerlendirilmesi ve tedarikçi seçimi için en önemli kriterleri tanımlamayı amaçlamıştır. Bu süreçte karar verme amacıyla, iki düzeyde gruplandırılmış kriterlerin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi için bir uzman ekip oluşturmuştur. Kriterlerin önemini belirlemek için FUCOM uygulamasıdır.

Pamucar ve diğ., (2020) bulanık tam tutarlılık yöntemi B-FUCOM olarak adlandırılan yeni bir öznel ağırlıklandırma yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntemin en belirgin özelliği, çok az çift karşılaştırma ile en doğru ağırlık değerlerini elde etmektir. Bu model sayesinde, sonuçların tutarlılığı ve güvenilirliği artarken, işlem süresi ve çabası azalmıştır. Simić ve diğ. (2020) belirli durumları önceden tahmin edebilmek ve potansiyel olarak ulaşım sistemini yönetebilmek için risk durumlarının ve trafik güvenliğinin zamanında yönetilmesi için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında CRITIC (The CRiteria Importance Through Criteria Correlation), B-FUCOM, DEA (Data Envelopment Analysis-Veri Zarflama Analizi) ve Bulanık MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to the COMPromise Solution-Uzlaşma Çözümüne Göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama) yöntemlerini kullanmışlardır. Ayadi ve diğ. (2021) ise çalışmalarında, bulanık ÇKKV yöntemlerini kullanarak kompozit göstergeler oluşturmak için telafi edici ve kısmen telafi edici bir yaklaşım sunmaktadırlar. İlk durumda, kriterlerin ve alt kriterlerin ağırlığını hesaplamak için B-FUCOM kullanılmıştır. İkinci durumda, bir lojistik platformunun yerini sıralamak için bulanık çok öz nitelikli ideal-gerçek karşılaştırmalı analiz (B-MAIRCA) ve zenginleştirme değerlendirilmesi için bulanık tercih sıralaması organizasyon yöntemi (B-PROMETHEE) olmak üzere iki toplama yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın yeniliği, sınırlı sürdürülebilirliğin ve zayıf sürdürülebilirliğin bir lojistik platformun konumu üzerindeki etkisini incelemek olmuştur. Demir (2021) e-devlet web sitelerini kullanılabilirlik açısından değerlendirmek için bir model geliştirmek amaçlanmıştır, çalışmasında bulanık kümeler teorisine dayalı olarak B-FUCOM kriterleri ağırlıklandırmak için kullanılmıştır. Pamucar ve diğ. (2021) sürdürülebilir ulaşım için çeşitli alternatif yakıtlı araçlara öncelik vermek için ÇKKV yöntemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmalarında B-FUCOM ve nörosifik bulanık MARCOS yöntemlerinden yararlanarak karbon emisyonlarını azaltmak için etkili bir yaklaşım ileri sürmüşlerdir. Khan ve diğ. (2021) Pakistan'ın mevcut Korona virüsle mücadelede sağlık hizmeti sistemini daha esnek hale getirmeye yardımcı olacak kapsamlı ve daha sağlam bir modelin sunulması hedeflenmiştir. Bu amaçla FUCOM ve bulanık Kalite Fonksiyonu Göçerimi yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Büyükaslan ve Ecer (2021) kripto para birimlerine yatırım yapan sürücülerin önceliklerini belirlemek için Bulanık-Bonferroni FUCOM modeli geliştirmişlerdir.

Web sitesi tasarlamak isteyen yazılımcıların aşağıdaki aşamaların izlenmesi uygun olacaktır.

Web Sitesinin Amacının Belirlenmesi: Tasarlanacak olan web sitesinin amacı, müşteri tarafından ve kullanacak kurumun amacına uygun şekilde belirlenmelidir. Web sitesinin amacı belirlenmeden tasarım ve kodlama yani yazılım çalışmalarına başlanmamalıdır. Çünkü amacına uygun görsellik ve kodlama farklılıkları olmakta ve tasarım maliyeti değişmektedir.

Hazırlık Adımları: Bu aşamada, web sitesinin hedefine, konseptine ve türüne karar verilir. Hazırlık aşaması boyunca web tasarımcılarının yönlendirmesi ve önerileri müşteriler tarafından dikkate alınır. Aşağıdaki 5 alt aşamadan oluşmaktadır.

- Faaliyet Alanı: Web sitesinin amacı belirlenmelidir.
- İçerik: Web sitesi içeriğini oluşturan nesnelere ve sitede kullanılan menüler belirlenmelidir.
- Kurumsal Kimlik Çalışmaları: Web sitesinin görsel tasarımı ve renk tonları belirlenir.
- Renk Tonları: Görsel tasarıma yardımcı olmak amacıyla renk tonu belirlenmelidir.
- Rakip Siteler: Web sitesinin görsel ve dinamik yapısını belirlemek için örnek rakip siteler incelenmelidir (Sarısakal ve Uysal, 2001).

Adının Belirlenmesi: Web sitesinin isim hakkı yani domain bilgisi internetteki adresidir. Adlandırma bilgisi, tekil bir sunucu tarafından yürütülmek yerine internet üzerinde yerleştirilmiş geniş bir sunucu kümesi boyunca dağılmaktadır. URL adresi, internetten siteye giriş yapılan adrestir. Bu adres belirlenirken, hazırlık aşamasındaki Web sitesinin amacı ve tasarımı önem taşımaktadır. Sitenin amacını anlatacak, ismi kolay söylenecek adresler seçmek gerekir (Serdaroğlu, 2019).

Görsel Tasarımın Oluşturulması: Web sitesinin hedefine, konseptine ve türüne uygun olarak müşteri tavsiye ve beklentileri doğrultusunda görsel tasarımcı tarafından hazırlanmaktadır. Şirketin kurumsal kimlik çalışmaları ve müşterinin belirttiği rakip web siteleri görsel tasarımcının işini kolaylaştırmaktadır. Görsel tasarımcı bu bilgilere göre kendi hayal dünyasını kullanarak web tasarımı oluşturacaktır. Tasarımı oluşturduktan sonra müşteriye göstermesi ve müşteri onayı alması gerekmektedir (Armutlu ve diğ., 2012).

Dinamik Yapının Belirlenmesi: Web sitesinin çeşidine ve içeriğine uygun olarak dinamik yapı belirlenmelidir. Web sitesinin içeriği için kullanılacak olan materyalin yoğunluğuna göre dinamik yapının taslağı ve etrafında kurulması planlanan modüller hazırlanır. Dinamik yapı belirlenirken fazla modüllerden kaçınılmak gerekir. Dinamik yapılar belirlendikten sonra web sitesi yazılımına başlamadan önce müşteri ile görüşülüp onay alınmalıdır. Bu aşamada web sitesinin programlama dilleri, veri tabanı alt yapısı, veri tabanında ne gibi bilgiler toplanacağı gibi bilgiler sağlanır (Şarlak, 2006).

Görsel Tasarımın ve Dinamik Yapının Onaylanması: Dinamik yapının kodlamasına geçilmeden önce müşteri onayı alınmalıdır. Eğer müşteri onayı alınmazsa sonradan yapılacak değişiklikler fazladan efor, zaman ve maliyete sebep olacaktır.

HTML ve Dinamik Yapının Oluşturulması: Web sitesinin dinamik yapısı müşteri tarafından onaylandıktan sonra kodlamaya hazır hale gelmektedir. Her programlama dilinin kendine özel karakteristik özellikleri mevcuttur. Programlama dilini seçerken dinamik yapının özelliklerini karşılayacak dil seçilmelidir. Kod yapısıyla beraber veri tabanı mimarisinin de belirlenmesi gerekmektedir. Veri tabanı mimarisinde tablo yapısı, tablo oluşturma ve hangi alanlara ihtiyaç duyulduğu belirlenmelidir. HTML yapısının oluşturulması ise, hazırlanan görsel ara yüzün temel web görünümünü sağlamak amacıyla HTML ile kodlama yapılmasıdır. Bu aşamada web sitesinin internetteki ilk görüntüsü oluşmaya başlayacaktır. Sayfa içerisine içerikler, görseller ve hareketli görseller yerleştirilir. HTML yapının müşteri tarafından onaylanması gerekmektedir (Armutlu ve diğ., 2012).

Sitenin Test Edilmesi ve Güvenlik: Web sitesinin HTML altyapısı, kodlaması yapısı ve veri tabanı mimarisi oluşturulduktan sonra kullanıma hazır hale gelmiştir. Sitenin güvenliğini korumak bu aşamada oldukça önemlidir. Web sitesini kodlayan yazılımcının gözden kaçırdığı açıklar olmasına karşın birkaç yazılımcının daha kodu gözden geçirmesi gerekmektedir. (Şarlak, 2006).

Sitenin Teslim Edilmesi: Web sitesi hazır olduktan sonra ve müşteri onayından geçtikten sonra müşteriye teslim edilmesi gerekmektedir. Bu aşama da müşterinin isteyeceği yeni isteklere karşın onayları tek tek almakta fayda olacaktır.

Teknik Destek ve Bakım Anlaşmaları: Web sitesi sorunsuz teslim edildikten sonra, bakım anlaşmaları için hazır hale getirilir. İlerde oluşabilecek sorunlara ve yeni isteklere karşı bakım anlaşması koşullarının siteye uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Bunların dışında bakım anlaşmasında, anlaşmanın süresi ve neleri kapsayacağı belirtilmelidir (Sarısakal ve Uysal, 2001).

Web sitesi tasarım aşamalarını uygularken belli bir standartta ve döngüde işlemleri gerçekleştirmek gerekmektedir. Aşağıda bu döngüler daha ayrıntılı şekilde anlatılmıştır;

Web sitesi geliştirme döngüsü, web tasarımı yapan kişi veya kişileri yüksek kaliteli bir çözüm oluşturmak için doğru yönlendiren bir metodoloji veya standarttır. Bunun yanı sıra web sitesini tamamlamak için yapılması gereken işlemleri ana hatlarıyla ifade eder. Profesyonel düzeyde web sitesi oluşturmayı sağlayabilecek en önemli süreçler aşağıda verilmiştir:

Araştırma ve Keşif: Web geliştirme sürecinin bu aşamasında, proje tanımındaki ilk araştırmaları ve bazı genel fikirlerin netliği için önem taşımaktadır. Bunlar, birçok soru ve açıklamanın yapıldığı bir proje keşfi şeklinde olabilir. Müşterinin istekleri bu aşamada iyi anlaşılmalıdır. Araştırma ve keşif aşamasında, proje üzerindeki etkilerine göre aşağıdaki faktörleri dikkate almak önem taşımaktadır.

- Amaç: Web sitesi ne işe yarayacak, bilgi mi verecek, ürün mü satacak yoksa hizmet mi sağlayacak gibi sorulara cevap verilen kısımdır.
- Hedef Kitle: Web sitesi için tasarım ve stil seçimini belirleyen kısımdır.
- İçerik: Web sitesi tarafından hedef kitesine ne tür bilgiler veya hizmetler sağlanacaktır sorularına cevap verilen kısımdır.

Planlama: Teknoloji yığını ve yazılım geliştirme metodolojisini seçme, çıktıları tanımlama ve projeyi tamamlamak için zaman çizelgesini ve kaynakları tahmin etme aşamasıdır. Web sitesinin içerik yapısı ve site haritasını oluşturma, taslağı oluşturma ve kullanıcı ara yüzü ve kullanıcı deneyimi bu aşama da yer alır. Web sitesinin yapısının düzenlenmesi, önemlerine göre kaç sayfanın ve işlevin bağlanacağını, çıkan ilk sürümle beraber hangi içerik ve işlevselliğin sunulması gerektiğini içerir.

Tasarım: Bir web sitesi haritası oluşturulduktan sonra veya taslağı oluşturulduktan sonra tasarım aşamasına geçilir. Bu aşamada, müşterinin onayı ve projenin ihtiyaçları doğrultusunda, kullanıcı ara yüz tasarımcısının çalışmalarına başlar. Taslaklar, renkli grafiklere, animasyonlara, düğmelere, menülere ve daha fazlasına bu aşamada dönüştürülür. Hedef kitle, tasarım aşamasında dikkate alınan temel bir faktördür. Tasarım, bir web sitesinin ne kadar benzersiz olabileceğini gösteren, keyifli bir aşamadır. Kullanıcıya iyi bir izlenim oluşturmak için tasarımın oldukça benzersiz olması gerekmektedir.

Uygulama: Tasarım aşaması tüm paydaşlar tarafından onaylandıktan sonra, bir sonraki aşama uygulamadır. Burada web sitesi içeriği yazılmaktadır.

İçerik Yazma: Web sitesinin kullanıcı ara yüzü ile arasındaki iletişimin özüdür. Burada, web sitesine şirket bilgileri, ürün veya hizmet bilgileri, yaratıcı metinler ve başlıklar bu aşamada eklenir.

Ön Yüz Geliştirme: Kullanıcılar ile etkileşime girmesi için web sitesinin yazılımcı tarafından geliştirildiği aşamadır. İlk aşamalarda yapılan tasarımlar özel animasyonlara ve efektlere dönüştürülür. Fonksiyonlar daha sonra teknoloji ve araç seçimine göre entegre edilir. Yazılım geliştiriciler, cihazdan bağımsız olarak sitenin duyarlı kullanılmasını sağlar.

Arka Yüz Geliştirme: Ön yüz geliştirme diğer yüzüdür. Arka yüz geliştirme, kullanıcı ve sunucu tarafının etkileşiminin olduğu aşamadır. Burada yazılan kod, sunucu tarafı, veri tabanı, iş mantığının entegrasyonu gibi web sitesinin amacına bağlı olarak yazılmaktadır.

Test ve Dağıtım: Web sitesi geliştirildikten sonra ve bir sunucuya dağıtmadan hemen önce, testler yapılmalıdır. Bu testler hataların giderildiğini kanıtlar. Kalite güvence ekibi bu aşamada işlevsellik, kullanılabilirlik, uyumluluk, performans gibi testler yapar. Testler sonucunda web sitesi sorunsuz çalışmalıdır. Yazılım geliştirme ekibi tüm komut dosyalarını test eder ve sitenin tüm cihazlarda ve platformlarda sorunsuz şekilde yüklenmesi ve görüntülenmesini sağlar. Buradaki amaç, web sitesinin piyasaya hazır olduğunu ve sürülebileceğini gösterir. Kapsamlı testler, web sitesini yükseltmek için yapılabilecek gelecekteki iyileştirmeleri açığa çıkarır. Son olarak, web sitesinin kullanımına bağlı olarak, yazılım geliştirme ekibinin bazı ayar ayrıntılarını yapması gerekmektedir. Bu durum, web sitesinin işlevselliğini ve performansını optimize etmektir. Web sitesi kalite güvence ekibinin onayından geçtiyse, bir sunucuya dağıtılır.

Dağıtım Sonrası ve Bakım: Web sitesi bakımı, genel güncellemeler ve yeni özellikler eklemek için istenebilir. Bu durum, web sitesinin son kullanıcılarından geri bildirim toplayarak kolaylaşmaktadır. Bakım aşamasının amacı, projeyi sürekli olarak desteklemek ve geliştirmektir (Evans, 2021).

Web sitesi geliştirme döngüsü birbirini takip eden süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreçler kendi içerisinde sıralıdır ve genellikle birbirini takip ederler. Bir web sitesinin aşamalarının tamamlanabilmesi için bu döngünün birkaç kez tekrar etmesi gerekir.

3. Bulanık Ortamda Kriterin Önem Derecelerinin FUCOM İle Belirlenmesi

3.1. Bulanık Mantık ve Genel Tanımlar

Bulanık küme teorisi, ilk olarak 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya çıkmıştır. Bu teori dilsel değişkenlere üyelik dereceleri atar ve bunları bulanık sayılarla ifade edebilme olanağı sağlar. Bulanık sayıların yamuksal, Üçgensel veya Gauss vb. gibi çeşitli şekilleri olmasına rağmen, Üçgensel bulanık sayılar (ÜBS) literatürde araştırmacılar tarafından en çok tercih edilendir. Bulanık kümelerin ve ÜBS' ların ana hatları kısaca aşağıda verilmiştir (Pamucar ve Ecer, 2020).

Tanım 1: Bulanık sayı, özel bir bulanık kümedir. Bulanık küme $F = \{(x, \mu_F(x)), x \in \mathcal{R}\}$, her x gerçel sayısını $\mu_F(x)$ üyelik fonksiyonu ile $[0,1]$ aralığına aktarır ve $\mathcal{R} : -\infty \leq x \leq \infty$ ifade etmektedir.

Tanım 2: Bir ÜBS, aynı hiyerarşideki her bir eleman çiftinin nihai gücünü ifade eder ve $T = (l, m, u)$, $l \leq m \leq u$ ile gösterilir. Burada l, m, u parametreleri, bulanık bir olayda sırasıyla alt sınır değerini, merkezi ve üst sınır değerini gösterir. T bulanık sayının Üçgensel üyelik fonksiyonu Denklem 1'de gösterilmiştir.

$$\mu_T(x) = \begin{cases} 0 & , x < l \\ (x-l)/(m-l) & , l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & , m \leq x \leq u \\ 0 & , x > u \end{cases} \quad (1)$$

$T_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $T_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki ÜBS olmak üzere Denklem (2-5) ile, bu iki bulanık sayının, temel aritmetiksel işlemleri verilmiştir.

$$\text{Toplama: } (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

$$\text{Çarpma: } (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (3)$$

$$\text{Bölme: } (l_1, m_1, u_1) / (l_2, m_2, u_2) \cong \left(\frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2} \right) \quad l_i > 0, m_i > 0, u_i > 0 \quad (4)$$

$$\text{Ters işlem: } (l_i, m_i, u_i)^{-1} \approx \left(\frac{1}{u_i}, \frac{1}{m_i}, \frac{1}{l_i} \right) \quad l_i > 0, m_i > 0, u_i > 0 \quad (5)$$

Tanım 3: $T_j = (l_j, m_j, u_j)$ $j = 1, 2, \dots, n$ bulanık sayısının kesin sayıya dönüştürülmesi için kullanılan durulaştırma eşitliği Denklem (6) ile verilmiştir.

$$D(T_j) = \frac{l_j + 4m_j + u_j}{6}$$

3.2. Genişletilmiş Bulanık FUCOM: GB- FUCOM

Bir ÇKKV metodunda, n değerlendirme kriterinin ağırlık katsayıları olan w_j , $j = 1, 2, \dots, n$ ile gösterilen değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi gerektiği varsayılır. Kriterlerin ikili karşılaştırmasına dayalı ağırlıkların belirlenmesine yönelik öznel modeller, karar vericilerin i . kriterin j . kriter üzerindeki etki derecesini belirlemesine gerektirir. Elde edilen etki derecesinin karşılaştırma değerleri doğru ölçümlere değil, öznel tahminlere dayandığından, mevcut belirsizliklerin bulanık sayılarla sunulması beklenmektedir.

ÇKKV modellerinde bulanık sayıların uygulanmasında en sık dilsel ölçekler kullanılmaktadır. Bu nedenle, B-FUCOM'da uzman tercihlerini sunmak için üçgensel bulanık sayılarla tanımlanan bulanık bir dil ölçeği kullanılmıştır ve bu ölçek Tablo 1 ile verilmiştir. Çok kriterli bir metot olduğu için, B-FUCOM'da alternatiflerin ağırlık katsayılarını ve dolayısıyla son sırayı ve gözlemlenen alternatifler setinden optimum olanı seçmek için de kullanılabilen vurgulanmalıdır (Pamucar ve Ecer, 2020).

Tablo1: Bulanık Dil Ölçeği

Bulanık Ölçeğin Önem Yoğunluğu	Dilsel Ölçeğin Tanımı	ÜBS
$\tilde{1}$	Eşit önemli (EÖ)	(1,1,1)
$\tilde{2}$	Zayıf Önemli (ZÖ)	(2/3,1,3/2)
$\tilde{3}$	Oldukça Önemli (OÖ)	(3/2,2,5/2)
$\tilde{4}$	Çok Önemli (ÇÖ)	(5/2,3,7/2)
$\tilde{5}$	Kesin Önemli (KÖ)	(7/2,4,9/2)

GB-FUCOM algoritması FUCOM algoritmasının bir genişletilmesi olup dört adımdan oluşmaktadır.

Adım 1: Karar kriterlerini belirle.

Alternatifleri değerlendirmek için ilk adım, bir dizi değerlendirme kriteri tanımlamaktır. Değerlendirme kriterleri $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ olarak belirlenir.

Adım 2: Karar kriterlerini sırala.

İki veya daha fazla kriter varsa aynı sıralamada, " $>$ " yerine kriterler arasında " $=$ " işareti yerleştirilir ve kriterler,

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

biçiminde sıralanır burada k : gözlemlenen kriterin sıra numarasını göstermektedir.

Adım 3: ÜBS' ları kullanarak kriterler karşılaştırmalarını yap.

Kriterler, Tablo 1 ile verilen ölçekteki bulanık dilsel ifadeler kullanılarak birbirleriyle karşılaştırılır. Karşılaştırma en önemli kritere göre yapılır. Böylece, Adım 2'de sıralanan tüm kriterler için bulanık kriter önem dereceleri olan $\tilde{\omega}_{C_{j(k)}} (j = 1, 2, \dots, n)$ 'lar elde edilir. Birinci sıradaki kriter kendisiyle karşılaştırıldığından önem derecesi $\tilde{\omega}_{C_{j(k)}} \leq E\tilde{O}$ olarak alınır ve kalan kriterlerin $n - 1$ karşılaştırması yapılır. Kriterlerin tanımlanmış önemine dayanarak, $\tilde{\varphi}_{k/(k+1)}$ bulanık karşılaştırmalı önemi Denklem (8) ile belirlenir.

$$\tilde{\varphi}_{k/(k+1)} = \frac{\tilde{\omega}_{C_{j(k+1)}}}{\tilde{\omega}_{C_{j(k)}}} = \frac{(\omega_{j(k+1)}^l, \omega_{j(k+1)}^m, \omega_{j(k+1)}^u)}{(\omega_{j(k)}^u, \omega_{j(k)}^m, \omega_{j(k)}^l)} \quad (8)$$

Böylece, değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı önemi olan Φ , Denklem (9) ile verilen bulanık vektör olarak elde edilir.

$$\tilde{\Phi} = (\tilde{\varphi}_{1/2}, \tilde{\varphi}_{2/3}, \dots, \tilde{\varphi}_{k/(k+1)}) \quad (9)$$

Adım 4: Kriterlerin bulanık ağırlık katsayılarının nihai değerlerini hesapla.

Kriterlerin bulanık ağırlık katsayılarının nihai değerleri olan $(\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)^T$ hesaplanır. Bulanık ağırlık katsayılarının nihai değerleri iki koşulu karşılamalıdır:

Koşul 1: Gözlemlenen kriterlerin ($C_{j(k)}$ ve $C_{j(k+1)}$) ağırlık katsayılarının oranı, Adım 2'de tanımlanan $\tilde{\varphi}_{k/(k+1)}$ bulanık karşılaştırmalı anlamlılıklarına eşit olmalıdır yani Denklem (10) sağlanmalıdır.

$$\tilde{\varphi}_{k/(k+1)} = \frac{\tilde{w}_k}{\tilde{w}_{k+1}} \quad (10)$$

Koşul 2: Bulanık ağırlık katsayılarının nihai değerleri, matematiksel geçişlilik koşulunu sağlaması gerekmektedir yani,

$$\tilde{\varphi}_{k/k+1} \otimes \tilde{\varphi}_{(k+1)/(k+2)} = \tilde{\varphi}_{k/(k+2)}$$

Burada $\tilde{\varphi}_{k/(k+2)} = \frac{\tilde{w}_k}{\tilde{w}_{k+1}} \otimes \frac{\tilde{w}_{k+1}}{\tilde{w}_{k+2}}$ ile elde edilir. Böylece, değerlendirme kriterlerinin bulanık ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin bulunmasını sağlayan başka bir koşul Denklem (11) ile elde edilir.

$$\frac{\tilde{w}_k}{\tilde{w}_{k+2}} = \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} \otimes \tilde{\varphi}_{(k+1)/(k+2)} \quad (11)$$

TTS'ya göre ağırlık katsayıları arasındaki geçişlilik yalnızca $\chi = 0$ olduğunda sağlanır. Yani,

$$\frac{\tilde{w}_k}{\tilde{w}_{k+1}} - \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} = 0 \text{ ve } \frac{\tilde{w}_k}{\tilde{w}_{k+1}} - \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} \otimes \tilde{\varphi}_{(k+1)/(k+2)} = 0$$

olacaktır. Bu koşulları yerine getirmek için, $(\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)^T$ kriterlerin bulanık ağırlık katsayılarının

$\left| \frac{\tilde{w}_k}{\tilde{w}_{k+1}} - \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} \right| \leq \chi$ ve $\left| \frac{\tilde{w}_k}{\tilde{w}_{k+1}} - \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} \otimes \tilde{\varphi}_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi$ koşullarını sağlanması, χ 'in en

küçüklmesi ile olanaklı hale gelir. Tüm bu koşullar altında $(\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)^T$ bulanık ağırlık katsayıları Denklem (12) ile verilen doğrusal olmayan modelin çözümü ile elde edilebilir. Burada GB-FUCOM algoritmasına ek olarak $w_k^l + 4 * w_k^m + w_k^u \geq w_{k+1}^l + 4 * w_{k+1}^m + w_{k+1}^u \quad \forall_j$ kısıtı modele eklenmiştir. Bu kısıt sayesinde orjinal FUCOM'da olduğu gibi başlangıç sıralaması değişmez bu sıralamaya göre kriterlerin bulanık ağırlık katsayıları elde edilir. Bu yeni model GB-FUCOM olarak adlandırılmıştır.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \chi, \\ & \left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{\tilde{w}_k}{\tilde{w}_{k+1}} - \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} \right| \leq \chi, \quad \forall_j \\ \left| \frac{\tilde{w}_k}{\tilde{w}_{(k+2)}} - \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} \otimes \tilde{\varphi}_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \quad \forall_j \\ \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j = 1, \quad \forall_j \\ w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \\ w_k^l + 4 * w_k^m + w_k^u \geq w_{k+1}^l + 4 * w_{k+1}^m + w_{k+1}^u \quad \forall_j \\ w_j^l \geq 0, \quad \forall_j \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \end{aligned} \quad (12)$$

Burada $\tilde{w}_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)$ ve $\tilde{\varphi}_{k/k+1} = (\varphi_{k/(k+1)}^l, \varphi_{k/(k+1)}^m, \varphi_{k/(k+1)}^u)$ olacaktır.

TTS'yi sağlamak için gerekli koşulları kullanarak Denklem (12)'deki model Denklem (13)'teki doğrusal modele dönüştürülebilir.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \chi, \\ & \left\{ \begin{array}{l} \left| \tilde{w}_k - \tilde{w}_{k+1} \otimes \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} \right| \leq \chi, \quad \forall_j \\ \left| \tilde{w}_k - \tilde{w}_{k+2} \otimes \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} \otimes \tilde{\varphi}_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \quad \forall_j \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, \quad \forall_j \\ w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \\ w_k^l + 4 * w_k^m + w_k^u \geq w_{k+1}^l + 4 * w_{k+1}^m + w_{k+1}^u \quad \forall_j \\ w_j^l \geq 0, \quad \forall_j \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \end{aligned} \quad (13)$$

Burada $\tilde{w}_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)$ ve $\tilde{\varphi}_{k/k+1} = (\varphi_{k/(k+1)}^l, \varphi_{k/(k+1)}^m, \varphi_{k/(k+1)}^u)$ olacaktır.

4. Web Sitesi Tasarım Aşamasındaki Kriterlerin GB-FUCOM ile Belirlenmesi

Bu bölümde Bölüm 2'de verilen web sitesi tasarım aşamaları, kriterler olarak alınarak Bölüm 3.2'de verilen GB-FUCOM ile bulanık ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında bu fikirlerin kullanıcılar ve yazılımcılar açısından değişkenlik göstereceği düşünülerek iki farklı bakış açısına göre incelemeler yapılmıştır. Buna göre belirlenen alt kriterler ve ana kriterler Tablo 2 ile verilmiştir.

Tablo 2. Ana ve Alt Kriterler

Ana Kriterler	Açıklama	Alt Kriterler
C_1	Web Sitesinin Hedefi	-
C_2	Hazırlık Adımları	C_{21} : Faaliyet Alanı C_{22} : İçerik C_{23} : Kurumsal Kimlik Çalışmaları C_{24} : Renk Tonları C_{25} : Rakip Siteler
C_3	Adının Belirlenmesi	-
C_4	Görsel Tasarım	-
C_5	Dinamik Yapının Belirlenmesi	-
C_6	Dinamik Yapı ve Görsel Tasarım	-
C_7	HTML ve Dinamik Yapının Oluşturulması	-
C_8	Test Edilmesi ve Güvenlik	-

C_9	Teslim Edilmesi	-
C_{10}	Teknik Destek ve Bakım Anlaşmaları	-

Tasarım aşamasında kullanılan kriterler ve alt kriterler için öncelikle yazılımcılar açısından değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme işlemi için web tasarımı konusunda deneyimli ve sektöründe lider firmalarda çalışan yazılımcılar seçilmiştir Tablo 2 ile verilen ana ve alt kriteri 1-9 skalası ele alarak 1 en önemli 9 en önemsiz olmak üzere sıralama numarası vermeleri istenmiştir. Bu 5 yazılımcının görüşlerinin aritmetik ortalaması alınarak ana kriterler ve alt kriterler en önemliden en önemsizlere göre sıralanmış ve sırasıyla Denklem (14) ve Denklem (15) ile verilmiştir.

$$C_7 > C_1 > C_2 = C_5 > C_8 > C_9 > C_{10} > C_6 > C_4 > C_3 \quad (14)$$

$$C_{22} > C_{21} > C_{25} > C_{23} > C_{24} \quad (15)$$

Bir sonraki adımda, yazılımcıların tercihlerine dayanarak, sıralanan kriterlerin karşılaştırmalı öneminin dilsel değişkenleri belirlenmiştir Tablo 1 ile verilen bulanık dilsel ölççek uygulanarak, dilsel değişkenler ÜBS ile ifade edilerek Tablo 3 ile sunulmuştur.

Tablo 3: Yazılımcılar Açısından Ana ve Alt Kriterlerin Dilsel Değerlendirmeleri ve ÜBS

Ana Kriterler	Dilsel Değişkenler	ÜBS	Alt Kriterler	Dilsel Değişkenler	ÜBS
C_7	EÖ	(1,1,1)			
C_1	ZÖ	(2/3,1,3/2)	C_{22}	EÖ	(1,1,1)
			C_{21}	ZÖ	(2/3,1,3/2)
			C_{25}	OÖ	(3/2,2,5/2)
			C_{23}	ÇÖ	(5/2,3,7/2)
			C_{24}	KÖ	(7/2,4,9/2)
C_2	ZÖ	(2/3,1,3/2)			
C_5	ZÖ	(2/3,1,3/2)			
C_8	OÖ	(3/2,2,5/2)			
C_9	OÖ	(3/2,2,5/2)			
C_{10}	ÇÖ	(5/2,3,7/2)			
C_6	ÇÖ	(5/2,3,7/2)			
C_4	ÇÖ	(5/2,3,7/2)			
C_3	KÖ	(7/2,4,9/2)			

Denklem (8) kullanılarak kriterlerin bulanık karşılaştırmalı önemi hesaplanmış ve Tablo 4 ile verilmiştir.

Tablo 4. Yazılımcılar Açısından Kriterlerin Bulanık Karşılaştırmalı Önemleri

Ana Kriterler	Bulanık Karşılaştırmalı Önem	Alt Kriterler	Bulanık Karşılaştırmalı Önem
$\tilde{\Phi}_{C_7/C_1} = \tilde{\omega}_{C_7}/\tilde{\omega}_{C_1}$	(0.66,1.00,1.50)		
$\tilde{\Phi}_{C_1/C_2} = \tilde{\omega}_{C_1}/\tilde{\omega}_{C_2}$	(0.44,1.00,2.27)	$\tilde{\Phi}_{C_{22}/C_{21}} = \tilde{\omega}_{22}/\tilde{\omega}_{21}$	(0.66,1.00,1.50)
		$\tilde{\Phi}_{C_{21}/C_{25}} = \tilde{\omega}_{21}/\tilde{\omega}_{25}$	(1.00,2.00,3.78)
		$\tilde{\Phi}_{C_{25}/C_{23}} = \tilde{\omega}_{25}/\tilde{\omega}_{23}$	(1.00,1.50,2.34)
		$\tilde{\Phi}_{C_{23}/C_{24}} = \tilde{\omega}_{23}/\tilde{\omega}_{24}$	(1.00,1.34, 1.80)
$\tilde{\Phi}_{C_2/C_5} = \tilde{\omega}_2/\tilde{\omega}_5$	(0.44,1.00,2.27)		
$\tilde{\Phi}_{C_5/C_8} = \tilde{\omega}_5/\tilde{\omega}_8$	(1.00,2.00,3.78)		
$\tilde{\Phi}_{C_8/C_9} = \tilde{\omega}_8/\tilde{\omega}_9$	(0.60,1.00,1.67)		
$\tilde{\Phi}_{C_9/C_{10}} = \tilde{\omega}_9/\tilde{\omega}_{10}$	(1.00,1.50,2.34)		
$\tilde{\Phi}_{C_{10}/C_6} = \tilde{\omega}_{10}/\tilde{\omega}_6$	(0.72,1.00,1.40)		
$\tilde{\Phi}_{C_6/C_4} = \tilde{\omega}_6/\tilde{\omega}_4$	(0.72,1.00,1.40)		
$\tilde{\Phi}_{C_4/C_3} = \tilde{\omega}_4/\tilde{\omega}_3$	(1.00,1.34, 1.80)		

Tablo 4 ile verilen kriterlerin bulanık önem ağırlıkları belirlenerek Denklem (10) kullanılarak ana kriterlerde kısıtların ilk grubu için $\tilde{w}_{C_7}/\tilde{w}_{C_1} = (0.66, 1.00, 1.50), \dots, \tilde{w}_{C_4}/\tilde{w}_{C_3} = (1.00, 1.34, 1.80)$ ve alt kriterde $\tilde{w}_{C_{22}}/\tilde{w}_{C_{21}} = (0.66, 1.00, 1.50), \dots, \tilde{w}_{C_{23}}/\tilde{w}_{C_{24}} = (1.00, 1.34, 1.80)$ olarak elde edilir. Denklem (11) ile matematiksel geçişlilik koşulunu sağlaması için ana kriterler için

$$\tilde{w}_{C_7}/\tilde{w}_{C_2} = (0.66, 1.00, 1.50) * (0.44, 1.00, 2.27) = (0.30, 1.00, 3.40)$$

$$\tilde{w}_{C_1}/\tilde{w}_{C_5} = (0.44, 1.00, 2.27) * (0.44, 1.00, 2.27) = (0.20, 1.00, 5.15)$$

⋮

$$\tilde{w}_{C_6}/\tilde{w}_{C_3} = (0.72, 1.00, 1.40) * (1.00, 1.34, 1.80) = (0.72, 1.34, 2.52)$$

ve alt kriterler için

$$\tilde{w}_{C_{22}}/\tilde{w}_{C_{25}} = (0.66, 1.00, 1.50) * (1.00, 2.00, 3.78) = (0.66, 2.00, 5.67)$$

$$\tilde{w}_{C_{21}}/\tilde{w}_{C_{23}} = (1.00, 2.00, 3.78) * (1.00, 1.50, 2.34) = (1.00, 3.00, 8.85)$$

$$\tilde{w}_{C_{25}}/\tilde{w}_{C_{24}} = (1.00, 1.50, 2.34) * (1.00, 1.34, 1.80) = (1.00, 2.01, 4.21)$$

olarak elde edilmiştir. Denklem (13) ile verilen doğrusal programlama modeli Lingo 18 programında çözümlenerek yazılımcılar açısından her bir ana kriter ve alt kriterler için optimal bulanık ağırlık katsayıları elde edilmiş ve Tablo 5 ile sunulmuştur.

Tablo 5: Yazılımcılar Açısından Kriterlerin Optimal Bulanık Ağırlık Katsayıları

Kriterler	Ağırlık	Alt Kriterler	Lokal Ağırlık	Global Ağırlık
C_1	(0.074, 0.156, 0.184)	-	-	(0.074, 0.156, 0.184)
C_2	(0.060, 0.149, 0.149)	C_{21}	(0.228, 0.228, 0.469)	(0.013, 0.034, 0.070)
		C_{22}	(0.250, 0.385, 0.510)	(0.015, 0.057, 0.076)
		C_{23}	(0.058, 0.080, 0.130)	(0.003, 0.012, 0.020)
		C_{24}	(0.052, 0.080, 0.102)	(0.003, 0.012, 0.015)
		C_{25}	(0.103, 0.178, 0.178)	(0.060, 0.026, 0.026)
C_3	(0.048, 0.073, 0.073)	-	-	(0.048, 0.073, 0.073)
C_4	(0.026, 0.078, 0.078)	-	-	(0.026, 0.078, 0.078)
C_5	(0.045, 0.133, 0.133)	-	-	(0.045, 0.133, 0.133)
C_6	(0.042, 0.074, 0.074)	-	-	(0.042, 0.074, 0.074)
C_7	(0.092, 0.158, 0.158)	-	-	(0.092, 0.158, 0.158)
C_8	(0.023, 0.090, 0.092)	-	-	(0.023, 0.090, 0.092)
C_9	(0.029, 0.089, 0.089)	-	-	(0.029, 0.089, 0.089)
C_{10}	(0.036, 0.076, 0.076)	-	-	(0.036, 0.076, 0.076)

Yazılımcılar açısından kriterlerin optimal değerleri elde edildikten sonra kullanıcılar açısından değerlendirmelerin yapılabilmesi için aynı adımlar izlenmiştir. Kullanıcılar için elde edilen başlangıç sıralaması ana ve alt kriterler için sırasıyla Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilmiştir.

$$C_4 > C_6 > C_3 > C_1 > C_2 > C_8 > C_{10} > C_9 > C_5 = C_7 \quad (16)$$

$$C_{24} > C_{25} > C_{22} > C_{21} > C_{23} \quad (17)$$

Bir sonraki adımda, kullanıcıların tercihlerine dayanarak, sıralanan kriterlerin karşılaştırmalı öneminin dilsel değişkenleri belirlenmiştir Tablo 1 ile verilen bulanık dilsel ölçek uygulanarak, dilsel değişkenler ÜBS ile ifade edilerek Tablo 6 ile sunulmuştur. Karar verici olan kullanıcılar web sitelerini çok sık ziyaret eden kişiler arasından rastgele olarak seçilmiştir.

Tablo 6: Kullanıcılar Açısından Ana ve Alt Kriterlerin Dilsel Değerlendirmeleri ve ÜBS

Ana Kriterler	Dilsel Değişkenler	ÜBS	Alt Kriterler	Dilsel Değişkenler	ÜBS
C_4	EÖ	(1,1,1)			
C_6	ZÖ	(2/3,1,3/2)	C_{24}	EÖ	(1,1,1)
			C_{25}	ZÖ	(2/3,1,3/2)
			C_{22}	ZÖ	(2/3,1,3/2)
			C_{23}	OÖ	(3/2,2,5/2)
			C_{24}	ÇÖ	(5/2,3,7/2)
C_3	ZÖ	(2/3,1,3/2)			
C_1	OÖ	(3/2,2,5/2)			
C_2	OÖ	(3/2,2,5/2)			
C_8	OÖ	(3/2,2,5/2)			
C_{10}	ÇÖ	(5/2,3,7/2)			
C_9	ÇÖ	(5/2,3,7/2)			
C_5	KÖ	(7/2,4,9/2)			
C_7	KÖ	(7/2,4,9/2)			

Denklem (8) kullanılarak kriterlerin bulanık karşılaştırmalı önemi hesaplanmış ve Tablo 7 ile verilmiştir.

Tablo 7. Kullanıcılar Açısından Kriterlerin Bulanık Karşılaştırmalı Önemleri

Ana Kriterler	Bulanık Karşılaştırmalı Önem	Alt Kriterler	Bulanık Karşılaştırmalı Önem
$\tilde{\varphi}_{C_4/C_6} = \tilde{\omega}_4 / \tilde{\omega}_{C_6}$	(0.66,1.00,1.50)		
$\tilde{\varphi}_{C_6/C_3} = \tilde{\omega}_{C_6} / \tilde{\omega}_{C_3}$	(0.44,1.00,2.27)	$\tilde{\varphi}_{C_{24}/C_{25}} = \tilde{\omega}_{24} / \tilde{\omega}_{25}$	(0.66,1.00,1.50)
		$\tilde{\varphi}_{C_{25}/C_{22}} = \tilde{\omega}_{25} / \tilde{\omega}_{22}$	(0.44,1.00,2.27)
		$\tilde{\varphi}_{C_{22}/C_{21}} = \tilde{\omega}_{22} / \tilde{\omega}_{21}$	(1.00,2.00,3.78)
		$\tilde{\varphi}_{C_{21}/C_{23}} = \tilde{\omega}_{21} / \tilde{\omega}_{23}$	(1.00,1.50,2.34)
$\tilde{\varphi}_{C_3/C_1} = \tilde{\omega}_3 / \tilde{\omega}_1$	(1.00,2.00,3.78)		
$\tilde{\varphi}_{C_1/C_2} = \tilde{\omega}_1 / \tilde{\omega}_2$	(0.60,1.00,1.67)		
$\tilde{\varphi}_{C_2/C_8} = \tilde{\omega}_2 / \tilde{\omega}_8$	(0.60,1.00,1.67)		
$\tilde{\varphi}_{C_8/C_{10}} = \tilde{\omega}_8 / \tilde{\omega}_{10}$	(1.00,1.50,2.34)		
$\tilde{\varphi}_{C_{10}/C_9} = \tilde{\omega}_{10} / \tilde{\omega}_9$	(0.72,1.00,1.40)		
$\tilde{\varphi}_{C_9/C_5} = \tilde{\omega}_9 / \tilde{\omega}_5$	(1.00,1.34, 1.80)		
$\tilde{\varphi}_{C_5/C_7} = \tilde{\omega}_5 / \tilde{\omega}_7$	(0.78, 1.00, 1.29)		

Tablo 7 ile verilen kriterlerin bulanık önem ağırlıkları belirlenerek Denklem (10) kullanılarak ana kriterlerde kısıtların ilk grubu için $\tilde{w}_{C_4} / \tilde{w}_{C_6} = (0.66,1.00,1.50), \dots, \tilde{w}_{C_5} / \tilde{w}_{C_7} = (0.78, 1.00, 1.29)$ ve alt kriterde $\tilde{w}_{C_{24}} / \tilde{w}_{C_{25}} = (0.66,1.00,1.50), \dots, \tilde{w}_{C_{21}} / \tilde{w}_{C_{23}} = (1.00,1.50,2.34)$ olarak elde edilir. Denklem (11) ile matematiksel geçişlilik koşulunu sağlaması için ana kriterler için

$$\tilde{w}_{C_4} / \tilde{w}_{C_3} = (0.66,1.00,1.50) * (0.44,1.00,2.27) = (0.30,1.00,3.40)$$

$$\tilde{w}_{C_6} / \tilde{w}_{C_1} = (0.44,1.00,2.27) * (1.00,2.00,3.78) = (0.44,2.00,8.58)$$

⋮

$$\tilde{w}_{C_9} / \tilde{w}_{C_7} = (1.00,1.34,1.80) * (0.78,1.00,1.29) = (0.78,1.34,2.32)$$

ve alt kriterler için

$$\tilde{w}_{C_{24}} / \tilde{w}_{C_{22}} = (0.66,1.00,1.50) * (0.44,1.00,2.27) = (0.30,1.00,3.40)$$

$$\tilde{w}_{C_{25}} / \tilde{w}_{C_{21}} = (0.44,1.00,2.27) * (1.00,2.00,3.78) = (0.44,2.00,8.58)$$

$$\tilde{w}_{C_{22}} / \tilde{w}_{C_{23}} = (1.00,2.00,3.78) * (1.00,1.50,2.34) = (1.00,3.00,8.85) \text{ olarak elde edilmiştir.}$$

Denklem (13) ile verilen doğrusal programlama modeli Lingo 18 programında çözümlenerek yazılımcılar açısından her bir ana kriter ve alt kriterler için optimal bulanık ağırlık katsayıları elde edilmiş ve Tablo 8 ile sunulmuştur.

Tablo 8: Kullanıcılar Açısından Kriterlerin Optimal Bulanık Ağırlık Katsayıları

Kriterler	Ağırlık	Alt Kriterler	Lokal Ağırlık	Global Ağırlık
C_1	(0.026,0.090,0.090)	-	-	(0.026,0.090,0.090)
	(0.028,0.085,0.107)	C_{21}	(0.067,0.070,0.126)	(0.001,0.005,0.013)
		C_{22}	(0.161,0.202,0.310)	(0.004,0.017,0.033)
C_2		C_{23}	(0.039,0.052,0.085)	(0.001,0.004,0.010)
		C_{24}	(0.370,0.384,0.510)	(0.010,0.032,0.055)
		C_{25}	(0.168,0.202,0.403)	(0.004,0.017,0.043)
C_3	(0.061,0.140,0.140)	-	-	(0.061,0.140,0.140)
C_4	(0.084,0.165,0.165)	-	-	(0.084,0.165,0.165)
C_5	(0.052,0.082,0.082)	-	-	(0.052,0.082,0.082)
C_6	(0.082,0.162,0.181)	-	-	(0.082,0.162,0.181)
C_7	(0.030,0.086,0.088)	-	-	(0.030,0.086,0.088)
C_8	(0.047,0.085,0.088)	-	-	(0.011,0.015,0.017)
C_9	(0.039,0.084,0.084)	-	-	(0.039,0.084,0.084)
C_{10}	(0.032,0.085,0.089)	-	-	(0.032,0.085,0.089)

5. Karşılaştırma Analizi ve Sonuçların Yorumlanması

Bölüm 4 ile verilen sonuçlar için karşılaştırma analizi yapmak amacıyla aynı sıralamalar ele alınarak hem yazılımcı hem de kullanıcılar açısından FUCOM ile değerlendirilmiştir. Yazılımcılar açısından GB-FUCOM ve FUCOM uygulanarak elde edilen sonuçlar Tablo 9 ile verilmiştir. Kesin ve bulanık sonuçların farklılıklarını ortaya koyabilmek için bulanık sonuçlara Denklem (6)'da verilen durulaştırma işlemi uygulanmıştır.

Tablo 9. Yazılımcılar Açısında GB-FUCOM ve FUCOM'dan Elde Edilen Önem Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Kriterler	GB-FUCOM Önem ağırlıkları	FUCOM Önem Ağırlıkları	Sıra
C_1	0.146	0.135	2
C_2	0.134	0.113	3
C_3	0.068	0.048	10
C_4	0.068	0.055	9
C_5	0.118	0.113	4
C_6	0.068	0.056	8
C_7	0.147	0.278	1
C_8	0.079	0.083	5
C_9	0.079	0.063	6
C_{10}	0.068	0.056	7

Tablo 9'a göre yazılımcılar açısından en önemli kriter HTML ve dinamik yapının oluşturulması olup, bulanık çözümde 0.247 kesin çözümde 0.278 ağırlığına sahiptir. İkinci en önemli kriter Web sitesinin hedefidir ve bulanık çözüm ağırlığı 0.146 ve kesin ağırlığı 0.135 bulunmuştur. Üçüncü en önemli kriter hazırlık adımları'dır, bulanık çözümde 0.134 kesin çözüm ağırlığı da 0.113'tür.

Kullanıcılar açısından GB-FUCOM ve FUCOM uygulanarak elde edilen sonuçlar Tablo 10 ile verilmiştir.

Tablo 10. Kullanıcılar Açısında GB-FUCOM ve FUCOM'dan Elde Edilen Önem Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Kriterler	GB-FUCOM Önem ağırlıkları	FUCOM Önem Ağırlıkları	Sıra
-----------	------------------------------	---------------------------	------

C_1	0.080	0.088	4
C_2	0.079	0.082	5
C_3	0.127	0.102	3
C_4	0.152	0.368	1
C_5	0.077	0.042	9
C_6	0.151	0.115	2
C_7	0.077	0.042	10
C_8	0.079	0.060	6
C_9	0.077	0.047	8
C_{10}	0.078	0.053	7

Tablo 10'a göre kullanıcılar açısından en önemli kriter Görsel Tasarım olup, bulanık çözümde 0.152 kesin çözümde 0.368 ağırlığına sahiptir. İkinci en önemli kriter ise Dinamik Yapı ve Görsel Tasarım' dır ve bulanık çözüm ağırlığı 0.151 ve kesin çözüm ağırlığı ise 0.115 bulunmuştur. Üçüncü en önemli kriter Adının Belirlenmesi' dir, bulanık çözümde 0.127 kesin çözüm ağırlığı da 0.102'tür.

Tablo 9 ve Tablo 10 incelendiğinde her iki metot ile elde edilen önem sıralamasının değişmediği gözlenmiş olması sonuçların tutarlılığını ortaya koymaktadır. Önem ağırlık derecelerindeki farklılıklar bulanık mantığın duyarlılığını ortaya koyarak ve daha hassas sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır.

Ayrıca C_2 kriterine ait alt kriterlerde de aynı sonuçlar gözlenmiştir. Yazılımcı ve kullanıcılar açısından önem derecelerinin karşılaştırmasına ilişkin sonuçlar Tablo 11 ile verilmiştir.

Tablo 11. Yazılımcılar ve Kullanıcılar açısından alt kriterlere ait GB-FUCOM ve FUCOM' dan Elde Edilen Önem Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Yazılımcılar				Kullanıcılar			
Kriterler	GB-FUCOM	FUCOM	Sıra	Kriterler	GB-FUCOM	FUCOM	Sıra
C_{21}	0.268	0.030	2	C_{21}	0.078	0.010	4
C_{22}	0.383	0.040	1	C_{22}	0.213	0.015	3
C_{23}	0.085	0.015	4	C_{23}	0.055	0.007	5
C_{24}	0.079	0.010	5	C_{24}	0.402	0.034	1
C_{25}	0.165	0.017	3	C_{25}	0.230	0.017	2

Tablo 11'e göre yazılımcılar açısından en önemli alt kriter İçerik olup, bulanık çözümde 0.383 kesin çözümde 0.040 ağırlığına sahiptir. İkinci en önemli kriter Faaliyet Alanı' dır ve bulanık çözüm ağırlığı 0.268 ve kesin ağırlığı 0.030 bulunmuştur. Üçüncü en önemli kriter Rakip Siteler'dir, bulanık çözümde 0.165 kesin çözüm ağırlığı da 0.017'tür.

Tablo 11'e göre kullanıcılar açısından en önemli alt kriter renk tonları olup, bulanık çözümde 0.402 kesin çözümde 0.034 ağırlığına sahiptir. İkinci en önemli kriter rakip sitelerdir ve bulanık çözüm ağırlığı 0.230 ve kesin ağırlığı 0.017 bulunmuştur. Üçüncü en önemli kriter içeriktir, bulanık çözümde 0.213 kesin çözüm ağırlığı da 0.015'tür.

Yazılımcılar ve kullanıcılar için sonuçlar incelendiğinde, yazılımcıların web tasarımı sırasında daha çok web sitesinin yazılımsal ve içeriksel kısımlarına önem verdiği, görsellik gibi kullanıcıyı daha çok etkileyen kriterlere daha az önem verildiği görülmektedir. Kullanıcıların ise yazılımcıların aksine daha çok görselliğe, müşteriye hitap etmesi açısından renk tonlarına ve web sitesinin dışarıya yönelik olan özelliklerine daha çok önem verdiği, yazılımsal, arka planda işleyen durumlara daha az önem verdiği görülmektedir.

6. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada Web sitesi tasarımında kullanılan kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi için FUCOM yöntemi kullanılmıştır. FUCOM yöntemi ile fikir kargaşasında olan karar vericilerin daha geniş bir bakış açısında değerlendirmeler yapmaları sağlanmıştır. Karar vericilerin değerlendirilmesinde subjektiflik en aza indirgenmeye çalışılmıştır ve kriter ağırlıklarının optimal değerlerinin hesaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan FUCOM yöntemini karşılaştırmak için literatürde var olan B-FUCOM yönteminin genişletilmiş hali sunulmuştur. Var olan modele yeni bir kısıt eklenerek geleneksel FUCOM da olduğu gibi karar vericilerin sıralamalarını değiştirmeden sıraladıkları kriterlere önem ağırlıklarının hesaplanması sağlanmıştır. Bu yönüyle literatürdeki modele katkı sağlandığı düşünülmektedir. Web sitesi tasarım kriterleri ilk kez bu çalışmada FUCOM ve B-FUCOM ile değerlendirilmiştir. Bu yönüyle de çalışma bir orijinalite içermektedir.

Çalışma web sitesi tasarım kriterlerini iki farklı bakış açısına göre incelemiş olup literatürde bu tarz bir çalışmaya rastlanmamıştır. Elde edilen sonuçlarda, yazılımcılara göre ana kriterler değerlendirildiğinde, en önemli kriter %14,7 oranında HTML ve dinamik yapının oluşturulması kriteridir. İkinci önemli kriter %14,6 oranında Web sitesinin hedefi kriteridir. En az öneme sahip olan kriter ise %6,9 oranında adının belirlenmesi kriteridir. Yazılımcılara göre alt kriterler değerlendirildiğinde, en önemli kriter %38,3 oranında İçerik'tir. En az öneme sahip olan kriter ise, %7,9 oranında renk tonlarıdır. Kullanıcılara göre ana kriterler değerlendirildiğinde, en önemli kriter %15,2 oranında görsel tasarımıdır. İkinci öneme sahip olan kriter ise %15,1 oranında dinamik yapı ve görsel tasarımıdır. En az öneme sahip olan kriter ise %7,7 oranıyla HTML ve dinamik yapının oluşturulması kriteridir. Kullanıcılara göre alt kriterler değerlendirildiğinde, en önemli kriter %40,2 oranında renk tonlarıdır. En az öneme sahip kriter ise %5,5 oranıyla kurumsal kimlik çalışmaları kriteridir.

İlerleyen çalışmalarda bulanık yöntemin farklı uzantıları kullanılarak FUCOM'una uyarlanabilir. Web sitesi tasarım kriterleri farklı ağırlıklandırma metotları kullanılarak dercelendirilebilir. Önerilen yöntemle farklı problemlerde farklı kriterin önem ağırlıkları belirlenebilir.

Araştırmacıların katkısı: Sultan Handenur ATÇI: Literatür araştırması, yöntemin incelenmesi ve uygulanması, makalenin taslak olarak oluşturulması işlemlerini gerçekleştirmiştir. Kumru Didem ATALAY: Kullanılan yöntemin belirlenmesi, yöntemin uygulanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin genel olarak bütünlüğünün sağlanması ve kurgulanmasını sağlamıştır.

Çıkar çatışması: Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

Alnaseri, S.T.M. (2019). *Factors effecting online shopping intention for the first purchasing through verified webpages: A study on gulf countries*. İstanbul Aydın Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi). doi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-47411-9_5

Armutlu, H., Armutlu, Ş. ve Akçay M. (2012). İyi bir web sitesi nasıl yapılır?, *XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*. Erişim adresi: https://ab.org.tr/ab12/kitap/armutlu_armutlu_AB12.pdf

Ayadi, H., Hamani, N., Kermad, L., & Benaissa, M. (2021). Novel fuzzy composite indicators for locating a logistics platform under sustainability perspectives. *Sustainability*, 13(7), 3891. doi: <https://doi.org/10.3390/su13073891>

Beştaş, C. (2019). *İnternet teknolojisi ile değişen haber konsepti: tk haberciliğinin ekonomi politiği*. Marmara Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=QT7aEdzNPRifXq3HAq3ELw&no=FIT3Yw-mvSrBO_1E6RWu2g

Bozanic, D., Tešić, D. & Kočić, J. (2019). Multi-criteria FUCOM–Fuzzy MABAC model for the selection of location for construction of single-span bailey bridge. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 132-146. doi: <https://doi.org/10.31181/dmame1901132b>

- Böyükaslan, A., & Ecer, F. (2021). Determination of drivers for investing in cryptocurrencies through a fuzzy full consistency method-Bonferroni (FUCOM-F'B) framework. *Technology in Society*, 67, 101745. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101745>
- Büyüközkan, G. ve Güleriyüz, S. (2016). Lojistik firma web sitelerinin performanslarının çok kriterli değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(4). doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.278444>
- Demir, G. (2021). E-Devlet Web sitelerinin bulanık FUCOM ile değerlendirilmesi: Evaluation of E-Government websites with fuzzy FUCOM. *International Journal of Economic And Administrative Academic Research*, 1(2) (2021), 41-53. Erişim adresi: <https://www.ijerdersi.com/index.php/ijer/article/view/14/18>
- Durmić, E., Stević, Ž., Chatterjee, P., Vasiljević, M., & Tomašević, M. (2020). sustainable supplier selection using combined FUCOM–Rough SAW model. *Reports In Mechanical Engineering*, 1(1), 34-43. doi: <https://doi.org/10.31181/rme200101034c>
- Ecer, F. (2021) "FUCOM subjektif ağırlıklandırma yöntemi ile rüzgâr çiftliği yer seçimini etkileyen faktörlerin analizi .An analysis of the factors affecting wind farm site selection through FUCOM subjective weighting method." *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24-34. Erişim adresi: <http://pajes.pau.edu.tr/en/jvi.aspx?pdid=pajes&plng=eng&un=PAJES-93271>
- Evans, H. (2021). *Web Development Process*. Erişim adresi: <https://www.velvetech.com/blog/web-development-process/>
- Khan, F., Ali, Y., & Pamucar, D. (2021). A new fuzzy FUCOM-QFD approach for evaluating strategies to enhance the resilience of the healthcare sector to combat the COVID-19 pandemic. *Kybernetes*. doi: <https://doi.org/10.1108/K-02-2021-0130>
- Kılınç M.S. (2008). İnternet sitesi tasarımında bulanık kalite fonksiyonu yayılımının uygulanması, İstanbul Teknik Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/11527/5887>
- Koçak, H. (2011). Kablosuz iletişim ve internet teknolojilerindeki yeniliklerin toplumsal yaşama katkıları . *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 153 (153), Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/tsadergisi/issue/21488/230333>
- Nunić, Z. (2018) "Evaluation and selection of the PVC carpentry manufacturer using the FUCOM-MABAC model." *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications* (1.1) 13-28. doi: <https://doi.org/10.31181/oresta19012010113n>
- Özbek, A. ve Engür, M. (2017). Lojistik firma Web sitelerinin ARAS yöntemi ile değerlendirilmesi. *The International New Issues In Social Sciences*, 5(5), 105-118. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/994966>
- Pamuçar, D., & Ecer, F. (2020). Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method–FUCOM-F. *Facta Universitatis, series: Mechanical Engineering*, 18(3), 419-437. doi: <https://doi.org/10.22190/FUME200602034P>
- Pamuçar, D., Stević, Ž. & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full Consistency Method (Fucom). *Symmetry*, 10(9), 393. doi: <https://doi.org/10.3390/sym10090393>
- Pamuçar, D., Ecer, F., & Deveci, M. (2021). Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology. *Science of The Total Environment*, 788, 147763. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147763>
- Prentkovskis, O., Erceg, Ž., Stević, Ž., Tanackov, I., Vasiljević, M., & Gavranović, M. (2018). A new methodology for improving service quality measurement: Delphi-FUCOM-SERVQUAL Model. *Symmetry*, 10(12), 757. doi: <https://doi.org/10.3390/sym10120757>

- Robbins, J. (2018), *Learning Web Design*, 5th Edition Publish by O'Reilly Media, Inc. Erişim adresi: <https://libgen.is/book/index.php?md5=AFDC58654D292EEC710495B573EA74F1>
- Sarısakal, N. ve Uysal, M . (2001). Web teknolojilerindeki hızlı gelişmelerin ve web programlama araçlarının incelenmesi. *IU-Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 1 (1) , 6-16 . Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/iujeec/issue/9334/116689>
- Schaupp, L. C., Fan, W. & Belanger, F. (2006, January). Determining success for different website goals. *In Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'06)* (Vol. 6, pp. 107b-107b). IEEE. doi : [10.1109/HICSS.2006.122](https://doi.org/10.1109/HICSS.2006.122)
- Serdaroğlu M.E. (2019). *Ulusal Bir Web Sitesi Oluşturucu Tasarımı*. Afyon Kocatepe Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=aH3L3BanbBMSZwVGi5bPFQ&no=--RjaZXOAYLWRqpqVcC7Q>
- Simić J.M., Stević J., Zavadskas E.K., Bogdanović V., Subotić, M. & Mardani, A. (2020). A novel CRITIC-Fuzzy FUCOM-DEA-Fuzzy MARCOS model for safety evaluation of road sections based on geometric parameters of road. *Symmetry*, 12(12),2006. doi: <https://doi.org/10.3390/sym12122006>
- Sivri, E. (2020) Kütüphane Web sayfaların görsel tasarımı nasıl olmalıdır? Atatürk Üniversitesi Prof. Dr. Fuat Sezgin Kütüphanesi Örneği." <https://tr.linkedin.com/pulse/kütüphane-web-sayfaların-görsel-tasarımı-nasıl-olmalıdır-enes-sivri>
- Stauffer, T. (2002). Absolute beginner's guide to creating web pages, published by que. Erişim adresi: https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=Stauffer%2C+T.+%282002%29.+Absolute+Beginner%2E%80%99s+Guide+to+Creating+Web+Pages%2C+Published+by+Que.&btnG=
- Şahin, M. ve Gülnar, B. (2016). İletişim korkusu ve internet kullanımı ilişkisi: Türkiye'deki üniversite öğrencileri arasında bir alan araştırması. *Selçuk İletişim*, 9(2), 5-26. doi: <https://doi.org/10.18094/si.10562>
- Şarlak, Z. (2006). *İnternet alan adının (domain name) hukuki niteliği ve marka hakkı üzerindeki etkisi*, Yüksek Lisans Projesi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Özel Hukuk (Ticaret Hukuku) Anabilim Dalı. Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/20.500.12575/28470>
- Tarafdar M. & Zhang J. (2008). Determinants of reach and loyalty—A study of website performance and implications for Website design. *Journal of Computer Information Systems*, 48.2 (2008): 16-24. doi: <https://doi.org/10.1080/08874417.2008.11646005>
- Tüker M.C. (2018). *Application development for improving website usability by web mining methods*, Yüksek Lisans Tezi, Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=48QN6PKyjQj6lSKG1xToIg&no=hASPZcX2w7zflReFNrxUPg>
- Uysal G. (2013). *Sağlıklı internet kullanım programının internet bağımlısı olan adölesanlar üzerine etkisi*, İstanbul Üniversitesi (Doktora Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=42Pp74jA2Se8gA_e03iK4w&no=sEMWkgK4W5A09eMwI_c3MA
- Yalçın, N. ve Yağlı, B.Ş. (2020). Teknoloji mağazalarının Iso 25010 kalite modeline dayalı Websitesi kalite değerlendirmesinin çok kriterli analizi: Türkiye örneği. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 57-76. doi: <https://doi.org/10.18092/ulikidince.557263>



Journal of Turkish Operations Management

Quality function deployment implementation on service sector

Gamze Unsal¹, Yucel Ozturkoglu^{2*}

¹Graduate Student, Yasar University, İzmir

e-mail: gamzekarakoc88@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5547-8789>

² Logistics Management, Yaşar University, İzmir

e-mail: yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9569-8178>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 20.10.2021

Revised: 19.11.2021

Accepted: 20.11.2021

Keywords

QFD,
Retail,
Logistics

Abstract

In order to survive in the face of increasing competition, businesses need to plan and design the products they produce or the services they offer in a way that will meet the demands, needs and expectations of their customers. Quality Function Deployment (QFD) is a method that helps companies get to know their customers and respond to their needs and expectations as soon as possible. The basis of the method is to listen to the voice of the customers. The aim of this study is to reveal how QFD is applied in the retail industry. For this reason, one of the leading companies in the retail sector, the QFD process was tried to be applied and thus the validity of the QFD process in the selected business was examined. In line with the results, contributions were made to both the literature and the executive level.

1. Introduction

Rapid speed technology has brought along rapid change and global integration. As a result, this created an intense competitive environment and they had to adapt to change in order to survive in this competitive environment. In such an emergence, different models have emerged to obtain payment from the market and develop. One of these models is Total Quality Management (TQM).

TQM aims to provide not only goods and services, but also management with a holistic approach. According to TQM, whether it is the quality or the degree of satisfaction of the customer, along with the use of the product or service. Another exhausted state whether it has reached total quality.

Quality Function Deployment (QFD) emerged in Japan in the late 1960s as a tool used in TQM. It has formed a basic structure in the development of products and services based on the concept of customer quality. QFD is "a structured product planning and development method that evaluates a development team to clearly identify the wishes and needs of the customer and then systematically evaluate each proposed product or service capacity in terms of its impact on meeting those needs" (Cohen, 1995). QFD is a structured product planning and development method that evaluates a development team to clearly identify the wishes and needs of the customer and then systematically evaluate each proposed product or service capacity in terms of its impact on meeting those needs (Cohen, 1995). Knowledge of customer needs is a "must" condition for a company to maintain and increase its market position. Accurate market predictions are of little value if the requirements cannot be incorporated into the design at the right time. The team should take the time to understand customer wishes and plan the project more thoughtfully. The aim of the QFD is to include the "voice of the customer" at all stages of the product development cycle, from production to the market.

In retailing, which is an important function of the logistics sector where the competitive environment is intense, it is very important to meet customer demands and needs, which are called the voice of customers. While these requests and needs are met, companies should not compromise on existing quality standards. Therefore, the issue of quality in the retail sector is of vital importance for companies. With the effect of global competition, the conditions of competition are getting more severe day by day. However, companies have started to attach great importance to quality in the retail sector, where customer demands and needs are constantly rising. Companies are able to determine customer requests more accurately by using the QFD method, and by applying these requests correctly in the service sector, they get the most beneficial results for the company.

When the literature is examined, many studies have been done on quality improvement in the retail sector, which is an important branch of logistics.

However, there are not many quality studies in the big markets, which are the lifeblood of the retail industry. In particular, there is no study in which QFD is applied in retail merchandising. Therefore, this study QFD implementation for Turkey's largest retail store chain in Izmir with a brand new store to be opened will be made. The main contribution of the study is to propose meaningful suggestions for managerial implications about quality concept for retail business.

The rest of the paper is consist of six sections. Next section involves an overview of literature review of the related topic. Section 3 addresses the methodology of the QFD model. The implementation of the model is presented in Section 4. The results of study and managerial suggestions for organizations are given in Section 5. At the end, study finalized with Conclusion part.

2. Literature Review

Literature review for this study includes two sub-sections. Firstly, literature review related to QFD in service sector, secondly literature review related logistics services are presented.

2.1 Literature Review for QFD in Service Sector

The QFD method is one of the most frequently used methods in many both production and service sectors. In general, this method has been used to improve service quality (Chowdhury & Quaddus, 2016). QFD method is an important part of health care institutions. The quality of the services offered by hospitals, which is one of the leading service sectors, is very important (Hasibuan et al., 2019). The expectations and needs of the hospital's customers are determined. The necessary arrangements are made in the service provided around the information obtained and the expectations and needs of the customer profile are tried to be met. The most important benefit of QFD method to hospital enterprises is to make the patient and the hospital speak the same language. It also allows the institution to easily meet the changing expectations of patients.

QFD is also used in transportation, another sector. Today's technological and economic developments have revealed the concept of globalization. The competitive environment is being moved to a global level. Globally, competition forces companies and products to do better and deliver them as soon as possible and deliver them in the highest quality way. Transportation is one of the factors affecting the economic and social activity of society. With the increase in the number of people, it has also led to problems such as traffic density. That's why transportation service quality calculations have been made. For example, Furqon et al. (2019) was investigated quality function distribution analysis in transportation services in Indonesia. As a result of the research, it has been determined that QFD is useful for companies providing transportation services. Making calculations taking into account customers' expectations helps to use time efficiently. Because a demand forms a cluster with the demand of other customers over time. QFD helps prevent time wasting.

As in other sectors, competition in the financial world is increasing day-by-day (Adiandari et al., 2020). To achieve customer attraction, banks should provide differences in the service offered compared to the competitors. It is important to make improvements based on the historical data. Banks and credit companies need to pay more attention to the relationship with different customer groups in order to increase competitiveness and improve customer relations. (Novokreshchenova et al., 2016). It has been proven as a result of the surveys that the use of quality management tools in the services provided to the customer increases the satisfaction of the customers and the competitiveness of the bank.

Table 1. Literature Table for QFD in Service Sector

Sector	Aim of the Paper	Author(s)
Transportation Industry	Improving service quality in highway passenger transportation.	Pakdil & Kurtulmuşoğlu (2014)
Service Innovation	They determined the strengths and weaknesses of the company by targeting the voice of the customer.	Yothinsirikul & Thawesaengkulthai (2017)
Health Sector	QFD was applied to increase customer satisfaction while meeting the increasing patient demand.	Lee et al. (2015)
Healthcare and Public Service	Aims to determine and provide services that individuals may need in societies with an elder age.	Chen (2016)
Healthcare	Aims to improve services provided in m-health sector in Bangladesh.	Chowdhury et al. (2016)
Electricity and Public Infrastructure	Aims to provide better services to customers since they are aware of quality.	Jahanzaib et al.(2016)
Hospitality	Aims to classify customer ratings and needs to achieve a better level of service.	Kuo et al. (2016)
Transportation	They defined the customer voice of the transportation sector and increased the service quality for on-time undamaged delivery.	Nikfalazar (2016); Karaoğlu et al. (2020)
Financial Sector	Increase customer service level on financial sector	Novokreshchenova et al. (2016)
Smart Services	Improving smart services provided and cover different fields in Dubai.	Zawati & Dweiri (2016)
Healthcare	To develop as the specific framework for assessing and analyzing the experimental results. QFD was used to identify and turn decision-makers, suppliers, patients and local communities ' needs into both service and construction design for Project K, a healthcare network in the UK.	Dehe & Bamford (2017)
Food Industry (Meal Ordering System)	To develop of a systemic and analytical software architecture using incorporation of quality function deployment technology, and schematic approaches.	Wang et al. (2017)
Postal and Shipping Service	To analyze the characteristics of respondents in Indonesia.	Khairunnisa et al.(2018)

Healthcare	To develop concept of dialysis service risk management methods due to the role of healthcare organization assessment in sustaining system performance.	Maalej et al. (2018)
Transportation Services	To improve the quality of logistics activities.	Furqon et al. (2019)
Healthcare	Determine the how patient define the quality.	Hasibuan et al. (2019)
Banking Services	Increase the quality of e-banking services.	Adiandari et al. (2020)

As a result, as mentioned above, QFD can be seen almost anywhere in the service sector. The general purpose of applying quality management to these sectors is to improve the quality of service and ensure customer satisfaction. The through to the method applied, it reduces the time it takes to deliver products or services to the customer. It is a very effective method for product planning and development. Reduces the start and development costs of the service to be offered. Customer satisfaction increases. It also provides analysis of competitors, offering products and services at more competitive prices.

2.2 Literature Review for QFD in Logistics Management

Quality function deployment is an approach to quickly and effectively recognize and prioritize the preferences of the customers. QFD is customer driven and converts customer needs into acceptable product and service technical requirements. This translation process is sometimes referred to as the 'customer's voice' (Wang et al., 2017).

QFD was originally developed for producer designs. (Huang & Hsu, 2016). In the relevant literature, QFD has been studied in areas that integrate the operations of 3PL service provider, logistics, cargo services, and warehouse and supplier selection in order to achieve the efficient service quality. According to Çakılcı & Öztürkoğlu (2020), examined the focuses on consumers who emphasize the service-providing dimensions of logistics centers by considering potential customer requirements of logistics center. Moreover, this research discusses, categorizes and prioritizes customer expectations of logistics center and general features of logistics center operation.

Service quality plays a critical role in success and customer satisfaction in today's globalized and competitive cargo and postal market (Çalışkan et al., 2016). To serve the better service quality Murugesan et al. (2020) investigate a model to explore the definition and technique of QFD to be integrated into post-service operations in India to meet the better quality of service. Besides, Murugesan et al. (2020) stated that, using quality metrics, QFD directs a formal, well-organized, and standardized way of achieving end-user requirement integration. Ulkuniemi et al. (2011) made a research to develop a QFD based logistics service design system to combine HOQ (Quality House) technology and modular logic to assist in the design of high-quality, high-service logistics services. Furthermore, Jain and Khan (2016) study to select the best reverse logistics service provider for injection molding parts manufacturing company using a QFD.

QFD is also, used to model technical requirements to fulfil compare logistics service quality (Awasthi et al., 2018). QFD has been applied widely in third party logistics providers (3PL's). For instance, Lee and Lin (2006) to classified 3PL companies into three types according to their organization characteristics with QFD. Ho et al. (2012) to investigated how to choose optimal 3PLs, using by quality function deployment method. Perçin and Min (2013) suggest that QFD and fuzzy decision-making methodology best way for solving 3PL evaluation/selection problem.

QFD methodologies have been used to transportation and warehouses. There is a research that suggested, a quality function-based deployment system is proposed to effectively regulate the risks and manage the protection of the HazMats transport process in China. (Yang et al., 2018). The risk factors were collected from the related research

literature by a cross-functional QFD team, historical data on incidents, feedback from transportation companies and customer complaints on HazMats transport service.

To have excellent performance in the warehouse, it is important to tackle human needs in order to eliminate the errors (Ekinci et al., 2021). Dewa et al. (2017) integrated to quality function deployment (QFD) to warehouse operations. QFD has been very successful in warehouse development where consumer voices are identified and then related to what is considered technological responses.

Table 2. Literature Review Related to QFD in Retail &Logistics Sector

Aim/Scope	Author(s)
To decide a distribution company's location decision in selecting an optimal location with QFD.	Chuang (2002)
To classifies 3PL companies into three types according to their organization characteristics with QFD.	Lee & Lin (2006)
To analyze the performance of China Airlines and apply house of quality chart.	Wang et al. (2017)
To develop to handle the voice of customer for evaluation and selection of 3PL service provider.	Rajesh et al. (2011)
To integrate QFD logic to help in designing logistics services with high quality and a large service variety.	Ulkuniemi et al. (2011)
To select optimal 3PLs, using by house of quality method.	Ho et al. (2012)
To suggest a QFD and fuzzy decision-making methodology for solving 3PL evaluation/selection problem.	Perçin & Min (2013)
To propose a methodology to develop logistics service providers.	Karaoglu et al. (2020)
To develop an integrated approach, combining QFD and Taguchi loss function method for selecting 3PL strategically.	Sharma & Kumar (2015)
To examine the service quality of international distribution centers.	Huang & Hsu (2016)
To select the best reverse logistics service provider for injection molding parts manufacturing company using a QFD.	Jain & Khan (2016)
To maximize service quality in the public and private transportation.	Kurtulmuşoğlu et al. (2016)
To improve QFD to maritime supply chain resilience and take customer requirements.	Lam & Dai (2015)
To analyzes technical requirements a QFD-based for achieving sustainable warehouse.	Uztürk & Büyüközkan (2016)
To integrate an uncertain QFD for meet the customer requirements.	Yang et al. (2016)
To enhance a model of improvement that can link the performance of warehouses modified to deployment of quality functions.	Dewa et al. (2017)
To suggests a decision support model for selecting logistics providers based on implementation of the quality feature for agricultural supply chain in France.	Yazdani et al. (2017)

To develop logistics service quality management.	Awasthi et al. (2018)
To implement QFD to the prevent the risk level of a HazMats transportation company in China.	Yang et al. (2018)
To apply QFD in India post service operations.	Murugesan et al. (2020)

To conclude, QFD methodology tools are used to better understand and turn customer requirements into service designs, and to manage service quality control. (Lam & Dai, 2015). With the improved needs of different area, QFD is looking to be more important in business life.

3. Methodology: Quality Function Deployment

Nowadays customers has a multiple available options to select similar products and services. Customers makes their selections based on the quality or value. Companies are working on a tools to define their customer's wants and needs and turning them into specific designs and process plans to satisfy the customer's needs. QFD is a method and collection of tools used to efficiently identify customer requirements and turn them into comprehensive technical specifications and plans for producing the goods that meet those needs. QFD consist of six different steps; 1) Identifying voice of the customer; 2) identifying technical requirements; 3) correlation matrix of technical requirements; 4) relationship matrix of customer wants and technical requirements; 5) target and gaps (planning matrix); 6) technical evaluation (Karaoglu et al., 2020).

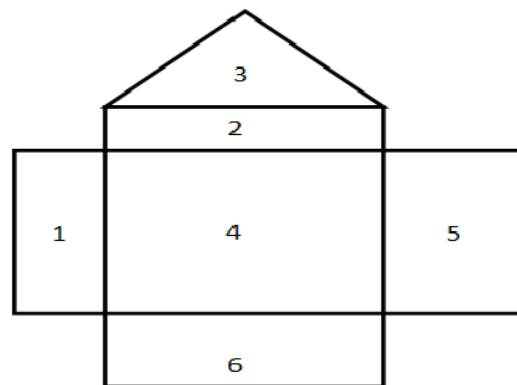


Figure 1. QFD template

Voice of Customer (1): Customer requirements and importance degrees of them are determined. With various ways such as surveys and interviews, customer needs and wants are determined. There is a priority scale between one to ten. Lower points are less important while the higher points are the most.

Technical Requirements (2): Related requirements are classified that can afford the customer needs and wants (voice of customer). The goal of the technical requirements is to define 'How' to respond to the customer requirements. This part of the QFD will help demonstrate how the existing product or service currently satisfies customer wants.

Correlation Matrix of the Technical Requirements (3): The correlation matrix will identified how technical requirements help and hinder each other. These relations are shown by symbols. 'P' refers to positive and 'N' refers to negative. Based on these P and N symbols, correlation of different requirements are determined.

Relationship Matrix of Customer Wants and Technical Requirements (4): This matrix show how strongly each of the design parameters affects the customer need. In this matrix, scoring system is used. The system includes three score which is 1, 3 and 9 refers to weak, medium and strong respectively. The requirements that has no relation with each other are shown blank.

Targets and Gaps (Planning Matrix) (5): In this part, Companies evaluate themselves to find out in what stage they and their competitors to satisfy customer expectations. They scores themselves and their competitors 1 to 5 and they determine their target score. 5 represents the highest level of customer satisfaction. Their target score can be the same with the current score as it can be higher. In this matrix, improvement ratios are founded by diving the current scores to their target scores. With the multiplying of priority scores, improvement ratio and sales point which is always constant, priority rating is founded. At the end this part, percentage of priority rating is determined;

Improvement Ratio = Target Score / Current Score

Priority Rating = Improvement Ratio * Priority Scores * Sales Point

Percentage of Priority Rating = Priority Rating / \sum (Total Priority Rating) * 100

Technical Evaluation (6): The last step in the formation of the QFD is the bottom of the house. This foundation is referred to as the technical matrix. In this part, technical and normalized technical priorities are founded.

Technical Priority = \sum (Percentage of Priority Rating * Relationship Scores)

Normalized Technical Priority = (Technical Priority / \sum Total Technical Priority)*100

4. Implementation

The research was done on a retail firm. In the study, it was aimed to maximize the service quality of the company according to customer expectations in the retail company. As a result of the creation of the quality house, the most important technical characteristics have been addressed and improved. Questionnaire method was used in the study. The survey was conducted in June 2020 with the permission of the company authorities. The research was carried out in İzmir Karşıyaka branches of the retail firm. Before starting the research, survey questions were prepared according to customer requests and requirements. These questions were asked to customers who shop during the retail company's branch visits. The research was applied to 150 people.

When the findings about the demographic structure are examined, 70 of the customers who answered the questionnaire are female and 80 of them are male. It is observed that there are 65 customers in the age range of 35-44, 42 customers in the age range of 25-34, 33 customers in the age range of 45-54 and 10 customers in the age range of 18-24. The number of customers who shop between one and three days a week is 105. The number of customers who shop between four and seven per week is 45. The average budget rate is between 50 and 500 TL.

Table 3. Importance Level of the Customer Requirements

		Importance Level
Customer Requirements	Freshness	5
	Cost	4
	Personnel Attitude	4
	Variation	5
	Cleaning	4

The calculation relations of the Quality house we have established are as follows:

➤ Progress rate: Firm Target / Firm Today

Freshness: $5/4=1,25$; Cost: $5/3=1,66$; Personnel Attitude: $5/4=1,25$; Variation: $5/5=1$;

Cleaning: $5/5=1$

➤ Point of Sale Score: Indicates the customers' interest in the service they receive. This value

is based on the expectation that can show the best sales performance. It shows whether an improvement in customer requests will bring an increase in the sales point score column, in other words, an increase in sales. Generally, the following Table 4 is used for evaluation.

Table 4. Potential for Advancement in Sales

Potential for improvement	Score
Significant progress	1.5
Progress	1.2
Current status (status quo)	1.0

➤ Importance Score: (Importance Level*Progress Rate* Point of Sale Score)

Freshness: $5*1,25*1,2=7,5$; Cost: $4*1,666*1,5=10$; Personnel Attitude: $4*1,25*1,2=6$; Variation: $5*1*1=5$; Cleaning: $4*1*1=4$

➤ Percent Importance Level: (Importance Score/Total Importance Score)*100

Freshness: $(7.5/32,5)*100=23,076323$; Cost: $(10/32,5)*100=30,769$; Personnel Attitude: $(6/32,5)*100=18,461$; Variation: $(5/32,5)*100=15,385$; Cleaning: $(4/32,5)*100=12,308$

➤ Technical Importance Level: \sum (Percent Importance Level *Relationship Score)

$(5*23.076323)+(2*30.7692)+(4*12.3076)=226.153$

➤ Normalized technical importance level: (Technical importance level/Total technical importance level)*100

$(226.15385/2369.2308)*100=9.54$

As a result of the calculations mentioned in detail above, a quality house was created. As seen in Figure 2, customer requests are classified under five headings. A total of ten technical requirements have been identified to meet these requests. The current position of the company and the position of its competitors have been determined by experts in line with the determined customer requirements. In the light of this information, necessary calculations have been made. In the next section, which customer requirements and technical characteristics come to the fore will be determined according to the quality house created and a road map will be presented to the company authorities.

5. Discussion the Results

The target customers of the stores were determined primarily throughout the study, and customer requests and needs were determined by applying a structured questionnaire for these customers. During the completion of the surveys, face-to-face interviews were made with the customers. Data on what customer requests and needs are, how important they are, and how the business performs at this point has been obtained with this study.

When scored according to the degree of relationship, removing the remaining products in the grocery section at the end of the day, the score is 5 in terms of product freshness, it is very strong relationship, the score is 2 in terms of cost, and the score is 4 in terms of weak relationship and cleanliness, and there is a strong relationship. The fact that the market employee has received the necessary training in the information and communication system shows that there are 3 medium relationship personnel in terms of cost and 5 very strong relations in terms of personnel attitude.

The purchase of deformed products from the service aisle, whose color and smell have changed, from the aisle show that there is 5 very strong relations in terms of product freshness and cleanliness, 3 medium relations in terms of cost, 4 strong relations in terms of personnel attitude. Highlighting discounted and promoted products on the counter and making the necessary promotion show that there is a very strong relationship in terms of cost 5 and a strong relationship in terms of staff attitude 4. Price tags must be constantly checked. 5 There is a very strong relationship in terms of cost and staff attitude. There are 5 very strong relationships in terms of cost and diversity and 4 strong relationships in terms of personnel attitude to prevent loss by keeping track of products and stocks in the best way. Announcing certain days of the week or certain date intervals of the month as discount days has a very strong 5 in terms of cost and a strong relationship in terms of staff attitude 4.

The attire of the employees should be clean, and the staff should wear the clothing provided by the company, apron, cap, plastic gloves and name badge. There is a very strong relationship in terms of staff attitude and cleanliness. There are 2 weak relationships in terms of cost and 4 strong relationships in terms of staff attitude, preventing the formation of in-store queues by increasing the number of cashiers in the store. There are 2 weak relationships in terms of product freshness, 5 very strong relationships in terms of cost, 4 strong relationships in terms of personnel attitude and 3 medium relationships in terms of diversity. There is a P (positive) relationship between removing the products left in the grocery aisle at the end of the day and buying products from the service aisle that are deformed, approached to date, and whose color and smell have changed. There is a P (positive) relationship between the fact that the market employee has received the necessary training in the information and communication system and the employees' attire should be clean and the personnel should wear the clothing provided by the company and wear their apron, cap, plastic gloves and name badge. There is an N (negative) relationship between the fact that the market employee has received the necessary training in the information and communication system and the number of cashiers in the store is prevented from forming in-store queues. There is an N (negative) relationship between the purchase of deformed products with a change in color and smell from the service aisle and the sale of products with a discount by placing them on the front of the aisle. There is an N (negative) relationship between price tags must be constantly checked and product tracking and stocks are carried out in the best way to prevent loss. At the end of the study, customer cost request has emerged. In order to bring customer cost demand to the forefront, improvements should be made in the two high technical requirements first. The high technical requirements table is given in Table 5 below.

Table 5. Technical Requirements Data

Technical Requirements	Summation of the Technical Requirements
Purchasing from shelves of products which have changed color and odor, degraded and expired.	343,07
Selling products which have approached expiration date with discount by putting on the front side.	320

The QFD model implemented in the retail firm provided useful data as detailed above. This has provided many benefits for the firm in general. With this research, the company creates a data source for design and process development that will meet future needs. With this application, total cost reduction can be achieved in the company with the highest customer expectations in the company. With the application of the QFD method, the retail company can establish good relations with customers in the service sector. In addition, the company's efforts to improve the quality and the opinions of the customers are taken into account in these studies, and positive approaches towards the company are developing in the service sector.

In retailing, which is an important function of the logistics sector where the competitive environment is intense, it is very important to meet customer demands and needs, which are called the voice of customers. While these requests and needs are met, companies should not compromise on existing quality standards. Therefore, the issue of quality in the retail sector is of vital importance for companies.

With the effect of global competition, the conditions of competition are getting more severe day by day. However, companies have started to attach great importance to quality in the retail sector, where customer demands and needs are constantly rising (Gençtürk & Öztürkoğlu, 2020).

. Companies are able to determine customer requests more accurately by using the QFD method, and by applying these requests correctly in the service sector, they get the most beneficial results for the company.

6. Conclusion

In this study, it is tried to show in detail the application of QFD method in a retail company. The company has a leading position in the service sector. Customer needs have been listed and the company name has been kept confidential in line with the company's request.

By researching the service offered by the retail company examined in the application section, a general information about the company has been obtained. The firm has been examined in terms of quality function deployment, which is the main subject of the application, and the degree of interaction with other competitors has been observed.

The degrees of importance are calculated in line with the customers' requests. Product freshness was evaluated on 5, cost 4, staff attitude 4, variety 5, and cleanliness 4 out of 5. As a result of the surveys, the most important 10 criteria among the technical requirements chosen by the customers were determined, and the relationship between customer requests and technical requirements was determined. This relationship degree is scored between 1 and 5 based on the Japanese system scoring, and the current and target values of the firm are determined. Based on this scoring, the severity, progress rate, point of sale score and percentage importance scores were determined. In the next step, the technical importance level has been calculated. According to the results, normalized technical importance was calculated. And the correlation matrix between technical needs of our quality house, namely the roof, has been drawn. Those that we found positive relationship with P and negative relationship between them are shown by symbol of N. When the technical importance is examined, the two technical requirements with the lowest score are to increase the number of cashiers in the store, preventing the formation of in-store queues, and the employees' attire should be clean, and the personnel should wear the clothes provided by the company and wear their apron, cap, plastic gloves and name badge.

References

- Adiandari, A., Winata, H., Fitriandari, M., & Hariguna, T. (2020). Improving the quality of Internet banking services: An implementation of the quality function deployment (QFD) concept. *Management Science Letters*, 10(5), 1121-1128. doi: <https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.10.029>
- Awasthi, A., Sayyadi, R., & Khabbazian, A. (2018). A combined approach integrating gap analysis, QFD and AHP for improving logistics service quality. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 29(2), 190. doi: <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2018.089171>
- Çalışkan, A., Karacasulu, M., & Öztürkoğlu, Y. (2016). Hizli moda markalarında çevik ve esnek tedarik zinciri yönetimi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(4), 49-74.
- Chen, S. H. (2016). Determining the service demands of an aging population by integrating QFD and FMEA method. *Quality & Quantity*, 50(1), 283-298. doi: <https://doi.org/10.1007/s11135-014-0148-y>
- Chuang, P. T. (2002). A QFD approach for distribution's location model. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 19(8/9), 1037-1054. doi: <https://doi.org/10.1108/02656710210438113>
- Chowdhury, M. M. H., & Quaddus, M. A. (2016). A multi-phased QFD based optimization approach to sustainable service design. *International Journal of Production Economics*, 171, 165-178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.09.023>
- Cohen, L. (1995). *Quality function deployment: how to make QFD work for you*. Prentice Hall.
- Çakılcı, C. & Öztürkoğlu, Y. (2020). Analysis of sustainable E-logistics activities with analytic hierarchy process. *Journal of Business Research-Turk*, 12(1), 489-497. doi: <https://doi.org/10.20491/isarder.2020.857>.
- Dehe, B., & Bamford, D. (2017). Quality Function Deployment and operational design decisions—a healthcare infrastructure development case study. *Production Planning & Control*, 28(14), 1177-1192. doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1350767>
- Dewa, P. K., Pujawan, I. N., & Vanany, I. (2017). Human errors in warehouse operations: an improvement model. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 27(3), 298-317.
- Ekinci, E., Çayır, B., Arifoğlu, B., & Öztürkoğlu, Y. (2021). An Overview of Agri-food Supply Chains in the Covid-19 Pandemic Period. *Journal of Turkish Operations Management*, 5(1), 630-640.
- Furqon, C., Sultan, M. A., & Putri, S. I. (2019, May). Quality Function Deployment Analysis on Transportation Services. In 1st International Conference on Economics, Business, Entrepreneurship, and Finance (ICEBEF 2018). Atlantis Press.
- Gençtürk, S., & Öztürkoğlu, Y. (2020). Yeni nesil perakendecilik: KOVID-19 sürecinde marketten eve hizmet inovasyonu araştırması. *Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 9(2), 49-69.
- Hasibuan, A., Parinduri, L., Sulaiman, O. K., Suleman, A. R., Harahap, A. K. Z., Hasibuan, M., ... & Daengs, G. A. (2019, November). Service Quality Improvement by Using the Quality Function Deployment (QFD) Method at the Government General Hospital. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1363(1), 012095). IOP Publishing.
- Ho, W., He, T., Lee, C. K. M., & Emrouznejad, A. (2012). Strategic logistics outsourcing: An integrated QFD and fuzzy AHP approach. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10841–10850. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.03.009>
- Huang, S.-H. S., & Hsu, W.-K. K. (2016). An assessment of service quality for international distribution centers in Taiwan – a QFD approach with fuzzy AHP. *Maritime Policy & Management*, 43(4), 509–523. doi: <https://doi.org/10.1080/03088839.2015.1134829>
- Jahanzaib, M., Idrees, M., Wasim, A., Hussain, S., & Aziz, H. (2016). A framework for implementing quality function deployment for utility services. *Journal of Business and Management*, 18(4), 92-99. doi: <https://doi.org/10.9790/487X-1804029299>

- Jain, V., & Khan, S. A. (2016). *Reverse logistics service provider selection: A TOPSIS-QFD approach*. 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). doi: <https://doi.org/10.1109/ieem.2016.7797987>
- Karaoglu, P., Mert, T., Kork, M. B., Türkmen, F. B., Özkan-Özen, Y. D., & Öztürkoglu, Y. (2020, September). Improving the Operations in a Logistics Company: A Case Study in Turkey. In *The International Symposium for Production Research* (pp. 876-887). Springer, Cham.
- Khairunnisa, N., Munandar, J. M., & Najib, M. (2018). Customer Satisfaction and Loyalty on Customer Delivered Value of Postal and Shipping Service. *International Journal of Research and Review*, 5(11), 15-27.
- Kuo, C. M., Chen, H. T., & Boger, E. (2016). Implementing city hotel service quality enhancements: Integration of Kano and QFD analytical models. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 25(6), 748-770. doi: <https://doi.org/10.1080/19368623.2016.1096225>
- Kurtuluşoğlu, F. B., Pakdil, F., & Atalay, K. D. (2016). Quality improvement strategies of highway bus service based on a fuzzy quality function deployment approach. *Transportmetrica A: Transport Science*, 12(2), 175202. doi: <https://doi.org/10.1080/23249935.2015.1117535>
- Lam, J. S. L., & Dai, J. (2015). Environmental sustainability of logistics service provider: an ANP-QFD approach. *The International Journal of Logistics Management*, 26(2), 313-333. doi: <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2013-0088>
- Lee, T. R., & Lin, J. H. (2006). Utilizing quality function deployment to select customer voice-based quality improvement technique for 3PL companies. *International Journal of Enterprise Network Management*, 1(2), 179. doi: <https://doi.org/10.1504/ijenm.2006.011703>
- Lee, C. K. M., Ru, C. T. Y., Yeung, C. L., Choy, K. L., & Ip, W. H. (2015). Analyze the healthcare service requirement using fuzzy QFD. *Computers in Industry*, 74, 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.08.005>
- Maalej, S., Halouani, N., & Chabchoub, H. (2018). A linguistic reliable quality function deployment method for the healthcare sector. *International Journal of Multicriteria Decision Making*, 7(3-4), 276-297.
- Murugesan, V.S., Sequeira, A. H., Jauhar, S. K., & Kumar, V. (2020). Sustainable postal service design: integrating quality function deployment from the customer's perspective. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11(2), 494-505. doi: <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00906-6>
- Nikfalazar, S. (2016). Statistical process control application on service quality using SERVQUAL and QFD with a case study in trains' services. *Total Quality Management Journal*, 28(2), 195-215. doi: <https://doi.org/10.1108/TQM-02-2014-0026>
- Novokreshchenova, N. A., Novokreshchenova, O. A., & Terehin, S. E. (2016). Improving bank's customer service on the basis of quality management tools. *European Research Studies*, 19(3), 19-38.
- Pakdil, F., & Kurtuluşoğlu, F. B. (2014). Improving service quality in highway passenger transportation: a case study using quality function deployment. *EJTIR*, 2014(4), 375-393.
- Perçin, S., & Min, H. (2013). A hybrid quality function deployment and fuzzy decision-making methodology for the optimal selection of third-party logistics service providers. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 16(5), 380-397. doi: <https://doi.org/10.1080/13675567.2013.815696>
- Rajesh, R., Pugazhendhi, S., Ganesh, K., & Muralidharan, C. (2011). AQUA: Analytical model for evaluation and selection of Third-Party Logistics service provider in supply chain. *International Journal of Services and Operations Management*, 8(1), 27. doi: <https://doi.org/10.1504/ijssom.2011.037439>
- Sharma, S. K., & Kumar, V. (2015). Optimal selection of third-party logistics service providers using quality function deployment and Taguchi loss function. *Benchmarking: An International Journal*, 22(7), 674-690. doi: <https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2014-0016>

- Ulkuniemi, P., Pekkarinen, S., & Lin, Y. (2011). QFD-based modular logistics service design. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 26(5), 344-356. doi: <https://doi.org/10.1108/08858621111144406>
- Uztürk, D., & Büyüközkan, G. (2016, December). A QFD approach for sustainable warehouse design. In *XIV. International Logistics and Supply Chain Congress* (pp. 257-265).
- Wang, Y. H., Lee, C. H., & Trappey, A. J. (2017). Service design blueprint approach incorporating TRIZ and service QFD for a meal ordering system: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 107, 388-400. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.013>
- Yang, S., Liu, J., Wang, K., & Miao, Y. (2016). An Uncertain QFD Approach for the Strategic Management of Logistics Services. *Mathematical Problems in Engineering*, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/1486189>
- Yang, Q., Chin, K.-S., & Li, Y.-L. (2018). A quality function deployment-based framework for the risk management of hazardous material transportation process. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 52, 81–92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.02.001>
- Yazdani, M., Zarate, P., Coulibaly, A., & Zavadskas, E. K. (2017). A group decision making support system in logistics and supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 88, 376–392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.07.014>
- Yothinsirikul, W., & Thawesaengkulthai, N. (2017). Application of quality function deployment and servqual for design service innovation. In *Proceeding 7th International Seminar on Industrial Engineering and Management*.
- Zawati, O. A. L., & Dweiri, F. (2016, December). Application of Quality Function Deployment to improve smart services applications, Dubai public entity as a case study. In 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (pp. 881-885). IEEE.



Journal of Turkish Operations Management

Bir kamu kurumunun yemekhane bölümündeki tehlike kaynaklarının sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemleriyle önceliklendirilmesi

Gülin Feryal Can^{1*}, Arzum Uzun²

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Ankara

e-mail: gfcan@baskent.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7275-2012>

²İş Sağlığı ve Güvenliği Ana bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Başkent Üniversitesi, Ankara

e-mail: arzumuzun1@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2408-614X>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 14.09.2021

Revize: 08.11.2021

Kabul: 24.11.2021

Anahtar Kelimeler:

Tehlike Kaynağı,
Çok Kriterli Karar Verme,
Sıra Toplamı,
Sıra Kuvveti,
Sıra Karşıtı

Özet

Çalışmada, bir kamu kurumuna ait yemekhanenin mutfak bölümünde risk değerlendirme yapılması gereken tehlike kaynaklarının önceliklendirilmesi amacıyla, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kapsamında, kriter ağırlıklıdırma kullanılan, üç farklı sıralamaya dayalı ağırlıklıdırma yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada amaçlanan, mutfak bölümünden sorumlu olan kişilerin tümünün görüşlerini yansıtarak, tehlike kaynaklarının belirlenmesi ve önceliklendirilmesidir. Bu çalışma ile ilk defa, risk değerlendirme yapılması gereken ve mutfak alanında bulunan tehlike kaynakları belirlenerek önceliklendirilmiştir. Bu kapsamda, Sıra Toplamı (Rank Sum-RS), Sıra Kuvveti (Rank Exponent-RE) ve Sıra Karşıtı (Rank Reciprocal-RR) yöntemleriyle, farklı sorumluların tehlike kaynaklarına ait önceliklerine ilişkin değerlendirmeleri dikkate alınarak tehlike kaynaklarının önem ağırlıkları belirlenmiştir. Sonrasında, üç yöntemden elde edilen farklı ağırlıklıdırma, geometrik ortalama operatörü ile birleştirilmiştir. Bu şekilde, farklı sorumluların bakış açılarını yansıtan, tehlike kaynaklarına yönelik bir risk değerlendirme planı oluşturulmuştur. Bu çalışmada önerilen yaklaşım, kafe, restoran, pastane ya da özel-kamu kuruluşlarının yemekhanelerinde risk değerlendirmesinde, dikkate alınması gereken tehlike kaynaklarının önceliklendirilmesi amacıyla kullanılabilir.

Prioritization of danger sources in the dining hall section of a public institution with rank-based weighting methods

Article Info

Article History:

Received: 14.09.2021

Revised: 08.11.2021

Accepted: 24.11.2021

Keywords:

Danger Source,
Multi-criteria Decision Making,
Rank Sum,
Rank Exponent,
Rank Reciprocal

Abstract

In this study, three different ranking-based weighting methods, used in criterion weighting, were applied within the scope of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, to prioritize the danger sources that need risk assessment in the kitchen section of a public institution's dining hall. This study aims to determine and prioritize the danger sources for which risk assessment should be performed, by reflecting the views of all people responsible for the kitchen section. With this study, for the first time, the danger sources in the kitchen area that need to be risk assessment were identified and prioritized. In this context, the importance weights of danger sources were determined by considering the evaluations of different responsible persons regarding the priorities of the danger sources, using the Rank Sum (RS), Rank Exponent (RE) and Rank Reciprocal (RR) methods. Then, the different weightings obtained from the three methods are combined with the geometric mean operator. In this way, a risk assessment plan for danger sources was created, reflecting the perspectives of different responsible people. The approach proposed in this study can be used to prioritize the danger sources to be considered in risk assessment in cafes, restaurants, patisseries or dining halls of private-public institutions.

1. Giriş

Yapılan araştırmalarda, Ülkemizde yaşanmış olan iş kazalarının yaklaşık %10'luk kısmını, gıda üretim sektöründe yaşanan iş kazalarının oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte, gıda üretim sektörü, ölümlü iş kazası sıralamasında en çok kaza meydana gelen ilk 10 sektör içerisinde yer almaktadır (<https://osgbistanbul.com.tr/gida-urunleri-is-kazalari>, 19.02.2021). İş kazalarının bu kadar fazla yaşandığı bir sektörde, risk değerlendirme çalışmalarının uygulanması ve denetlemelerle sürekliliğinin sağlanması, hem insanların daha güvenli bir ortamda çalışmasını, hem de verimlilik artışını beraberinde getirecektir. Gıda üretim sektöründe yaşanan iş kazalarının nedenleri değişkenlik göstermektedir. Fiziksel, kimyasal, biyolojik, mekanik, elektrik, ergonomik risklerin yanında yangın, kesici delici aletlerle çalışma, kayma, düşme, dikkatsiz davranışlar gibi birçok neden, çalışanların yaralanmalarına veya ölümlerine sebep olmaktadır. Bunların önüne geçebilmek ancak periyodik olarak risk değerlendirme çalışmalarının yapılmasıyla sağlanabilir. Risk değerlendirmesi; işveren veya işveren vekili, iş güvenliği uzmanı ile iş yeri hekimi, çalışan temsilcileri, destek elemanları ve tehlike kaynakları ile ilgili bilgi sahibi çalışanlar tarafından oluşturulan bir ekip tarafından gerçekleştirilir. Risk değerlendirmesi, çalışma ortamlarında bulunan veya dışarıdan gelebilecek, çalışanlara veya iş yerine zarar veya hasar verme potansiyeli olabilecek tehlikelerin kazaya dönüşmeden belirlenmesini, büyüklüklerinin tanımlanmasını ve bu doğrultuda alınacak önlemler için karar verilmesini sağlamak amacıyla yapılmaktadır (Çolak, 2014). Risk değerlendirme ekibi ve çalışanlarla yapılan detaylı gözlemler, görüşmeler, uygulanan doğru önleme çalışmaları, düzenli denetimler ile iş kazaları ve meslek hastalıklarına neden olabilecek tehlikelerin önüne geçilerek, güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak mümkündür (Dinçer ve Utlu, 2017).

Bu çalışmanın amacı; gıda endüstrisinin bir kolu olan, yemek üretimi için kullanılan yemekhanelere ait mutfaklarda ortaya çıkabilecek tehlike kaynaklarının risk değerlendirme açısından önceliklerini belirlemektir. Bu kapsamda, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri arasında bulunan ve kriter ağırlıklandırma amacıyla faydalanan, Sıra Toplamı (Rank Sum-RS), Sıra Kuvveti (Rank Exponent-RE) ve Sıra Karşıtı (Rank Reciprocal-RR) yöntemleri kullanılarak, bir kamu kuruluşuna ait yemekhanenin mutfak bölümündeki tehlike kaynaklarının risk değerlendirme amacıyla önceliklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanılmasının nedeni, mutfak sorumlularının tehlike kaynaklarına ilişkin farklı görüşlerinin yansıtılmak istenmesidir. Söz konusu yöntemlere ait uygulama prosedürlerinin sade ve anlaşılır olması da, yöntemlerin daha hızlı bir şekilde sonuç vermelerini beraberinde getirmektedir. Gerçek hayattaki risk değerlendirme çalışmalarının ilk aşaması olan, tehlike kaynaklarının belirlenmesi süreci ve bu kaynaklarının öncelikli olarak hangisinin değerlendirilmesi gerektiği, uzmanlara bağlı olarak yürütülen süreçlerdir. Risk değerlendirmesi, genellikle bir takım çalışması halinde yürütüldüğü için, takımında bulunan uzmanların her biri farklı bakış açılarına sahip olabilirler. Risk değerlendirmesinde uzmanlar, farklı bakış açılarını uzlaşma yolu ile birleştirmeye ve ortak bir noktaya ulaşmaya çalışırlar. Bu çalışma ile uzmanların farklı bakış açıları, sistematik bir şekilde, sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak birleştirilmiştir. Bu şekilde, uzlaşma amacı ile bilimsel yöntemlerden yararlanıldığı ve tehlike kaynaklarının analizi için önceliklendirme aşaması, daha mantıklı ve sistematik bir şekilde yürütülmüştür. Uzmanların sadece, tehlike kaynaklarını kendi görüşlerine göre birden başlayarak sıralamaları, bu kaynaklara ait ağırlıkların belirlenmesi için yeterlidir. Bu açıdan, bu yöntemlerin avantajlarından risk değerlendirme kapsamında yararlanılmasının önemli olduğu ve pratikte uygulayıcılara fayda sağlayabileceği düşünülmektedir.

Çalışmanın geri kalan bölümlerinin organizasyonu şu şekildedir. İkinci bölümde, gıda sektöründe gerçekleştirilen risk değerlendirme çalışmalarına değinilmiş, üçüncü bölümde, sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemleri anlatılmış ve söz konusu yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen uygulamaya yer verilmiştir. Dördüncü bölümde bulgulardan bahsedilmiştir. Beşinci bölümde, çalışmada kullanılan yöntemlerin ürettikleri sonuçlar risk değerlendirme açısından tartışılmış ve son bölümde ise, çalışmanın sınırlarına ve gelecek dönem çalışma fikirlerine değinilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Bu bölümde, literatürde gıda endüstrisinde risk değerlendirmesinin yapıldığı çalışmalara özetle yer verilmiştir. Çolak (2014), bir gıda firmasında çalışan personelin sağlığını olumsuz etkileyen veya etkileyebilecek riskleri, L Tipi Matris yöntemini kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada, elektrik, doğalgaz vb. ile ilgili risklerin orta risk büyüklüğe sahip oldukları, acil durum işaretlerindeki eksiklikler risk türünün, yüksek risk büyüklüğüne sahip olduğu belirlenmiş ve tanımlanan riskler büyüklüklerine göre sıralanarak, mevzuata uygun bir şekilde alınabilecek önlemler tanımlanmıştır. Orhan (2016), süt ve süt ürünleri üretiminden sevkiyatına kadar olan aşamalarda birçok tehlike kaynağına maruz kalındığını belirtmiştir. Çalışmasında, bir sanayi bölgesinde faaliyet gösteren, üç süt ürünleri üreticisi için Fine-Kinney yöntemini kullanarak, fiziksel, biyolojik ve kimyasal risk türleri değerlendirilmiş ve en riskli çalışma alanının kaşar peyniri üretim alanı olduğu belirlenerek, alınabilecek önlemler

konusunda önerilerde bulunulmuştur. Mutlu (2017) tarafından, gıda endüstrisinin önemli kollarından biri olan kırmızı et üretim sektöründe mevcut ya da yaşanabilecek risklerin değerlendirilmesi amacıyla L Tipi Matris yöntemi uygulanmıştır. 260 tane risk için risk derecesi elde edilmiş, yüksek ve orta dereceli risk türlerinin kabul edilebilir düzeye indirilmesi için önerilerde bulunulmuştur. Akbaş (2016) tarafından, Karaman’da, elma işleme, sebze ve meyve suyu üretim tesisinde Fine-Kinney metodu kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır. Belirlenen riskler konusunda alınabilecek önlemlerle ilgili firmaya, kişisel koruyucu donanım kullanımına dikkat edilmesi, elektrik riski bulunan bölgelerin çalışanlardan uzakta olacak şekilde düzenlenmesi, yalıtkan panolar kullanılması, termal konfor şartlarının kontrol edilmesi, makinelerin çalışma koşullarına, çalışma zeminlerinin kuru ve temiz tutulmasına dikkat edilmesi önerilmiştir. Dinçer ve Utlu (2017), 120 restoranda iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları açısından araştırma yapmışlardır. Araştırmalar sonucunda, yüksekte çalışma nedeniyle düşme, yaralanma, ölüm, davlumbaz içi otomatik söndürme ekipmanlarının etkin çalışmaması nedeniyle yangınların geç söndürülmesi, ekipmanların emniyet anahtarlarının bulunmaması nedeniyle el kesilmesi, yaralanma, uzuv kaybı riskleri en önemli riskler olarak kabul edilmiştir. Mevcut önlemlerin ve alınması gereken ilave önlemlerin açık bir şekilde yer aldığı bu çalışma sonucunda, iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine tam uyum sağlandığında, iş kazalarının ve risklerin gözle görülür derecede azalacağı belirtilmiştir. Katsuro, Gadziray, Taruwona ve Mupararano (2010) tarafından, Zimbabve’deki gıda sektöründe bulunan, kötü koşullara sahip çalışma alanları nedeniyle yaşanan, iş günü kaybıyla sonuçlanan iş kazalarının, verimlilik üzerindeki etkileri araştırılmış; bu kazaların çalışanların motivasyonlarını ve performanslarını düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Stave ve Törner (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, İsveç gıda endüstrisinde çalışan 54 operatörün, el yaralanmalarıyla ilgili görüşleri alınmış ve bu görüşler analiz edilerek, çalışma alanındaki eksiklikler tespit edilmiştir. Meydana gelen kazalarda teknik faktörler, fiziksel faktörler, çevre faktörleri ve çalışma organizasyonuna ilişkin problemler ana etmenler olarak kabulmüş, iletişim eksiklikleri, yetersiz denetim ve prosedürlerde uygulama uyumsuzluklarının da, kazaların oluşumunda etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Evtushenko ve Klepikov (2013), Ukrayna’da gıda imalatı yapan işletmelerde meydana gelen mesleki yaralanmaların, kadın ve erkelere göre dağılımlarını ve yaralanmaların yaş, meslek grubu ve iş deneyimiyle ilişkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, kadın işçilerin, erkek işçilerden 2 kat daha az travma yaşadığı, ölümcül yaralanmaların %66’sından fazlasının, %26,3 ile sürücüler, %17 ile düşük vasıflı işçiler, %11,6 ile operatörler ve %11,3 ile çilingirlerde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca, ölümcül kazaların %57’sinin, yaş ortalaması 30-50 olan çalışanlarda yaşandığı ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, yaklaşık 20 yıl deneyimi olan çalışanlarda yaralanma oranı % 51,3 olarak tespit edilmiş ve bu durumun, profesyonel çalışanlarda sık rastlanan tehlikeye alışma nedeniyle oluştuğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada, eğitim kalitesinin artırılması ve kontrollerin etkin bir şekilde yapılmasıyla, kazalar sonucunda yaşanan olumsuz durumların şiddet düzeyinin düşürülebileceği belirtilmiştir. Yassin ve Elsadig (2013), Hartum Kuzey sanayi bölgesinde, gıda endüstrisinde faaliyet gösteren 32 firmaya ait, endüstriyel hijyen ve iş güvenliği düzeyini belirlemek için olay yeri incelemesi gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda; bu sektöre ilişkin acil durum prosedürlerinin oluşturulması, kişisel koruyucu ekipman kullanımını, ilk yardım ve güvenlik uygulamalarına yönelik çalışmaların yetersiz olduğu belirlenmiştir. Şenoğlu (2014), bir çikolata fabrikasını iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirmiş ve fabrikada elektrik, yangın ve mekanik risk düzeylerinin yüksek olduğunu belirlemiştir. Çalışma kapsamında, OHSAS 18001 standardının işletmede uygulanması sağlanarak, personelin bilgilendirilmesi, acil durum planlarının eksiksiz yapılması, makine koruyucularının bulunması ve elektrik kablolarının kapalı olarak kullanılması gibi önlemlerin uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Mert ve Ercan (2014), 14 su ürünleri üretimi yapan işletmeyi, iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirmişlerdir. İşletmelerde, risk değerlendirmesi ve acil durum planları, çalışanların eğitimi ve bilgilendirilmesi, kişisel koruyucu donanımlar, iş ekipmanı kullanımı, sağlık ve güvenlik işaretleri, yangın söndürme cihazları, ilkyardım ecza dolabı, yemekhane, tuvalet ve lavabo koşulları, soyunma odası, giysi dolabı, çevre düzeni, korkuluklar, zeminler, atık depolama alanları gibi çalışan sağlığını etkileyen 20 tehlike kaynağını belirleyerek incelemeler yapmışlardır. Tehlike kaynakları, 5 puan üzerinden değerlendirilmiş ve genel değerlendirme, 100 puan üzerinden yapılmıştır. Çalışma sonucunda, en yüksek düzeydeki risklerin; işletmede iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarını gerçekleştirecek uzmanların bulunmaması, risk değerlendirme çalışmalarında, acil durum planlarında, eğitimlerde, yangın söndürme cihazları ve sağlık-güvenlik işaretlerinde eksiklikler olduğu tespit edilmiştir. Çoktu (2015), Manisa’da faaliyet gösteren, bir piliç işleme tesisinde, bütün üretim sürecini dikkate alarak, iş sağlığı ve güvenliği yönünden değerlendirmiş ve süreçteki riskleri tespit etmiştir. Tesisin üretim alanlarında belirlendiği 160 farklı riske ait büyüklükleri, Fine-Kinney yöntemi ile tanımlamıştır. Belirlenen bu riskler arasında, çalışan maruziyetine sebebiyet veren ve üretim alanları arasında en riskli olan, amonyak soğutma sisteminde meydana gelebilecek sızıntı tehlikesi, Hata Ağacı yöntemi ile daha detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Sızıntı ihtimalini önlemek amacıyla verilen ilk öneri, Güvenlik Bütünlük Derecesi (Safety Integrity Level-SIL) sertifikalı seviye ölçer ve kontrol cihazları kullanımı olarak belirtilmiştir. Çamurcu ve Seyhan (2015), Türkiye’de tarım sektöründe iş sağlığı ve güvenliğinin kapsamı, işleyişi ve alandaki riskleri değerlendirmişler, yaşanan sağlık sorunları ve iş kazalarını incelemişlerdir. Sonuç olarak, ulaşım ve üretim esnasında, tarımsal uygulamada, alet-makinaların kullanımı, uygun olmayan çevre ve çalışma koşulları nedenleriyle yanık, kırık, elektrik çarpmaları, zehirlenme, kanser, sıtma, tetanos, duyma bozuklukları, depresyon,

ölüm gibi çok çeşitli geçici ve kalıcı hasarların ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Çakır (2015) tarafından, Sivas ve Tokat illerindeki, 4 yıldızlı otel mutfaklarının; OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi kapsamında, ergonomik açıdan uygunlukları görev ve cinsiyet bakımından istatistiksel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, erkek çalışanların kadın çalışanlara göre, ergonomik olarak daha ağır koşullarda çalıştığı belirlenmiştir. Kazaların %48'inin çalışanların, 6 ay-2 yıllık çalışma sürelerinde yaşadıkları ve çalışılan alanların personele uygun olmamasının ergonomik açıdan çalışanları zorladığı tespit edilmiştir. Kazaların azalması için iş sağlığı ve güvenliğine gereken önem verilerek; çalışanlara eğitim verilmesinin, çalışma alanlarının çalışanlara uygun hale getirilmesi konusunda gereken hassasiyetin gösterilmesinin gerektiği sonucuna varılmıştır. Stobnicka ve Gory (2015), gıda endüstrisi ve yem üretim tesisi çalışanlarında, un tozu maruziyetine bağlı olarak, konjoktivit vb. sağlık problemlerinin meydana gelebileceğini tespit etmişler ve bu sektörde, hijyen kurallarına uyumun ve önleyici tedbirlerin öneminden bahsetmişlerdir. Lukács, Schliemann ve Elsner (2016) tarafından, başta deniz, et ürünleri, meyve, sebze, parmesan peyniri, bira olmak üzere, birçok gıda maddesi ile temas sonucu dermatolojik sağlık problemlerinin yaşanabileceği belirtilmiştir. Çalışmada, 72 mutfak çalışanını, ayrıntılı mesleki öyküsü alınmış, klinik muayeneleri, yama testleri, diken testleri ve spesifik alerji (IgE) ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, düzenli mühendislik kontrolleri, güvenli çalışma ortamı oluşturma ve kişisel koruyucu donanım kullanmanın, söz konusu sağlık problemlerini engellemede etkili olabileceği belirlenmiştir. Çetinkaya ve Baykent (2017), Afyon'da bir şekerleme fabrikasında çalışanlarla görüşmeler yaparak, iş yerinin ergonomik koşullara uygunluğu konusunda 0-5 puan aralığında değerlendirme yapmalarını istemişlerdir. Elde edilen verilere göre; gürültü ve titreşim faktörlerine ait düzeylerin, çalışanlar için uygun olmadığı belirlenmiş ve "Zayıf-Düzenlenmeli" olarak tanımlanmıştır. Parlak (2017) tarafından, bir şekerleme-sakız üretim tesisi incelenerek, ortaya çıkabilecek risk etmenleri (fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik, psikososyal, hijyen, kayma-düşme vb.) Fine-Kinney metoduyla değerlendirilmiştir. Taşıma ve kaldırma işlemleri, yüksekte çalışma ve şiddetli gürültü, önemli tehlike kaynakları olarak belirlenmiştir. İşe ve çalışana uygun taşıma sistemlerinin kullanılması, gürültülü ortamları izole etme ve kişisel koruyucu donanım kullandırma gibi alınabilecek önlemler sunulmuştur. Demirbağ ve Karanis (2017), Giresun ilinde faaliyet gösteren ve hazır gıda üretimi yapan bir fabrikada, 18 çalışanla görüşerek, tehlike kaynaklarına ilişkin gözlemlerini ve tutumlarını değerlendirmişlerdir. Ancak çalışanların yeterli bilinç düzeyinde olmadıkları görülmüştür. Daha sonra periyodik olarak; iş sağlığı ve güvenliği konusunda eğitimler verilmesinin, verimliliğe etkisi incelenmiştir. Çalışmada, L Tipi Matris yöntemi kullanılarak eğitim öncesi ve sonrası değerlendirmeler yapılmış ve eğitim sonrası çalışanların tehlike kaynakları ile ilgili farkındalıklarının ve bilinç düzeylerinin arttığı belirlenmiştir. Yılmaz ve Utlu (2017) tarafından, bir et işleme tesisinde kullanılan teknolojik malzemelerin yapılan işi kolaylaştırmasının yanında, bakımlarının ihmal edilmesi ya da dikkatsizlik gibi sebeplerle, çok ciddi yaralanmalara sebebiyet verebileceği belirlenmiş ve makinenin güvenilir olmadığı durumlarda, kişisel koruyucu donanımla güvenliğin sağlanmaya çalışılması üzerinde durulmuştur. Ayrıca elle taşıma, kayıp düşme, yüksekte düşme, taşıt kazaları, kesici, delici aletlerle yaralanma, gıda işleme ve paketleme makinelerini kullanırken sergilenen bilinçsiz davranışlar gibi risk türlerinin de önlenmesi gerektiğinden bahsetmişlerdir. Lourenço, Lima, Gasparve ve Santos (2019), Portekiz'deki 60 gıda işleme tesisinde, iş yerinde güvenlik ve sağlık koşullarının analizi kapsamında bir rapor hazırlamışlardır. Çalışma ortamındaki gürültü, aydınlatma, termal koşullar ve maruz kalınan titreşim düzeyleri ile ilgili risk değerlendirmelerinin yapılmaması ana sorun olarak belirlenmiştir. Rapora göre, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının iyileştirilmesinin gerektiği, yapılmayan risk değerlendirme çalışmalarının eksiksiz bir şekilde gerçekleştirilmesi sonucunda, iş kazalarında gözle görülür şekilde düşüşlerin olacağından bahsedilmiştir. Çetinyokuş ve Yeniay (2019), Ankara Beypazarı'nda havuç üretimi yapan bir tesiste, ortamda bulunan riskleri belirleyerek, analiz etmek amacıyla gözlem yapmışlardır. Çalışmada, L Tipi Matris kullanılmıştır. Depolardaki rutin çalışma sürecinde ortaya çıkabilecek, LPG ve gaz kaçağı sonucu patlama riski, kabul edilemez bir risk olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, yetkili kişilere alınması gereken önlemler konusunda önerilerde bulunulmuştur. Olcay (2019) tarafından, mutfak çalışanlarının iş kazası yaşamalarında önemli rolü olan tehlike kaynaklarının, iş yetiştirme telaşı sonucu hızlı hareket etme ve dikkatsiz davranışlar olduğu belirlenmiştir. Bu kaynakları; fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik, psikososyal olumsuz koşullar ile mekanik ve mekanik olmayan etkenlerin izlediği vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda, iş sağlığı ve güvenliği kapsamındaki önlemlerin uygulanmasıyla iş kazalarında azalışların görülebileceği belirtilmiştir. Üner ve Ayberk (2019), Düzce'de bulunan, 157 mutfak çalışanının meslek hayatları boyunca yaşadıkları kazaların değerlendirilmesi amacıyla bir ölçek geliştirmişlerdir. Elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiş, T testi ve tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Cinsiyet, yaş, meslek grubu, eğitim durumu, iş sağlığı ve güvenliği eğitimi alma durumları gibi demografik bilgiler temel alınarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaya katılan 157 mutfak çalışanının % 42'sini kadın, % 58'ini erkek katılımcılar oluşturmuştur. Söz konusu katılımcıların % 32,5'inin ilköğretim/ortaokul, % 42,0'sinin lise, % 12,7'sinin ön lisans ve %12,7'sinin lisans düzeyinde eğitime sahip oldukları belirlenmiştir. Ayrıca iş sağlığı ve güvenliği alanında, çalışanların % 65'inin eğitim aldıktan sonra, %35'inin ise eğitim almadan mutfak çalışmalarında görev aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Mutfakta en sık karşılaşılan kazaların kesik ve sakatlanmalar olduğu belirlenerek, uygulanabilecek önlemler sunulmuştur. Karadal ve Ova (2020), İzmir'in Bornova ilçesinde faaliyette bulunan bir sosiz ve salam üretim tesisinde, Kontrol Listesi, Birincil Risk Analizi (Preliminary Risk Analysis-PRA), Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects

Analysis-FMEA), Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis-ETA), Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışması (Hazard and Operability Studies-HAZOP) ve risk değerlendirme matrisi metodolojilerinden yararlanarak, et ürünleri işletmesinin ön proses basamaklarında “Gıda Güvenliği Risk Değerlendirme Planı” oluşturmuşlardır. Tesis, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve alerjen tehlikelere göre ayrı ayrı değerlendirilerek, kritik kontrol noktaları belirlenmiş ve risklerin önlenmesine ilişkin önerilerde bulunulmuştur. Mesgari (2020), bir süt işleme tesisinde, L Tipi Matris yöntemiyle risk analizini gerçekleştirerek, üretim aşamalarında meydana gelebilecek sabotaj, taciz, hata/ihmalleri sınıflandırmış ve alınabilecek önlemlere ilişkin önerilerde bulunmuşlardır. Vishnyak, Mashenskaya ve Melbert (2020), gıda endüstrisinde karşılaşılan mesleki riskleri L Tipi Matris ile değerlendirmiştir. İlk olarak, teknik ve organizasyonel kontrollerle sorunu ortadan kaldırma üzerinde durulmuş, daha sonra düzenli denetlemeler, tahliye planları, eğitim ve kişisel koruyucu donanımın kullanımının da, risk derecesini düşürmek amacıyla uygulanabilecek önemli yaklaşımlar olduğu belirtilmiştir.

Literatür araştırmasından da görüldüğü gibi, gıda endüstrisinde gerçekleştirilen risk değerlendirme çalışmalarında genellikle, L Tipi Matris, Fine-Kinney, anket gibi yöntemlerden faydalanılmıştır. Bununla birlikte, bu yöntemler kullanılarak risk türlerine ait büyüklüklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Hiçbir çalışmada, tehlike kaynaklarının önceliklendirilmesi konusunda bir uygulama gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca RS, RE, RR yöntemlerinin de, bu amaçla kullanılmadığı ortaya çıkmıştır. Bu nedenlerle, gerçekleştirilen çalışmanın literatüre ve pratikte uygulayıcılara katkı sağlayabilecek bir çalışma olduğu değerlendirilmektedir.

3. Yöntem

3.1. Sıralama Temelli Ağırlıklandırma Yöntemleri

Sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemleri, kriterlere ağırlık atamak için uygulanan, ikna edici sonuçlar sağlayan yaklaşımlardır. Belirlenen kriterler, karar vericiler tarafından, en önemliden en önemsize doğru sıralanır. Her bir karar vericinin belirlediği kriter sıralamalarının, önem ağırlıklarına dönüştürülmesi için farklı prosedürler uygulanabilir. Sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemlerine, RS, RE ve RR yöntemleri örnek verilebilir. Malczewski (1999) tarafından önerilen bu yöntemler, ÇKKV yöntemleri arasındadır. Malczewski (1999), bu üç sıralama yönteminin sade ve anlaşılır olduğunu ve her türlü karar problemine kolaylıkla uygulanabileceğini belirtmiştir. Aşağıda, bu yöntemlerin uygulama adımlarına yer verilmiştir.

Sıra Toplamı (Runk Sum-RS) Yöntemi: Bu yöntemde, kriterler karar vericiler tarafından önem düzeylerine sıralanır ve Eşitlik (1)'deki gibi bu sıralamalar, ağırlıklara dönüştürülür.

$$w_{jk(RS)} = \frac{n - r_{jk} + 1}{\sum_{j=1}^n n - r_{jk} + 1} \quad (1)$$

Burada,

$w_{jk(RS)}$, j . kriterin k . karar verici için, RS yöntemine göre ağırlık değerini,

n ; kriter sayısını,

r_{jk} ; j . kriterin k . karar vericiye göre önem sırasını göstermektedir.

Sıra Karşıtı (Rank Reciprocal-RR) Yöntemi: Bu yöntemde, kriterler uzmanlar tarafından önem düzeylerine sıralanır ve Eşitlik (2)'deki gibi bu sıralamalar, ağırlıklara dönüştürülür.

$$w_{jk(RR)} = \frac{1/r_{jk}}{\sum_{j=1}^n 1/r_{jk}} \quad (2)$$

Burada,

$w_{jk(RR)}$, j . kriterin k . karar verici için, RR yöntemine göre ağırlık değerini göstermektedir.

Sıra Kuvveti (Rank Exponent-RE) Yöntemi: Bu yöntemde, kriterler uzmanlar tarafından önem düzeylerine sıralanır ve Eşitlik (3)'teki gibi bu sıralamalar, ağırlıklara dönüştürülür.

$$w_{jk(RE)} = \frac{(n - r_{jk} + 1)^p}{\sum_{j=1}^n (n - r_{jk} + 1)^p}; p = 2 \quad (3)$$

Burada,

$w_{jk(RE)}$, j . kriterin k . karar verici için, RE yöntemine göre ağırlık değerini göstermektedir.

p ; kuvvet değeridir.

3.2. Deney Yönetimi

Bu çalışmada, bir kamu kurumunun yemekhanesinde bulunan, mutfak bölümündeki tehlike kaynaklarını önceliklendirmek amacıyla, risk değerlendirme yapılması gereken tehlike kaynakları, üç farklı sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemiyle (RS, RR, RE) değerlendirilmiştir

3.3. Katılımcılar

Çalışmada, ilgili kamu kurumunun yemekhane bölümünde çalışan 4 mutfak sorumlusunun görüşleri yansıtılmaya çalışılmıştır. Söz konusu sorumlular, ÇKKV yöntemleri kapsamındaki uzman grup olarak nitelendirilen karar vericileri oluşturmaktadır. Mutfak sorumluları, $S_k, k = 1, \dots, m$ olarak tanımlanmıştır. Buna göre, Yemek Yönetim Kurulu Başkanı (S_1), Kurul Üyesi 2 Gıda Mühendisi (S_2, S_3), ve 1 mutfaktan sorumlu ustabaşı (S_4) olarak gösterilmiştir.

3.4. Uygulama

Birinci Adım: Mutfak alanıyla ilgili sorumlular belirlenir ve bu kişiler tarafından, çalışma yapılacak mutfak alanı incelenerek tehlike kaynakları listelenir.

ÇKKV kapsamında kriterleri oluşturan tehlike kaynakları, $T_j, j = 1, \dots, n$ olarak ifade edilir. Buna göre, mutfakta risk oluşturabilecek 18 farklı tehlike kaynağı ($T_j, j = 1, \dots, 18$) belirlenmiş ve 4 mutfak sorumlusu ($S_k, k = 1, \dots, 4$) tarafından, bu tehlike kaynakları ayrı ayrı sıralanarak değerlendirilmiştir. Söz konusu sorumlulardan birincisi, 4 yıldır ilgili kurumda çalışan, bayan bir gıda mühendisidir. Kendisi, 12 yıldır gıda mühendisliği mesleğini icra etmektedir. İkinci sorumlu, 8 yıldır ilgili kurumda çalışan, erkek bir gıda mühendisidir. Kendisinin ilk çalıştığı kurum burası olması sebebiyle mesleki deneyimi de 8 yıldır. Üçüncü sorumlu ise, 16 yıldır ilgili kurumda çalışan, erkek, bir mutfak şefidir. Yönetici aşçı pozisyonunda 12 yıldır çalışmaktadır. Dördüncü sorumlu ise, 10 yıldır ilgili kurumda çalışan, erkek bir aşçı yardımcısıdır. Mesleki deneyimi ise 13 yıldır. Çalışmaya katılan sorumluların tehlike kaynakları konusunda uzlaşma sağlanmaları sonucu, dikkate alınması gereken tehlike kaynakları, Tablo 1'de görüldü gibi listelenmiştir. Uzlaşma sağlanabilmesi için her bir sorumlu tarafından mutfak ortamında var olduğu düşünülen tehlike kaynakları tanımlanmıştır. Daha sonra, bu tehlike kaynaklarının sorumlular tarafından listelenmesi istenmiştir. Son aşamada, elde edilen listeler birleştirilerek nihai bir tehlike kaynağı listesi oluşturulmuştur. Sorumluların, belirlenen tehlike kaynaklarını önceliklendirmeleri için hazırlanan sıralama formu da yine, Tablo 1.1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Tehlike Kaynakları Sıralama Formu

Sıra Numarası (T_j)	Tehlike Kaynakları	Öncelik Sırası (r_{jk})
T_1	Kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme	
T_2	Cisimlerin düşmesi	
T_3	Gürültü	
T_4	Uygun olmayan duruş ve çalışma şekilleri	
T_5	Kesici el aletlerinin kullanımı	
T_6	Sabit makina ve tezgâhların kullanımı	
T_7	Emisyonlar ve atıklar	
T_8	Yangın, parlama ve patlama	

T_9	Elle taşıma işleri
T_{10}	Elektrikli aletlerle çalışma
T_{11}	Aydınlatma
T_{12}	Termal konfor koşulları (sıcaklık, nem ve havalandırma)
T_{13}	Kimyasal faktörler (gaz ve buharlar, solventler, tozlar)
T_{14}	Biyolojik ajanlar (mikroorganizmalar, bakteriler, virüsler)
T_{15}	Tekrarlı olarak yapılan hareketlerin kas-iskelet sistemine zarar vermesi
T_{16}	İş stresi
T_{17}	Kapalı alanda çalışma
T_{18}	Olumsuz kişisel faktörler (dikkatsizlik, yorgunluk, aldırmaçlık, anlama güçlüğü, öfke, kavga etmek)

İkinci Adım: Mutfak sorumluları tarafından tehlike kaynakları önem düzeylerine göre sıralanır.

Bu adımda, her bir sorumlu, T_j 'ler için r_{jk} değerlerini belirler. Her bir sorumlunun tehlike kaynaklarına ilişkin sıralaması, Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Her bir sorumlunun tehlike kaynaklarına ilişkin sıralaması

Tehlike Kaynakları (T_j)	S_1 (r_{j1})	S_2 (r_{j2})	S_3 (r_{j3})	S_4 (r_{j4})
T_1	1	2	1	2
T_2	16	18	18	16
T_3	15	17	12	15
T_4	12	12	7	11
T_5	3	4	5	1
T_6	13	14	15	14
T_7	14	13	14	13
T_8	17	1	13	12
T_9	4	5	3	3
T_{10}	5	6	4	4
T_{11}	18	16	16	14
T_{12}	6	7	10	5
T_{13}	8	9	11	7
T_{14}	9	8	2	6
T_{15}	7	10	9	10
T_{16}	10	11	8	8
T_{17}	11	15	17	18
T_{18}	2	3	6	9

Tablo 2'den de görüldüğü gibi, S_1 için en önemli tehlike kaynağı T_1 , S_2 için en önemli tehlike kaynağı T_8 , S_3 için en önemli tehlike kaynağı T_1 ve S_4 için en önemli tehlike kaynağı T_5 olarak ortaya çıkmıştır.

Üçüncü Adım: Elde edilen tehlike kaynaklarına ait sıralamalar, RS, RR ve RE yöntemleri kullanılarak, her bir sorumlu için önem ağırlıklarına dönüştürülür.

Eşitlik (1), (2) ve (3)'ün kullanılmasıyla her bir sorumlu için RS, RR ve RE yöntemleri uygulanarak, $w_{jk(RS)}$, $w_{jk(RR)}$, $w_{jk(RE)}$ değerleri elde edilmiş ve örnek olması açısından sırasıyla Tablo 3, Tablo 4'te birinci ve ikinci sorumlular için tehlike kaynaklarının üç farklı yöntem göre ağırlıkları gösterilmiştir.

Tablo 3. Birinci sorumluya ait RS, RR, RE yöntemlerine göre elde edilen ağırlıklar

Tehlike Kaynakları (T_j)	$w_{j1(RS)}$	$w_{j1(RR)}$	$w_{j1(RE)}$
T_1	0,105	0,286	0,154
T_2	0,018	0,018	0,004
T_3	0,023	0,019	0,008
T_4	0,041	0,024	0,023
T_5	0,094	0,095	0,121
T_6	0,035	0,022	0,017
T_7	0,029	0,020	0,012
T_8	0,012	0,017	0,002
T_9	0,088	0,072	0,107
T_{10}	0,082	0,057	0,093
T_{11}	0,006	0,016	0,000
T_{12}	0,076	0,048	0,080
T_{13}	0,064	0,036	0,057
T_{14}	0,058	0,032	0,047
T_{15}	0,070	0,041	0,068
T_{16}	0,053	0,029	0,038
T_{17}	0,047	0,026	0,030
T_{18}	0,099	0,143	0,137
TOPLAM	1,000	1,000	1,000

Tablo 4. İkinci sorumluya ait RS, RR, RE yöntemlerine göre elde edilen ağırlıklar

Tehlike Kaynakları (T_j)	$w_{j2(RS)}$	$w_{j2(RR)}$	$w_{j2(RE)}$
T_1	0,099	0,143	0,137
T_2	0,006	0,016	0,000
T_3	0,012	0,017	0,002
T_4	0,041	0,024	0,023
T_5	0,088	0,072	0,107
T_6	0,029	0,020	0,012
T_7	0,035	0,022	0,017
T_8	0,105	0,286	0,154
T_9	0,082	0,057	0,093
T_{10}	0,076	0,048	0,080
T_{11}	0,018	0,018	0,004
T_{12}	0,070	0,041	0,068
T_{13}	0,058	0,032	0,047
T_{14}	0,064	0,036	0,057
T_{15}	0,053	0,029	0,038
T_{16}	0,047	0,026	0,030
T_{17}	0,023	0,019	0,008
T_{18}	0,094	0,095	0,121
TOPLAM	1,000	1,000	1,000

Dördüncü Adım: Her bir sorumluya ait RS, RR ve RE yöntemleri kullanılarak belirlenen ağırlıklar, geometrik ortalama ile birleştirilir.

Her bir sorumlu için, RS, RR ve RE yöntemlerinden elde edilen, tehlike kaynaklarına ait ağırlık değerlerinin geometrik ortalaması w_{jk} olarak ifade edilir ve Eşitlik (4)'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$w_{jk} = \sqrt[3]{w_{jk(RS)} \times w_{jk(RR)} \times w_{jk(RE)}} \quad (4)$$

Her bir sorumlu için w_{jk} değerleri sırasıyla, Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Sorumlulara ait w_{jk} değerleri

Tehlike Kaynakları (T_j)	S_1 (w_{j1})	S_2 (w_{j2})	S_3 (w_{j3})	S_4 (w_{j4})
T_1	0,167	0,125	0,167	0,124
T_2	0,011	0,004	0,004	0,011
T_3	0,015	0,007	0,028	0,015
T_4	0,028	0,028	0,058	0,033
T_5	0,103	0,087	0,076	0,165
T_6	0,024	0,019	0,015	0,019
T_7	0,019	0,024	0,019	0,023
T_8	0,007	0,167	0,024	0,028
T_9	0,087	0,076	0,103	0,102
T_{10}	0,076	0,066	0,087	0,087
T_{11}	0,004	0,011	0,011	0,019
T_{12}	0,066	0,058	0,039	0,075
T_{13}	0,051	0,045	0,033	0,057
T_{14}	0,045	0,051	0,125	0,066
T_{15}	0,058	0,039	0,045	0,038
T_{16}	0,039	0,033	0,051	0,050
T_{17}	0,033	0,015	0,007	0,003
T_{18}	0,125	0,103	0,066	0,044
TOPLAM	1,000	1,000	1,000	1,000

Tablo 5'ten de görüldüğü gibi, birinci sorumluya ait w_{j1} değerlerine göre, en önemli ilk üç tehlike kaynağı sırasıyla; kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme, olumsuz kişisel faktörler ve kesici el aletlerin kullanımı olarak belirlenmiştir. En önemsiz tehlike kaynağı ise, aydınlatma eksiklikleri olarak ortaya çıkmıştır. İkinci sorumluya ait w_{j2} değerlerine göre, en önemli ilk üç tehlike kaynağı sırasıyla; yangın, parlama ve patlama, kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme, olumsuz kişisel faktörler olarak belirlenmiştir. En önemsiz tehlike kaynağı ise, cisimlerin düşmesi olarak tanımlanmıştır. Üçüncü sorumluya ait w_{j3} değerlerine göre, en önemli ilk üç tehlike kaynağı sırasıyla; kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme, biyolojik ajanlar ve elle taşıma işlemleri olarak belirlenmiştir. En önemsiz tehlike kaynağı ise, cisimlerin düşmesi olarak görülmüştür. Dördüncü sorumluya ait w_{j4} değerlerine göre, en önemli ilk üç tehlike kaynağı sırasıyla; kesici el aletlerinin kullanımı, kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme ve elle taşıma işlemleri olarak belirlenmiştir. En önemsiz tehlike kaynağı ise, kapalı alanda çalışma olarak görülmüştür.

Beşinci Adım: Her bir sorumlu için RS, RR ve RR yöntemlerinden elde edilen ağırlıkların birleştirilmesiyle hesaplanan ağırlık değerleri, geometrik ortalama kullanılarak birleştirilir.

Bu adımda, tehlike kaynaklarına ait nihai sıralamayı elde etmek için, son ağırlıklar olarak ifade edilen w_j değerleri, w_{jk} değerlerinin Eşitlik (5)'te gösterildiği gibi, geometrik ortalaması alınarak elde edilir.

$$w_j = \sqrt[3]{w_{j1} \times w_{j2} \times w_{j3} \times w_{j4}} \quad (5)$$

Tablo 6'da w_j değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6. Tehlike kaynaklarına ait nihai ağırlıklar

Tehlike Kaynakları (T_j)	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
w_j	0,144	0,007	0,014	0,035	0,103	0,019	0,021	0,030	0,091

Tehlike Kaynakları (T_j)	T_{10}	T_{11}	T_{12}	T_{13}	T_{14}	T_{15}	T_{16}	T_{17}	T_{18}
w_j	0,078	0,010	0,058	0,046	0,066	0,044	0,043	0,010	0,078

Tablo 6’da yer alan w_j değerlerine göre, ilk üç tehlike kaynağının kayma, takılma ve düşme, kesici aletlerin kullanımı ve elle taşıma işlemleri olduğu belirlenmiştir. Sorumlulara göre en önemsiz tehlike kaynağının % 0,7 ağırlık ile cisimlerin düşmesi olduğu tespit edilmiştir.

4. Bulgular

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, uygulamanın yapıldığı yemekhanenin mutfağında, iş sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturacağı düşünülen tehlike kaynaklarına ait öncelik sıralaması, $T_1 > T_5 > T_9 > T_{18} \geq T_{10} > T_{14} > T_{12} > T_{13} > T_{15} > T_{16} > T_4 > T_8 > T_7 > T_6 > T_3 > T_{11} \geq T_{17} > T_2$ şeklinde elde edilmiştir. Buna göre, en yüksek önem ağırlığı %14,40 ile kayma, takılma ve düşme olarak belirlenmiştir. İkinci sırada, %10,30 ile kesici el aletlerin kullanımı, üçüncü sırada ise, %9,91 ile elle taşıma işleri yer almaktadır. Bu kapsamda, en yüksek önem ağırlığına sahip tehlike kaynağından başlanmak üzere, bu kaynağın yaratabileceği riskleri azaltabilecek önlemlerin alınmasına öncelik verilmelidir. Yine elde edilen sonuçlara göre, cisimlerin düşmesi %0,7 ağırlık değeriyle, en düşük önem ağırlığına sahip tehlike kaynağı olarak belirlenmiştir.

En yüksek önem ağırlığına sahip olan, kayma, takılma ve düşme, çalışanlarda düşme şiddetine bağlı olarak geçici veya kalıcı sakatlıklara yol açabilmektedir. Bu nedenle, mutfak çalışmaları için bu tehlike kaynağı önemlidir ve öncelikle önlem alınması gerekmektedir. Mutfak çalışmalarının hijyenik ortamlarda gerçekleştirilmesi için zemin temizliği sıkça yapılmalıdır. Temizlik sonrası gerekli durulamanın yapılmadığı, uygun ayakkabı giyilmediği, düzenli bir ortamda çalışılmadığı ve aceleci davranışlar sergilendiği durumlarda, kayma, takılma ve düşme gibi kazalara çoğunlukla rastlanılmaktadır. Bu nedenle elde edilen sıralamada, öncelikli bir tehlike kaynağı olarak ortaya çıkması mantıklıdır. İlgili tehlike kaynağına bağlı risklerin önlenmesi için, mümkünse mutfak zeminlerinin sudan etkilenmeyen bantlar veya epoksi malzemelerle döşenmesine değil ise; zeminlerin her daim temiz ve kuru olmasına dikkat edilmelidir. Bununla birlikte, uyarı levhaları ile çalışanların dikkatlerinin çekilmesi sağlanmalı, bu alanlarda giyilmek üzere, çalışanlara uygun, kaydırmaz tabanlı ayakkabılar kullanılması sağlanmalıdır. Ayrıca, çalışanlara, bu tehlike kaynağı ile ilgili gerekli eğitimler verilerek, farkındalıklarının ve bilinç düzeylerinin artırılması sağlanmalıdır.

Önem ağırlığında ikinci sırada, kesici el aletleri ve makinelerin kullanımı tehlike kaynağı yer almaktadır. Kesici el aletleri ve makineler, mutfak çalışmalarında sıkça yararlanılan, doğru kullanıldığında çalışanlara büyük kolaylık sağlayan gereçlerdir. Dikkat edilmediğinde ise, çalışanları yaralayarak, uzuv kayıplarına sebep olabilmektedir. Kesici mekanik aletlerin kullanımı konusunda, çalışanlara gerekli eğitimler verilmelidir. Kişisel koruyucu donanım kullanımı gerektiren aletler var ise, bu tür aletlerle birlikte çalışılırken, düzenli bir şekilde sorumlular tarafından çalışanlar denetlenmelidir. Bununla birlikte çalışanlar, kesici aletleri gerekli ürünlerde kullanmalı ve üzerlerinde taşınmamalıdır.

En düşük önem ağırlığı, sorumlular tarafından cisim düşmesi tehlike kaynağına verilmiştir. Mutfakta kullanılan ana malzemeler genellikle, sabitlenmiş olarak bulundurulur. Çalışanlar düşünülerek, ortalama boy hizasında tasarlanan raflar ve saklama dolaplarının olması, zorlama, çekiştirme vb. durumlara maruziyetin çok düşük olmasını beraberinde getirmekte ve buna bağlı bir kaza yaşanma olasılığını düşürmektedir. Bu nedenle, sorumlular tarafından en düşük önem ağırlığı, bu tehlike kaynağına verilmiştir. Ayrıca, cisimlerin düşmesine sebep olabilecek durumlar, düzenli denetimler ve çalışanların dikkati ile kaza olmadan, kolaylıkla fark edilebilmektedir.

Çalışmada, RS, RR ve RE olmak üzere üç farklı ağırlıklandırma yöntemine göre, her bir karar verici için tehlike kaynaklarına ilişkin ağırlıklar belirlenmiştir. Buna göre, aşağıda yer alan Tablo 7’de, üç yöntem göre, her bir karar verici için en önemli ilk üç tehlike kaynağı gösterilmiştir.

Tablo 7. Her bir karar verici için RS, RR ve RE yöntemlerine göre belirlenen ilk üç tehlike kaynağı

İlk Üç Tehlike Kaynağına Ait Sıralama	S_1			S_2			S_3			S_4		
		$w_{j_1(RS)}$	$w_{j_1(RR)}$	$w_{j_1(RE)}$	$w_{j_2(RS)}$	$w_{j_2(RR)}$	$w_{j_2(RE)}$	$w_{j_3(RS)}$	$w_{j_3(RR)}$	$w_{j_3(RE)}$	$w_{j_4(RS)}$	$w_{j_4(RR)}$

1	T_1	T_1	T_1	T_8	T_8	T_8	T_1	T_1	T_1	T_5	T_5	T_5
2	T_{18}	T_{18}	T_{18}	T_1	T_1	T_1	T_{14}	T_{14}	T_{14}	T_1	T_1	T_1
3	T_5	T_5	T_5	T_5	T_5	T_5	T_9	T_9	T_9	T_9	T_9	T_9

Tablo 7'den de görüldüğü gibi, S_1 ve S_3 için en önemli tehlike kaynağı kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme (T_1), S_2 için yangın, parlama ve patlama (T_8), S_4 için ise, kesici el aletlerinin kullanımı (T_5) olarak belirlenmiştir. İkinci sırada önemli olan tehlike kaynakları ise, S_1 için olumsuz kişisel faktörler (T_{18}), S_2 ve S_4 için kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme (T_1), S_3 için biyolojik ajanlar (T_{14}) olarak belirlenmiştir. Üçüncü sırada önemli olan tehlike kaynakları incelendiğinde, S_1 ve S_2 için kesici el aleti kullanımı (T_5), S_3 ve S_4 için elle taşıma işlemleri (T_9) olarak ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi, RS, RR ve RE yöntemleri, her bir uzman için ilk üç sıradaki tehlike kaynaklarını aynı şekilde belirlemiştir. Buradan, söz konusu üç yöntemin sadece uzmanların sıralamalarını değerlendirme şekillerinin farklı olduğu söylenebilir.

Bununla birlikte, Tablo 8'de, her bir uzmana ait w_{jk} değerlerine göre, ilk üç sırada olduğu belirlenen tehlike kaynaklarına yer verilmiştir.

Tablo 8. Her bir sorumluya ait w_{jk} değerlerine göre belirlenen ilk üç sıradaki tehlike kaynağı

İlk Üç Tehlike Kaynağına Ait Sıralama	S_1 (w_{j1})	S_2 (w_{j2})	S_3 (w_{j3})	S_4 (w_{j4})
1	T_1	T_8	T_1	T_5
2	T_{18}	T_1	T_{14}	T_1
3	T_5	T_{18}	T_9	T_9

Tablo 8'den de görüldüğü gibi, S_1 ve S_3 için kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme (T_1), S_2 için yangın, parlama ve patlama (T_8), S_4 için kesici el aletleri kullanımı (T_5) birinci önem sırasındadır. İkinci sıradaki tehlike kaynakları, S_1 için olumsuz kişisel faktörler (T_{18}), S_2 ve S_4 için kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme (T_1), S_3 için biyolojik ajanlar (T_{14}) olarak belirlenmiştir. Üçüncü sıradaki tehlike kaynakları ise, S_1 için kesici el aletlerinin kullanımı (T_5), S_2 için olumsuz kişisel faktörler (T_{18}), S_3 ve S_4 için elle taşıma işlemleri (T_9) olarak tanımlanmıştır.

5. Tartışma

Yemekhaneler, yoğun bir şekilde hizmet üretimi ve sunumunun gerçekleştirildiği alanlardır. Bu alanlarda, önlem alınmayan tehlikeler hızlı bir şekilde çalışanların sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. Yapılmayan veya eksik olarak yapılan risk değerlendirme çalışmaları, iş kazası sayılarında artışı beraberinde getirmektedir. Bunun sonucunda, çalışanların motivasyonu ve çalışma performansı da düşmektedir (Katsuro et al., 2010). Bu nedenle, yemekhane ortamlarındaki risk seviyesinin olabildiğince alt seviyelere indirilmesi gerekmektedir.

Çalışmada, bir kamu kurumunun yemekhanesine ait mutfak bölümündeki tehlike kaynaklarının sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemleriyle önceliklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, belirlenen dört yemekhane sorumlusu tarafından yapılan gözlemler sonucunda, 18 tehlike kaynağı tanımlanmış ve sorumlular, belirlenen tehlike kaynaklarını kendi bakış açılarına göre sıralamışlardır. Tehlike kaynaklarının sorumlular tarafından belirlenen önem ağırlıkları, ÇKKV yöntemlerinden, RS, RE ve RR yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Ardından, farklı yöntemlerle belirlenen tehlike kaynaklarına ait ağırlıklar, geometrik ortalama ile birleştirilerek, her bir sorumlu için tehlike kaynaklarının öncelikleri tanımlanmıştır. Son olarak, dört sorumlu tarafından belirlenen ağırlıklar, yine geometrik ortalama operatörü ile nihai ağırlıklara çevrilerek, tehlike kaynaklarına ilişkin son sıralamalar elde edilmiştir. Böylece önerilen yaklaşımla, hem farklı ağırlıklandırma yöntemlerinin bakış açıları hem de, sorumluların düşünceleri sonuçlara dahil edilmiştir. Literatürde, bu kapsamda gerçekleştirilen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tablo 6'da yer alan w_j değerlerine göre, ilk üç tehlike kaynağının kayma, takılma ve düşme (T_1), kesici aletlerin kullanımı (T_5) ve elle taşıma işlemleri (T_9) olduğu belirlenmiştir. Bu sıralama da, RS, RR ve RE yöntemlerinden elde edilen sıralamalarla ve w_{jk} değerlerine göre elde edilen sıralamalarla uyum göstermektedir. Bu açıdan, kullanılan yöntemlerin mantıklı bir sıralama sunduğu söylenebilir. w_{jk} değerlerine bakıldığı zaman

sorumlular genel olarak T_1 , T_5 ve T_9 'u ön plana çıkarmışlardır. Yine, RS, RR ve RE yöntemlerine göre her bir sorumlu açısından sonuçlar incelendiğinde T_1 , T_5 ve T_9 'un önemsendiği görülmektedir.

6. Sonuçlar

Çalışmada, farklı uzmanların tehlike kaynaklarına ilişkin öncelikleri, uygulaması basit ve kısa zaman alan sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak, tehlike kaynaklarının önem ağırlıklarına dönüştürülmüştür. Ardından, üç farklı yöntemden elde edilen söz konusu ağırlıklar birleştirilerek, farklı yöntemlerden ve farklı uzmanlardan elde edilen bütünleştirilmiş önem ağırlıkları elde edilmiştir. Bu şekilde, mutfak bölümünde risk değerlendirmesinin öncelikle yapılması gerektiği tehlike kaynakları tanımlanmıştır.

Çalışmanın en büyük avantajı, hızlı bir şekilde uygulanabilen sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemleri ile risk değerlendirmesinin ilk aşamasını oluşturan, öncelik verilmesi gereken tehlike kaynaklarının belirlenmesine yönelik pratik ve çok yönlü bir yaklaşım sunmasıdır. Üç farklı sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemi uygulanarak, farklı uzmanların bakış açıları birleştirilmiş ve tehlike kaynaklarına ilişkin uzlaşılan bir öncelik sıralaması elde edilmiştir. Çalışmada uygulamayı sınırlayan koşullar ise, sadece bir kamu kurumunun yemekhanesinin mutfak bölümünde uygulanması ve az sayıda mutfak sorumlusu ile değerlendirmenin yapılmasıdır.

Gelecekteki çalışmalarda, bu tür kurumların mutfaklarından yemek hizmeti alan çalışanların da tehlike kaynaklarına ilişkin görüşleri alınabilir. Böylece çalışma, mutfak bölümü ile sınırlı kalmayıp yemekhanenin geneli için gerçekleştirilebilir. Önceliklendirilen tehlike kaynakları nedeniyle ortaya çıkabilecek risk türleri belirlenerek, bu risklerin büyüklükleri önerilen sıralama temelli ağırlıklandırma yöntemleri elde edilebilir. Ayrıca çalışmada, önceliklendirilen tehlike kaynaklarına yönelik alınan önlemlerin etkinlikleri belirlenebilir. Bununla birlikte önerilen yaklaşım, gıda sektöründeki farklı yemekhane, restoran, pastane vb. yerler için de kullanılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Gülin Feryal CAN, makalenin oluşturulması, bilimsel yayın araştırması, yöntem seçimi, analizlerin yapılması; Arzun UZUN, bilimsel yayın araştırması, makalenin sonuçlar bölümünün hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akbaş, E.S. (2016). *Sebze ve meyve suyu imalatında faaliyet gösteren bir işletmede risk değerlendirmesi* (Uzmanlık Tezi), T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim adresi: <https://www.csgb.gov.tr/media/1398/ebusedaakbas.pdf>

Gıda Ürünleri İmalat Sanayi Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Ana Nedenleri. (2020). Erişim adresi: <https://osgbistanbul.com.tr/gida-urunleri-is-kazalari/>.

Çakır, H.A. (2015). *OHSAS 18001 iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi kapsamında otel mutfaklarının ergonomik açıdan incelenmesi: Bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi Tezi), İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İzmir. Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/126297/yokAcikBilim_10067736.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

Çamurcu, S. ve Seyhan, T.G. (2015). Tarım sektöründe iş sağlığı ve güvenliği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 549-552. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/195504>

Çetinkaya, F. ve Baykent, G.F. (2017). İşyeri çalışma ortamı koşullarının ergonomik yönden incelenmesi (Örnek: Şekerleme Firması). *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 15-31. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/usufedbid/issue/37508/433337>

- Çetinyokuş, S. ve Yeniay, E. (2019). Havuç üretim tesisinde iş sağlığı ve güvenliği üzerine risk analizi. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 2(3), 5-10. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/935425>
- Çolak, N. (2014). *İş sağlığı ve iş güvenliğinde risk analizi: gıda sektöründe bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul. Erişim adresi: <http://openaccess.maltepe.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12415/745>
- Çoktu, A.K. (2015). *Piliç işleme ve değerlendirme tesisinde risk değerlendirmesi* (Uzmanlık Tezi). T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim adresi: <https://www.isgrehberim.com/wp-content/uploads/2021/11/PILIC-ISLEME-VE-DEGERLENDIRME-TESISINDE-RISK-DEGERLENDIRMESI.pdf>
- Demirbağ, B.C. ve Karanis, K. (2017). Risk Etmenlerine Yönelik Verilen Eğitimin Etkinliğinin Değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(3), 92-97. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gumussagbil/issue/31206/361843>
- Dinçer, Ö. ve Utlu, Z. (2017). Restoran sektöründe yaşanan iş kazalarını önlemede iş sağlığı ve güvenliğinin önemi ve risk analizlerinin yapılması. *Aydın Gastronomy*, 1(2), 41-50. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/aydingas/issue/37989/439401>
- Evtushenko, O. & Klepikov, I. (2013). *Exploration of occupational injuries in food industry of Ukraine* (Yüksek Lisans Tezi), Electronic National University of Food Technologies Institutional Repository, Ukrayna. Erişim adresi: <http://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/8960>
- Karadal, N. ve Ova, G. (2020). Sosis ve salam üretimindeki ön proses işlemlerinde gıda güvenliğinin farklı metodlarla belirlenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 84-102, doi: [10.33484/sinopfbid.635778](https://doi.org/10.33484/sinopfbid.635778)
- Katsuro, P., Gadziray, C. T., Taruwona, M. & Mupararano, S. (2010). Impact of occupational health and safety on worker productivity: A case of Zimbabwe food industry. *African Journal of Business Management*, 4(13), 2644-2651, doi: [10.5897/AJBM.9000331](https://doi.org/10.5897/AJBM.9000331)
- Lourenço, M., Lima, T.M., Gasparve, P.D. & Santos, F.C. (2019). *Assessment and improvement opportunities for occupational health and safety in the Portuguese food processing industry. Occupational and Environmental Safety and Health*, Springer, Cham, 731-738. Erişim adresi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14730-3_76
- Lukács, J., Schliemann, S. & Elsner, P. (2016). Occupational contact urticaria caused by food – A systematic clinical review. *Contact Dermatitis*, 75(4), 195-204, doi: [10.1111/cod.12653](https://doi.org/10.1111/cod.12653)
- Malczewski (1999). *GIS and Multicriteria decision analysis*. New York, NY: Wiley. Erişim adresi: https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=ZqUsEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA393&dq=GIS+and+Multicriteria+decision+analysis&ots=6H118emD7X&sig=YkmNI5BCz_j4QeUdIx_9bzhEbRU&redir_esc=v#v=onepage&q=GIS%20and%20Multicriteria%20decision%20analysis&f=false
- Mert, B. ve Ercan, P. (2014). Su ürünleri sektöründe iş sağlığı ve güvenliği. *TÜBAV Journal of Science*, 7(4), 15-27. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/tubav/issue/21537/231001>
- Mesgari, F. (2020). *Süt farikalarında iş sağlığı ve güvenliği risk analizi uygulamaya ilişkin bir örnek* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/124197>
- Mutlu T. (2017). *Kırmızı et sektöründe iş sağlığı ve güvenliği değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara. Erişim adresi: <http://acikerisim.ybu.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/1750>
- Olcay Z.D. (2019). Mutfakta iş sağlığı ve güvenliği. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 14(53), 21-34. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/abmyoder/issue/50421/653871>

Orhan A. (2016). *Süt ürünleri imalatında risk değerlendirmesi* (Uzmanlık Tezi). T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim adresi: <https://www.csgb.gov.tr/media/1370/ayseorhan.pdf>

Parlak T. (2017). *Sakız-şekerleme üretim fabrikası risk analizi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Gedik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=Bn7pUwzRpbuecEa2kpOMGA&no=rgFJh4yaQKPflu5_4wdmDg

Stave, C. & Törner, M. (2007). Exploring the organizational preconditions for occupational accidents in the food industry: A qualitative approach, *Safety Science*, 45(3), 355-371, doi: [10.1016/j.ssci.2006.07.001](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.07.001)

Şenoğlu, Y. (2014). *Bir çikolata fabrikasında OHSAS 18001 iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi standardının uygulanması* (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ. Erişim adresi: <http://acikerisim.nku.edu.tr:8080/xmlui/handle/20.500.11776/667>

Stobnicka, A. & Gory, R.L. (2015). Exposure to flour dust in the occupational environment. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(3), 241-249, doi: [10.1080/10803548.2015.1081764](https://doi.org/10.1080/10803548.2015.1081764)

Üner, M.H. & Ayberk, H.S. (2019). Düzce ilindeki mutfak çalışanlarının genel bilgileri ile kaza geçirme oranlarının incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 849-860, doi: [10.29130/dubited.502022](https://doi.org/10.29130/dubited.502022)

Vishnyak, M.N., Mashenskaya, E.A. & Melbert, A.A. (2020). Occupational risk assessment method for food industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 459(2), 022038, IOP Publishing, doi: [10.1088/1755-1315/459/2/022038](https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022038).

Yassin, K.E., & Elsadig, N.I. (2013). Industrial hygiene and occupational safety assessment in Khartoum north: a case study of food and beverages industries. *University of Khartoum Engineering Journal*, 3(1), 26-30. <file:///C:/Users/G%C3%BCLin/Downloads/nosaibahygene128-449-1-PB.pdf>

Yılmaz, G. & Utlu, Z. (2017). Gıda imalat sektöründeki teknolojik gelişmelerin iş sağlığı güvenliği üzerindeki etkilerin incelenmesi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 44, 1-14. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/abmyoder/issue/46666/585110>



Journal of Turkish Operations Management

Performance measurement in cargo distribution center: a case study

Pervin Ersoy¹, Burak Çetiner^{2*}

¹Yaşar Üniversitesi, İzmir

e-mail: pervin.ersoy@yasar.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8196-0158>

²Yaşar Üniversitesi, İzmir

e-mail: burak.cetiner@yasar.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-3035-7783>

*Sorumlu Yazar

Article Info

Article History:

Received: 19.10.2021

Revised: 13.12.2021

Accepted: 31.12.2021

Keywords:

Cargo Transportation,
Service Quality,
Distribution Center,
Performance Measurement

Abstract

Cargo transportation is a key element for an effective and properly functioning logistics chain. Due to the role it plays in overall logistics chain performance, it is important for cargo firms to be at their peak level in terms of provided service quality and implementation. Continuous performance evaluation is critical for diagnosing and preventing any problems that might disrupt the firms' ability to keep providing their services and further prevent customer dissatisfaction. Therefore, the aim of this paper is identifying the problems that cause the performance of Company X's distribution center located in İzmir to stay below desired levels, which consequently lead to customer dissatisfaction, and to offer a feasible solution for the identified problems. In order to identify underlying problems, performances of two distribution centers located in different cities are compared and improvements for worker performance, workload distribution, and processes are suggested.

1. Introduction

Focusing on supply chain management (SCM) has pushed companies to reconsider their business strategies. The concept of SCM requires coordination, communication and cooperation within the supply chain with other businesses. Many of the businesses known for mastering SCM, such as Walmart, Toyota, and Cisco, are large firms that dominate their supply chains. Companies need to focus on using best SCM practices, sharing information with their suppliers, reducing inventory, and investing in new technologies because of their sheer size.

Third-party logistics companies (3PLs) have grown into such a leadership role, acting as a key "orchestrator" within the supply chain to assist in promoting best SCM practices. 3PLs use different performance measurement tools to keep on enhancing their activities and improve their competitiveness. Working in today's challenging market forces companies to design an effective procurement process to gain competitive advantage. Mathematical models and certain performance measurement tools provide critical data that can be utilized by managers in settling on strategic and operational choices.

Managers that have access to important data regarding their operations can utilize them in order to overcome the challenges that may be faced during processes. In order to remain competitive and provide value to consumers, it is crucial for business to be effective and efficient in all business processes, focus on core competencies and outsource functions that third parties can perform more efficiently (Zacharia, Sanders, & Nix, 2011).

3PLs use performance measurement tools to enhance their activities where needed and improve their competitiveness. The quality of service is vital for the survival of any organization. It is the intuitive procedure by which the association comprehends the service and satisfies their necessities. The quality of logistics service performance is a key marketing component that helps create customer satisfaction.

Company X is one of the globe's leading companies in logistics business; therefore, it must keep track several aspects of its businesses in every country they are currently operating. As measuring the performances of all of their DCs can prove to be a highly complex, time and resource demanding issue due to the vast number of

employees and facilities owned, Company X uses its own calculation method specifically designed for their operations in order to measure the performance of their DCs.

In this study, primary data was collected from the Company X, calculated, and used to compare the performance values of the Company X's DCs in two largest and most populous cities in Turkey. The main purpose of this study is to understand the factors which could be causing this lower level performance seen in İzmir DC in comparison to İstanbul DC and propose different solution options in order to achieve an increase in performance. For performance measurement a multi-criteria decision making method implemented by the company, "Package Per Hour (PPH)", will be used.

This study consists of literature review, methodology, data collection and analysis, findings, conclusion and limitations and further research sections respectively.

2. Literature review

Performance measurement acts as a tool to identify possible weakness to eliminate them and strengths to further improve them in order to meet customer expectations and strategic goals.

Many performance criteria are objective and can be easily identified. They are easy to understand as they are typically numerically depicted, such as costs. In most situations, a lower cost would be preferred. Some specific factors such as expenses and resource usage are the first ones to come to the minds of many people as the most significant performance indicators. Further affecting the results are contextual factors such as confidence and exposure, which are more subjective. No defined concept of qualitative criteria is available and when it can be applied properly to the supply chain (Chan, 2003).

Compared to performance measurement implementations, there are very few academically proven performance measurement structures in existence. Most of the performance measurement structures built in organizations are a series of best practices included into specific performance measurement frameworks. Two structures are the basic requirements for an effective performance measurement system are: one systemic and one procedural; In contrast of a range of other performance management tools, such as calculate lists, etc. (Folan & Browne, 2005).

In today's competitive era, it has been shown that many businesses have failed to maximize the potential of their supply chain as they have also failed to develop effective the performance measures and metrics needed to fully integrate their supply chain in order to improve efficiency. The following are listed as the main performance measurement issues (Akyuz & Erkan, 2010);

- Incompleteness and differences in measuring performance and metrics
- Failing to show the set of measures in a balanced system
- Disconnection of calculations from strategy implementations (Akyuz & Erkan, 2010)

The method of performance management is the mechanism through which the company manages its success according to its organizational and functional objectives and goals. The performance measurement system is the information system at the center of the performance management process and it is of critical importance for the performance management system to function effectively. There are two critical elements about the performance assessment system's content and structure: reliability and implementation (Bititci, Carrie, & McDevitt, 1997). There is a basic business demand to boost manufacturing efficiency in the face of current global competition and rising stakeholder demands. Manufacturing companies' efficiency and profitability rely on their production facilities' reliability and productivity.

Multiple Criteria Decision Making (MCDM) is a subsidiary of operational research dealing with finding optimal results in complex situations including different indicators, conflicting goals, and criteria. There are no boundaries to limit application areas for MCDM. Because of this attribute of MCDM, there is extensive research conducted on the topic and so many techniques invented. Some methods for MCDM follow as; Multi-Attribute Utility Theory (MAUT), Analytic Hierarchy Process (AHP), Analytic Network Process (ANP), Case-Based Reasoning (CBR), Data Envelopment Analysis (DEA), Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART), Goal Programming (GP), ELECTRE, Measuring Attractiveness by a categorical Based Evaluation Technique (MACBETH), VIKOR method, Weighted sum model (Mangla, Sah, Singh, Deng, He, Kumar, & Bansal, 2017) As shown in Table 1, performance measurements tools are used in different sectors using many different variables and measurement methods.

Table 1. Usage areas of MCDM methods

Author	Usage Area
Bousofiane, A., Dyson, R.G., & Thanassoulis, E (1991)	Banking
Valdmanis, V. (1992)	Hospital
Murphy, D.J., Pearson, J.N., & Siferd, S.P. (1996)	Purchasing Decisions
Talluri, S., Hug, F., & Pinney, W.E. (1997)	Cellular Manufacturing
Nozick, L.K., Borderas, H., & Meyburg, A.H. (1998)	Travel Demand
Poli, P.M. & Scheraga, C.A. (2000)	Customer Service
Shafer, S.M. & Byrd, T.A. (2000)	Information Technology Investments
Min, H. & Joo, S.J. (2006)	3PLs

As in every other sector, performance measurement is also of great importance in the logistics sector. Logistics operations often deal with high uncertainty, multiple actors at every step of the supply chain, and goods with values ranging from low to high. Existence of all these factors makes performance measurement in logistics sector especially challenging. Third-party logistics service providers face increasing pressure as their customers become increasingly demanding (Panayides et al., 2018). According to Mentzer et al. (2001), strategic and systemic coordination between supply chain partners for the execution of operational functions with the purpose of establishing long term-term performance improvement for all participating firms is called supply chain management. What this definition of supply chain management means is supply chain requires collaboration from all of it is members to perform well. However, a supply chain's performance is only as strong as its weakest member. This is why individual companies that exist within a supply chain need to measure their performances to ensure they are indeed providing the level of service required by their stakeholders. Due to the complexity of logistics operations and the environment surrounding them, Mishra et al. (2018) points out a need for a comprehensive and holistic performance measurement system tailored for logistics sector. Over the years numerous models and approaches has have been suggested for performance measurement in supply chains, there still exists many challenges that need to be dealt with. These challenges consist of the need to evaluate large amount of data, misalignment between strategic and operational objectives, and lack of an approach that focus on multiple performance expectations imposed by different supply chain actors (Bai & Sarkis, 2012; Katiyar et al., 2018)

3. Methodology

3.1. Case Study and Problem Definition

Case study is variously defined as a method, methodology, or research design (Bassey, 1999; Yin, 1994; Yin, 2004) which provide deep understanding of a related topic. This method allows researchers to obtain comprehensive sample-based information about an event or situation. The case study approach is an important research method for developing theory, evaluating processes or making same assumptions about the topics (VanWynsberghe & Khan, 2007). The case study method helps in better understanding processes or situations. For this reason, the case study method was used in order to take a real picture of the logistics industry, to observe the events and processes simultaneously to obtain real results by making real measurements.

Company X was selected as the study's case, because, as it was previously stated, the company is one of the world's largest package delivery companies and conducting a research on the operations of company this large could provide us an insight regarding the package delivery industry as well as a better understanding of the factors that can affect the performances of these companies. Due to Company X's size, findings of this study can also be generalized to give hints to smaller companies, which operate in the same sector, to improve their own performances.

Company X is a 3PL logistics provider, which has a huge number of industrial and individual customers to provide logistics services mostly within country. This 3PL company is one of the largest delivery companies in the world and the company is having performance related issues in its distribution center (DC) located in İzmir, the third most populated city in Turkey with a population of almost 4.4 million. The company's distribution center with the best performance according to their own calculations is located in İstanbul which is the country's biggest city in

terms of population as well as one of the World's most densely populated cities with a population of almost 15.5 million.

Company X calculates the hourly rate per employee according to the types of packages and handling types. The company divides its packages into 3 basic groups according to the shipments it receives from its customers (as shown Table 2.). These can be listed as follows.

1. Regular packages: These cargos are carton boxes that contain the cargo itself, they can be in different sizes usually from small carton boxes to medium carton boxes.
2. Irregular Packages: Cargo that can be different from one another in terms of shape, size, and weight, size of the cargo are consists of medium small and big cargo.
3. Small packages: Very small size cargo and mostly documents.

İzmir is a hub for Company X's operations and the operations within the distribution center divide into two categories. The first part of the operations takes place between 6.00 A.M and 5.00 P.M with the second part taking place between 5.30 P.M to 10.30 P.M. Company X states that, İzmir DC operates 2.27 hours less daily on average compared to İstanbul DC. Number of workers are 45 for both DCs whereas the daily average of total packages received is 35.219 for İstanbul DC and 12.949 for İzmir DC.

3.2. Data Collection and Analysis

A six-month data set including total working hours, daily worker numbers, and daily volume of packages was provided by the company. The company was also visited on certain days to observe the packages and handling processes with the intention of better understanding the flow of handling operations and identifying the causes of potential disruptions to this flow. The observations were primarily focused on the night shift, which is between 6.20 PM- 8.30 PM, as according to the data set, this is the time interval with the highest volume.

First station to be inspected was "Irregular" sorting station which deals with medium to high sizes of cargo. Second station was direct packages, which deals with small to medium size of carton boxes. Finally, the third station was "small sort" which mostly deals with documents and small deliveries. This station takes the cargo with bags, then workers measure cargo weights one by one then workers sort these cargos to correct destinations.

Table 2. Number of packages sorted per minute for different package types between 6:20 PM-8:30 PM within Company X's İzmir Distribution Center

Timeline\Stations	Small sort	Irregular	Direct packages
6:20 PM	16/min.	10/min.	18/min.
6:30 PM	8/min.	1/min.	13/min.
6:40 PM	6/min.	1/min.	14/min.
6:50 PM	21/min	2/min.	21/min.
7:00 PM	32/min	1/min.	16/min.
7:10 PM	34/min.	2/min.	22/min.
7:20 PM	14/min.	6/min.	26/min.
7:30 PM	22/min.	10/min.	23/min.
7:40 PM	25/min.	4/min.	18/min.
7:50 PM	27/min.	7/min.	12/min.
8:00 PM	31/min.	-	16/min.
8:10 PM	27/min.	-	12/min.
8:20 PM	18/min.	-	14/min.
8:30 PM	17/min.	-	15/min.
Limitations	Very small cargo or documents	Medium to large size	Small to Med. boxes

Working Times: The distribution center has a working hour scheduling problem. Due to frequently occurring interruptions at conveyor belts and workloads from the weekend distribution center, handling cannot be done properly during the night shift, which causes the distribution center to finish 2 hours late, which is expected to result in overnight labor for employees and extra cost for the company.

Work Plan: Inside the distribution center, the staff is often switching between loading and unloading docks without a delivery schedule or information regarding the packages included in an arriving truck.

Efficiency of Sorting Station: There are also several issues in the sorting stations. Packages are the most common cargo type in the distribution center and its volume starts to increase after 8.00 P.M, it causes stops at the conveyor belt, which then delays the whole operation because other parts of the belt must stop as well. In the small sort station, there are huge amounts of small items that need to be measured and sorted, again around 8:00 P.M, volume

of the small cargo increases and measuring their weights becomes time consuming for the workers in small sort. In the “Irregular” cargo, however, efficiency of the worker becomes important because these big cargos must be handled by a worker and picked one by one to the pallets after cargo arrives to the end of the conveyor belt.

Barcode Device Issues: When we inspect each auto barcode reader, we understand that these readers cannot read the all dimensions of the cargo because of deformed and inappropriate barcodes. If that is the case, conveyor belt stops and worker that monitors the process must be read it with a hand terminal manually which again delays the whole operation for a short time.

After various visits and observations to İzmir DC, we decided to focus on productivity of İzmir DC and compare it to İstanbul DC, which has a high level of performance according to the data provided by the company, in order to determine İzmir DC’s relative performance levels.

As the data set provided by the company is limited in terms of both size and content, MCDM methods commonly used in other studies could not be implemented for this research. Instead, another MCDM method called “PPH”, which is implemented by the company and used in all of their distribution centers, was used for the performance measurement of İzmir and İstanbul distribution centers. The variables used as inputs for PPH calculations are number of packages processed, number of workers, and finally total hours worked. Based on the daily worker numbers and hours, the efficiency of package handling processes was calculated. Package handling efficiency or as it is referred by the company, PPH, is the output of this calculation.

The company wants to measure the effectiveness of distribution centers when the number of employees in Izmir and Istanbul is analyzed in terms of stop number, total delivery, delivery hours, number of packages and working hours. The threshold value in PPH, which is used by the company to measure the performance of its distribution centers, is accepted as 85. Therefore, the efficiency values obtained from the PPH calculation are then needs to be compared to this critical value in order to determine the daily effectiveness of İzmir and İstanbul distribution centers.

5. Findings

When conducting an analysis to measure performance, a particular measure offers little value by itself unless it is comparable to something. Therefore, it is important to have a reference value to be able to draw meaningful conclusions from analysis results (White, 1996). The reference value that is used in this study is 85, which is a self-referenced value provided by Company X.

According to the data set, İzmir and İstanbul DCs’ PPH values are evaluated and compared with each other according to critical value which sets the minimum PPH value DCs should reach. Company X sets critical value as 85 for its DCs. Calculations performed between 2nd September 2019 and 28th February 2020.

The following parameters were used in the performance measurement:

- Stop Number
- Total Delivery
- Delivery Hours
- Number of Packages
- Working Hours

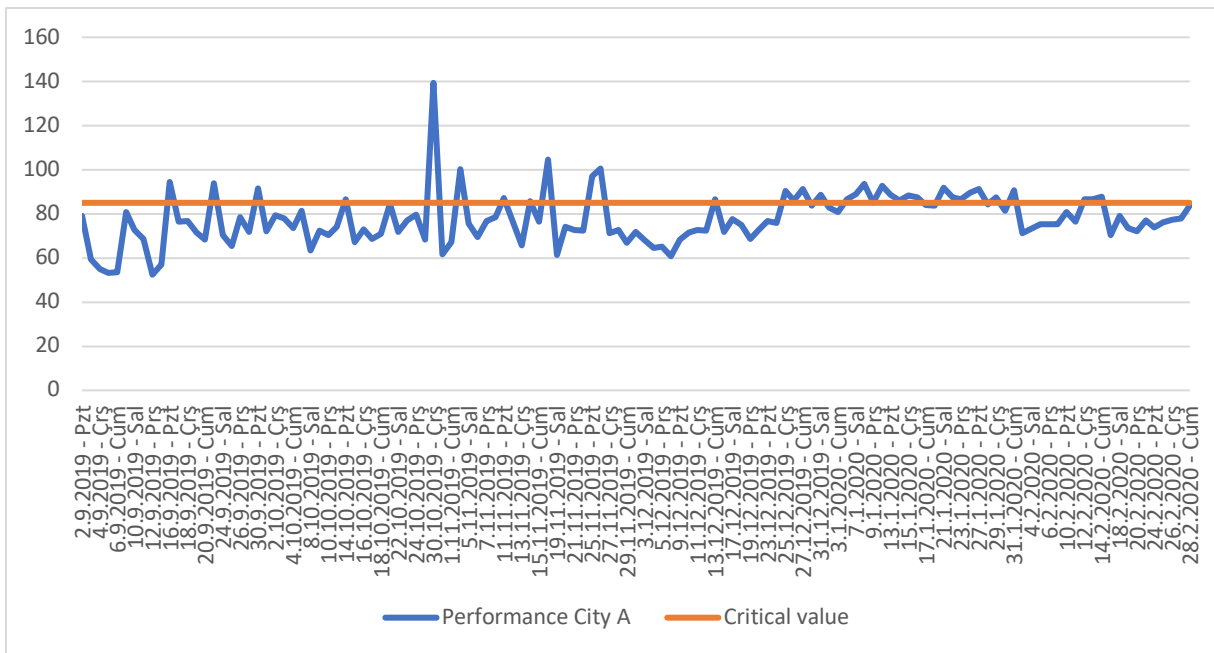


Figure 1. Performance Measurement and critical values of İzmir between September 2019 and February 2020

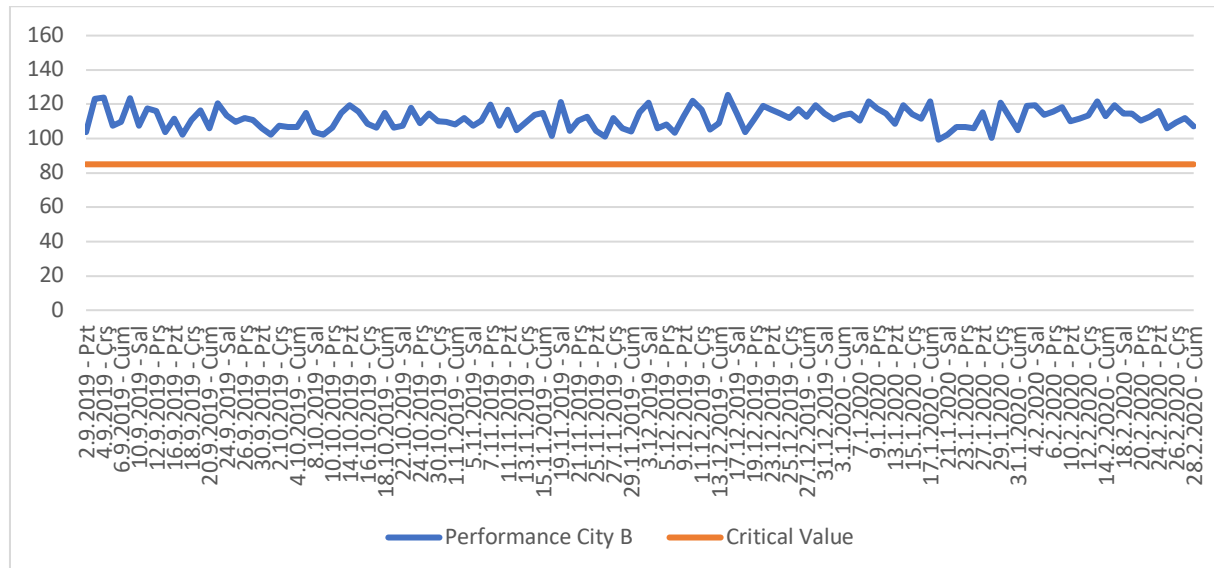


Figure 2. Performance Measurement and critical values of İstanbul between September 2019 and February 2020

In October – 2019, İzmir PPH values are most of the time, below the critical value except Mondays. In Mondays, PPH value of İzmir DC satisfies the critical value. Extra volume from weekends could be the reason for this increase. Another increase is on 30th October 2019. Unexpected increase in volume could be the reason for this. İstanbul DC’s PPH values are slightly lower than previous months but still above the critical value.

In November – 2019, İzmir PPH values are above the critical value on Mondays. Extra volume from previous weekends could be the reason for this. Except for 26th November, İzmir DC’s critical values are below the critical value.

Result from December – 2019 graph shows that PPH value of İzmir DC stays below the critical value for Mondays. Unlike other Mondays, lower volume from previous weekend could be the reason for this decrease in PPH values. At the last week of December, however, PPH value increased to 85 which satisfy critical value. For other weekdays of December, graphs show that PPH value of İzmir DC increased at the last week of December. In İstanbul DC, however, PPH value stays above the critical value and never falls below the critical value.

In January – 2020, İzmir DC’s PPH values most of the time are above the critical value but PPH values are close to critical value. Reason behind this increase in PPH could be New Year celebrations and extra volume from holidays. İstanbul DC’s PPH values are always above the critical value.

For February – 2020, İzmir DC's PPH values most of the time are below the critical value which means there is no extra volume from previous weeks. There are increases in 2nd week of February and from Wednesday to Friday, PPH value of İzmir DC slightly above the critical value. İstanbul DC's PPH values are all above the critical value.

6. Conclusion

According to PPH graphs of İzmir DC, most of the time PPH of the İzmir DC stays below the critical value which is 85 determined by Company X. However, there are some dates where İzmir DC's PPH value increases unexpectedly. For example, on 30th of October, İzmir DC's PPH value is 140 which is highest PPH value for İzmir DC while İstanbul DC's PPH value is 109 at the same date.

On the other hand, İstanbul DC manages to keep its PPH value above the critical value and never falls below the critical value and İstanbul DC's PPH values are more stable on the graphics while İzmir DC's PPH values are more fluctuated and most of the time below the critical value. These unexpected increases for İzmir DC, usually occurs in Mondays. Closing DC in weekends could be the reason for increases PPH values in Mondays.

It is concluded that the low performance of İzmir DC in terms of PPH is caused by lower volume of daily package flow in comparison to İstanbul DC. In this situation, Company X can either try to increase their daily average of packages received through promotions, discounts, and other marketing activities, or they can decrease the number of workers or give day offs to some of workers. If the company chooses the second option, they need to invest in information technologies to be able to effectively forecast package volume to avoid possible work force shortages as the Company X experiences difficulties in receiving accurate information from its customers because of uncertainty factor. Information technologies play a crucial role in a company's success because they help them capture and create value and consequently, make profit (Drnevich & Croson, 2013). Positive effects of information technologies on logistics sectors were also shown by Choy et al. (2014). As a third option, Company X can lower the critical value set for İzmir DC taking the city population and the daily average of packages received by facility into consideration. For İstanbul DC, Company X should be focusing on working hours which are too high compared to the İzmir DC to increase their PPH value even further. Alternatives for İzmir DC can apply to İstanbul DC as well, with both advantages and disadvantages.

The validity of the 85 critical value as a performance indicator is can also be questioned. As it was shown in this study, performance of a distribution center can be affected by different factors, therefore, applying a generalized performance indicator to every distribution center might not always accurately reflect how well a facility is performing. As Panayides et al. (2018) also states, decision makers can have difficulties in understanding what really causes performance issues if the performance indicators are ineffective or inaccurate. Kuo et al. (1999) believe that, a good measurement of performance should also measure quality and safety in addition to efficiency to provide reliable, timely, and high-quality information to the decision makers. However, in this case it can be seen that efficiency is the sole performance indicator for Company X. This is also something that needs to change in their performance measurement process. It has also been shown that the problems seen in the period observed by the company's operations, such as work plan, efficiency of sorting station, and employee related problems due to the extra workload have been analyzed and proved to reduce the efficiency.

There are many theory-based performance measurement methods in the literature, but in practice, developing methods which are easy for companies to use and measure performance in their processes will contribute for companies to be more successful in their industry. This case study is important in terms of showing us the parameters that companies can use for performance measurement in order to be successful in the logistics sector and that these parameters guide the logistics companies operating in our country.

7. Limitations and Further Research

This study was conducted on a single company using a limited data set covering only a 6-month time period due to confidentiality reasons. The reference value of 85 is self-referenced by the company, thus, it does not provide an insight on how the company's performance compares to their competitors'.

Future researchers can apply the parameters that were used in this study to conduct a performance measurement analysis on other companies.

Contribution of Authors

Both Burak Çetiner and Pervin Ersoy contributed to literature review, data collection, problem definition, data analysis, and conclusion.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Akyuz, G. A., & Erkan, T. E. (2010). Supply chain performance measurement: a literature review. *International journal of production research*, 48(17), 5137-5155. <https://doi.org/10.1080/00207540903089536>
- Bai, C., & Sarkis, J. (2012). Supply-chain performance-measurement system management using neighbourhood rough sets. *International Journal of Production Research*, 50(9), 2484-2500. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.581010>
- Bassey, M. (1999). *Case study research in educational settings*. McGraw-Hill Education (UK). https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=yUzIAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=study+research+in+educational+settings&ots=3Brx4fyK5H&sig=6zdC2lt7dqMlpCjGltnownqV9kE&redir_esc=y#v=onepage&q=study%20research%20in%20educational%20settings&f=false
- Bititci, U. S., Carrie, A. S., & McDevitt, L. (1997). Integrated performance measurement systems: a development guide. *International journal of operations & production management*, 17(5), 522-534. <https://doi.org/10.1108/01443579710167230>
- Boussofiane, A., Dyson, R.G. and Thanassoulis, E. (1991), Applied data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, Vol. 52 No. 1, pp. 1-15. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90331-O](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90331-O)
- Chan, F. T. (2003). Performance measurement in a supply chain. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 21(7), 534-548. <https://doi.org/10.1007/s001700300063>
- Choy, K. L., Gunasekaran, A., Lam, H. Y., Chow, K. H., Tsim, Y. C., Ng, T. W., ... & Lu, X. A. (2014). Impact of information technology on the performance of logistics industry: the case of Hong Kong and Pearl Delta region. *Journal of the Operational Research Society*, 65(6), 904-916. <https://doi.org/10.1057/jors.2013.121>
- Drnevich, P. L., & Croson, D. C. (2013). Information technology and business-level strategy: Toward an integrated theoretical perspective. *MIS quarterly*, 483-509. <https://www.jstor.org/stable/43825920>
- Folan, P., & Browne, J. (2005). A review of performance measurement: Towards performance management. *Computers in industry*, 56(7), 663-680. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2005.03.001>
- Katiyar, R., Barua, M. K., & Meena, P. L. (2018). Analysing the interactions among the barriers of supply chain performance measurement: an ISM with fuzzy MICMAC approach. *Global Business Review*, 19(1), 48-68. <https://doi.org/10.1177/0972150917713283>
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191>
- Kuo, C. H., Dunn, K. D., & Randhawa, S. U. (1999). A case study assessment of performance measurement in distribution centers. *Industrial Management & Data Systems*. <https://doi.org/10.1108/02635579910261068>
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Min, H. and Joo, S.J. (2006), Benchmarking the operational efficiency of major third-party logistics providers using data envelopment analysis, *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 11 No. 3, pp. 259-65 <https://doi.org/10.1108/13598540610662167>
- Mishra, D., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., & Dubey, R. (2018). Supply chain performance measures and metrics: a bibliometric study. *Benchmarking: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2017-0224>

- Murphy, D.J., Pearson, J.N. and Siferd, S.P. (1996), Evaluating performance of the purchasing department using data envelopment analysis, *Journal of Business Logistics*, Vol. 17 No. 2, pp. 77-91. <https://www.proquest.com/openview/dfcd5c794fbf39f75c56d838b960b3f4/1?pq-origsite=gscholar&cbl=36584>
- Nozick, L. K., Borderas, H., & Meyburg, A. H. (1998). Evaluation of travel demand measures and programs: a data envelopment analysis approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(5), 331-343.
- Panayides, P., Borch, O. J., & Henk, A. (2018). Measurement challenges of supply chain performance in complex shipping environments. *Maritime Business Review*. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(97\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(97)00043-8)
- Poli, P.M. and Scheraga, C.A. (2000), The relationship between the functional orientation of senior managers and service quality in LTL motor carriers, *Journal of Transportation Management*, Vol. 12 No. 2, pp. 17-31 <https://doi.org/10.22237/jotm/967766580>
- Shafer, S.M. and Byrd, T.A. (2000), A framework for measuring the efficiency of organizational investments in information technology using data envelopment analysis, *Omega*, Vol. 28, pp. 125-41 [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(99\)00039-0](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(99)00039-0)
- Talluri, S., Hug, F. and Pinney, W.E. (1997), Application of data envelopment analysis for cell performance evaluation and process improvement in cellular manufacturing, *International Journal of Production Research*, Vol. 35 No. 8, pp. 2157-70. <https://doi.org/10.1080/002075497194787>
- Valdmanis, V. (1992), Sensitivity analysis for DEA models: an empirical example using public vs NFP hospitals, *Journal of Public Economics*, Vol. 48 No. 2, pp. 185-205. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(92\)90026-C](https://doi.org/10.1016/0047-2727(92)90026-C)
- VanWynsberghe, R., & Khan, S. (2007). Redefining case study. *International journal of qualitative methods*, 6(2), 80-94. <https://doi.org/10.1177/160940690700600208>
- White, G. P. (1996). A survey and taxonomy of strategy-related performance measures for manufacturing, *International Journal of Operations & Production Management*, 16(3), 42-61 <https://doi.org/10.1108/01443579610110486>
- Yin, R. (1994). *Case study research: Design and methods* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage. <https://doi.org/10.1177/109821409401500309>
- Yin, R. (2004). *The case study anthology*. Thousand Oaks, CA: Sage. [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=cVcWlg-4NCcC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Yin,+R.+\(2004\).+The+case+study+anthology.+Thousand+Oaks,+CA:+Sage.+&ots=9ONPIH8Npk&sig=7jv_TVjqZmAvufcyJBoUnZvl_jU&redir_esc=y#v=onepage&q=Yin%2C%20R.%20\(2004\).%20The%20case%20study%20anthology.%20Thousand%20Oaks%2C%20CA%3A%20Sage.&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=cVcWlg-4NCcC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Yin,+R.+(2004).+The+case+study+anthology.+Thousand+Oaks,+CA:+Sage.+&ots=9ONPIH8Npk&sig=7jv_TVjqZmAvufcyJBoUnZvl_jU&redir_esc=y#v=onepage&q=Yin%2C%20R.%20(2004).%20The%20case%20study%20anthology.%20Thousand%20Oaks%2C%20CA%3A%20Sage.&f=false)
- Zacharia, Z. G., Sanders, N. R., & Nix, N. W. (2011). The emerging role of the third-party logistics provider (3PL) as an orchestrator. *Journal of Business Logistics*, 32(1), 40-54. <https://doi.org/10.1111/j.2158-1592.2011.01004.x>



Journal of Turkish Operations Management

Investigation of a non-linear Cramér-Lundberg risk model

Zulfiye Hanalioglu¹, Yusup Allyyev², Tahir Khaniyev^{2,3,*}

¹Department of Actuarial Sciences, Karabuk University, Karabuk, Turkey

e-mail: zulfiyamammadova@karabuk.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-1197-9421>

²Department of Industrial Engineering, TOBB University of Economics and Technology, Ankara, Turkey

e-mails: yusupallyyev@etu.edu.tr; tahirkhaniyev@etu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5410-2705>

³Department of Digital Technology and Applied Informatics, Azerbaijan State University of Economics, Baku, Azerbaijan

e-mail: tahirkhaniyev@etu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-1974-0140>

* Corresponding author

Article Info

Article History:

Received: 16.02.2022

Revised: 24.03.2022

Accepted: 04.04.2022

Keywords:

Cramér-Lundberg Risk Model,
Ruin Probability,
Non-Linear Risk Model,
Lundberg Type Upper Bound,
Generalized Lundberg Coefficient

Abstract

In this study, a non-linear version of a Cramér-Lundberg risk model is examined. The objective of this work is to evaluate the ruin probability of the non-linear risk model. The classical linear Cramér-Lundberg model has been widely studied in the literature. However, the linear model is not always realistic. Because an insurance company's premium income cannot always increase linearly. Therefore, it is recommended to adapt premium income as a function which increases monotonically and yet its rate of growth decreases over time. Thus, to account for this, a more realistic non-linear mathematical model has been constructed and investigated, when the premium income function is $p(t) = c\sqrt{t}$. Then Lundberg type upper bound was calculated for the ruin probability for the model under investigation.

1. Introduction

Insurance is a concept that concerns and affects almost everyone in our daily lives. Therefore, insurance is an inevitable part of the developed economies. Contemporary economies and modern states would hardly operate without insurance companies. Because these institutions guarantee compensation to almost any actors of the society at the individualistic, company, or the organizational level at an unfortunate time when catastrophes such as fires, floods, earthquakes, accidents and riots befalls onto them. Therefore, the examination of risk and ruin problems of insurance company has a vital role in actuarial science. Swedish mathematicians and the pioneers in this area, Lundberg (1903) and Cramér (1930) laid foundations of modern risk theory based on the probability theory, statistics, and stochastic processes. They found out that insurance business can be aptly modelled via stochastic processes framework. Cramér-Lundberg model is one of the pillars of non-life insurance mathematics (Mikosch, 2004). This model has been extended and adapted to various domains of applied probability: financial mathematics, renewal theory, queuing theory, branching processes, reliability, and extreme value theory are just some of them. Many valuable studies have been done in the literature on this subject (see, Cramér, 1930; Lundberg, 1903; Malinovski, 2014; Mikosch, 2004; Mishura, 2014; Yang, 1998). The question of how much of initial capital is required to keep the probability of ruin above some predefined threshold value is answered in the paper by Malinovski (2014). Evaluation of ruin probabilities largely depends on the distribution of demand quantities, and given two or more demand distributions, it is important which one gives greater ruin probabilities in finite or infinite time horizon for a given initial capital value of u . This issue is addressed in (Asmussen and Rolski, 1994; Chadjiconstantinidis and Politis, 2007; Cohen and Young, 2020; Gaier et al., 2003; Gauchonab et al., 2020; Gerber, 1998; Kaas et al., 2001; Rolski, 1999; Straub, 1988; and etc.). Most of the research is done on variations

of premium income function $p(t)$ and its relation to the total claim process $S(t)$. In the paper by Boikov (2002), the premium income process is studied by assuming that premium income is stochastic and also independent of the risk process. Constantinescu et al. (2018), investigated ruin probabilities in classical risk model with gamma claims.

A scenario when the total claim amount process is the same as in the classical model while the premium income – unlike the classical case – is a stochastic process, called as random premiums risk process, is investigated by Temnov (2004) and ruin probabilities are estimated numerically. Similarly, Zang and Yang (2009) considered risk model with stochastic premium income. In their work, some specific dependence structure among the claim sizes, inter-claim times, and premium sizes is assumed.

The studies mentioned above are all valuable, each focusing on specific sets of conditions. In the literature, the premium income function $p(t)$ is generally modeled as a linear function. However, the linear model is not always realistic because an insurance company's premium collection cannot always increment in a linear fashion. This is particularly the case for companies (markets) saturated with insurance policyholders. Accordingly, a reasonable approach would be to formulate the premium income as a monotonically increasing function whose growth-rate slows with time. To this end, a more realistic mathematical non-linear Cramér-Lundberg risk model is formulated and studied, which is defined as $V(t) = u + c \sum_{i=1}^{\nu(t)} g(W_i) - S(t)$. Here, $g(t)$ is a non-linear function that is monotonically increasing whose growth-rate is decreasing with time; $W_i, i = 1, 2, 3 \dots$ are positive-valued independent and identically distributed random variables describing inter-arrival times of claims; u – the initial capital of the company; c – the premium rate; $S(t) = \sum_{i=1}^{\nu(t)} X_i$ is the renewal-reward process that expresses the insurer's capital outflow; $\nu(t)$ – the process counting the total number of claims and $X_i, i = 1, 2, 3 \dots$ are independent and identically distributed random variables representing the amount of payment for the i^{th} claim, for $i = 1, 2, 3, \dots$. In other words, $V(t)$ expresses insurance company's capital balance at any time t . The main goal of this research is to investigate the ruin probability of the non-linear risk model $V(t)$. For this aim, Lundberg type upper bound is obtained for the ruin probability of this non-linear risk model, when the income function is defined as $p(t) = c\sqrt{t}$.

The primary contribution of this study is the mathematical construction of the Cramér-Lundberg model under the assumption that the premium income function is a non-linear function. Finding a Lundberg type upper bound for the ruin probability of this non-linear risk process is a secondary contribution.

The remaining part of the article is organized as follows. In Section 2, construction of the model is given. In Section 3, relevant definitions from the risk theory are provided. In Section 4, Lundberg-type upper bound is obtained for the ruin probability. In Section 5, the generalized Lundberg adjustment coefficient r is analyzed in detail. In Section 6, conclusion is provided.

Now, we proceed to the mathematical construction of the process $V(t)$.

2. Mathematical Construction of the Non-Linear Cramér-Lundberg Risk Model

Let sequences of random variables $\{W_i\}$ and $\{X_i\}, i = 1, 2, 3, \dots$ be defined on the same probability space (Ω, \mathcal{F}, P) and let variables in each sequence be independent and identically distributed. Also suppose that W_i 's and X_i 's take only positive values.

$W_i, i = 1, 2, \dots$ are independent and identically distributed random variables describing inter-arrival times of claims, similarly, $X_i, i = 1, 2, \dots$ are independent and identically distributed random variables denoting the amount of the payment for the i^{th} claim, for $i = 1, 2, 3, \dots$.

Define the renewal sequences $\{T_n\}$ and $\{S_n\}$ as follows:

$$T_n = \sum_{i=1}^n W_i; S_n = \sum_{i=1}^n X_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots; T_0 = S_0 = 0$$

Here, T_n is the n^{th} claim time; S_n represents the total payment amount in the first n claims.

Moreover, to count the total number of claims occurred in $[0, t]$, define a renewal process as follows: $\nu(t) \equiv \max\{n \geq 0 : T_n \leq t\}$, $t \geq 0$. Now we can define the stochastic process $V(t)$, which represents the insurance company's capital at time t , as follows:

$$V(t) = u + c \sum_{i=1}^{\nu(t)} g(W_i) - \sum_{i=1}^{\nu(t)} X_i, \tag{1}$$

Here, u – company's initial capital; c – premium rate per unit time; $g(t)$ is a monotonically increasing non-linear function whose growth-rate declines with time and $g(0) = 0$; $g(1) = 1$.

The stochastic process $V(t)$ is called a Non-Linear Risk process. Moreover, the model expressed by means of this process is called the Non-Linear Cramér-Lundberg Risk Model.

Additionally, let's define the following boundary functionals:

$$N_1 \equiv N_1(u) = \min\{n \geq 1 : u + \sum_{i=1}^n [cg(W_i) - X_i] < 0\}; \quad \tau_1 = \sum_{i=1}^{N_1} W_i. \tag{2}$$

Here, N_1 , represents the number of claims until ruin, and τ_1 represents the time of ruin.

A sample graph of the process $V(t)$ is shown in Figure 1.

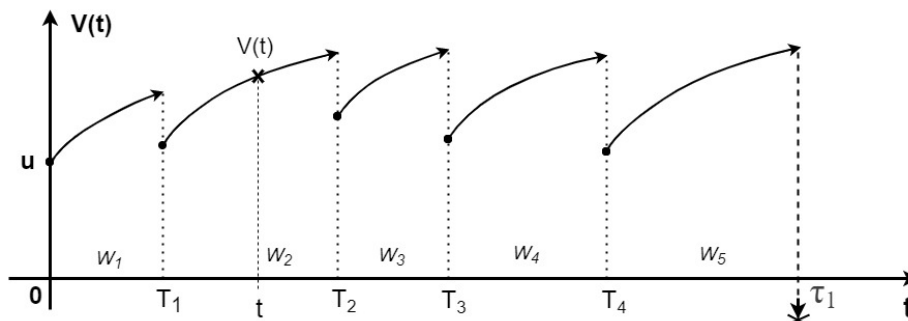


Figure 1. A sample path of non-linear risk process $V(t)$

The key objective of this study is to determine the ruin probability of the non-linear risk model in Eq.(1). For this purpose, it is necessary to give the following preliminary definitions.

3. Ruin Probability of Non-Linear Lundberg Risk Model

Let us provide the following definitions in a similar manner as in Mikosch (2004).

Definition 3.1: i. The event that $V(t)$ ever falls below zero is called *ruin*, i.e.,

$$Ruin = \{V(t) < 0 \text{ for some } t > 0\}$$

ii. The first time when the non-linear process falls below zero is called *ruin time*, τ_1 :

$$\tau_1 = \inf \{t > 0 : V(t) < 0\}$$

Note: The τ_1 defined here is the same as the random variable τ_1 defined in the Eq.(2), with probability 1.

iii. Then $\psi(u)$ – the probability of ruin, is then given by:

$$\psi(u) \equiv P\{Ruin | V(0) = u\} = P_u\{\tau_1 < \infty\}, \quad u > 0.$$

Observe that the occurrence of ruin is possible only at discrete times $t = T_n$ for some $n = 1, 2, \dots$. Therefore, we can rewrite

$$Ruin = \left\{ \inf_{t>0} V(t) < 0 \right\} = \left\{ \inf_{n \geq 1} V(T_n) < 0 \right\} = \left\{ \inf_{n \geq 1} [u + c \sum_{i=1}^n g(W_i) - \sum_{i=1}^n X_i] < 0 \right\}.$$

For shortness of notation, let's define the following random variables:

$$Z_n = X_n - cg(W_n), \quad D_n = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad D_0 = 0.$$

Then we have the following alternative expression for the ruin probability $\psi(u)$ with the initial capital u :

$$\psi(u) = P \left\{ \inf_{n \geq 1} (u - D_n) < 0 \right\} = P \left\{ \sup_{n \geq 1} D_n > u \right\} \quad (3)$$

Definition 3.2: The non-linear Cramér-Lundberg model satisfies the net profit condition if

$$E(Z_1) = E(X_1) - cE(g(W_1)) < 0 \quad (4)$$

The net profit condition can be contemplated as follows:

The expected amount of a claim $E(X_1)$ should always be less than the expected premium income $cE(g(W_1))$ in one period. In other words, more average premium income should be earned than the average loss the company paid in each period. However, this does not imply that the ruin of the company is completely averted. Because the Net Profit Condition does not consider the fluctuating behavior of the stochastic process.

In this model, a *small* claim condition is assumed, meaning that, there exists a moment generating function of the claim size distribution in a neighborhood of the origin, i.e., for each $h \in (-h_0, h_0)$, $M_Z(h) \equiv E(e^{hZ_1})$ exists, for some $h_0 > 0$.

Definition 3.3: Assume that there exists a moment generating function of Z_1 in some neighborhood of $(-h_0, h_0)$, for $h_0 > 0$, of the origin. If the equation below,

$$E(e^{h(X_1 - cg(W_1))}) = 1 \quad (5)$$

has a positive solution $h = r$, then this solution r is called the generalized Lundberg coefficient or adjustment coefficient and can be represented as follows:

$$r \equiv \inf\{h > 0: M_Z(h) = E(e^{hZ_1}) = E(e^{h(X_1 - cg(W_1))}) = 1\}$$

4. Lundberg-Type Upper Bound for Ruin Probability

In this part of the study, a Lundberg type upper bound is found for the non-linear risk model constructed in Section 2 (see, Eq.(1)). The following theorem establishes this upper bound.

Theorem 4.1: Assume the non-linear risk model given in Eq.(1) with Net Profit Condition satisfied. Also suppose that the generalized adjustment coefficient (r) exists for this model. Then, for all $u > 0$, the following inequality holds:

$$\psi(u) \leq e^{-ru} \quad (6)$$

Proof: Using the method in Mikosch (2004), let us show that for each $u > 0$, the inequality (6) is satisfied for the non-linear risk model.

Let's denote the probability of ruin in the n^{th} claim by $\psi_n(u)$. By definition, $\psi_n(u)$ can be written as:

$$\psi_n(u) = P \left\{ \sup_{1 \leq k \leq n} (D_k) > u \right\}.$$

Here, $D_n = \sum_{i=1}^n Z_i$; $Z_n = X_n - cg(W_n)$, $n = 1, 2, 3, \dots$

Now, for every $n = 1, 2, 3, \dots$ let us prove that

$$\psi_n(u) \leq e^{-ru} \quad (7)$$

by the method of induction.

Using the Markov Inequality for $n = 1$, the following inequality can be written for the ruin probability:

$$\begin{aligned} \psi_1(u) &= P\{D_1 > u\} = P\{rD_1 > ru\} = P\{e^{rD_1} > e^{ru}\} = P\{e^{rZ_1} > e^{ru}\} \leq \frac{E(e^{rZ_1})}{e^{ru}} \\ &= e^{-ru} E(e^{rZ_1}) = e^{-ru} M_Z(r). \end{aligned}$$

Here, $M_Z(r) \equiv E(e^{rZ_1}), r > 0$.

r exists when net profit condition is satisfied and this coefficient is defined as:

$$r \equiv \inf\{k > 0: M_Z(k) = 1\} \tag{8}$$

In other words, the coefficient r is the first positive solution of the equation $M_Z(k) = 1$.

Thus, we have shown that for $n = 1, \psi_1(u) \leq e^{-ru}$. Now let's prove the proposition (7) for $n = 2$. In this case, the ruin probability can be calculated as follows:

$$\begin{aligned} \psi_2(u) &= P\left\{\sup_{1 \leq k \leq 2} D_k > u\right\} = P\{D_1 > u \text{ or } D_2 > u\} = P\{D_1 > u\} + P\{D_1 \leq u; D_2 > u\} \\ &= \int_u^\infty P\{Z_1 \in dx\} + \int_{-\infty}^u P\{D_1 > u - x\} P\{Z_1 \in dx\} = \int_u^\infty dF_Z(x) + \int_{-\infty}^u \psi_1(u - x) dF_Z(x) \\ &\leq \int_u^\infty e^{-r(u-x)} dF_Z(x) + \int_{-\infty}^u e^{-r(u-x)} dF_Z(x) = \int_{-\infty}^\infty e^{-r(u-x)} dF_Z(x) = e^{-ru} \int_{-\infty}^\infty e^{rx} dF_Z(x) \\ &= e^{-ru} E(e^{rZ_1}) = e^{-ru} M_Z(r). \end{aligned} \tag{9}$$

Here, $F_Z(x) \equiv P\{Z_1 \leq x\}$. Note that, in Eq.(9), it is considered that $e^{-r(u-x)} \geq 1$, for $x > u$.

By the definition of r , the equality $M_Z(r) = 1$ must hold. Therefore, from Eq.(9) we get:

$$\psi_2(u) \leq e^{-ru}.$$

Similarly, the proposition in (7) can be proved for $n = 3, 4, \dots$ by induction.

In other words, it is shown that for every $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ we have:

$$\psi_n(u) \leq e^{-ru}$$

The following inequality can be written, using the property of the supremum:

$$\psi_1(u) \leq \psi_2(u) \leq \dots \leq \psi_n(u) \leq \dots \leq e^{-ru}$$

In other words, $\psi_n(\cdot)$ is a positive valued, monotonically non-decreasing, bounded above sequence. In this case, $\lim_{n \rightarrow \infty} \psi_n(u)$ exists and $\lim_{n \rightarrow \infty} \psi_n(u) \equiv \psi(u) \leq e^{-ru}$.

Thus, for every $u > 0: \psi(u) \leq e^{-ru}$.

Therefore, Theorem 4.1 is proved for every $u > 0$. ■

Remark: According to Eq.(6), when the company's initial capital u is large, the ruin probability will be decrease. Similarly, the larger the adjustment coefficient r , the smaller the probability of ruin.

Since the initial capital u is known, the generalized Lundberg coefficient r needs to be examined to find a Lundberg-type upper bound. This issue is addressed in detail in the following section.

5. Analysis of the Generalized Lundberg Coefficient r

It follows from the previous section that the investigation of the probability of ruin is equivalent to examining the adjustment coefficient r .

Therefore, let's reconsider Eq.(5) to find the adjustment coefficient r .

$$M_Z(r) = E(e^{rZ_1}) = E(e^{r(X_1 - cg(W_1))}) = E(e^{rX_1})E(e^{-cr g(W_1)}) = 1 \quad (10)$$

Here, $X_i, i = 1, 2, \dots$ are independent and identically distributed random variables denoting the amount of payment for i^{th} claim, for $i = 1, 2, 3, \dots$, and $cg(t)$ represents the income function. After introducing a notation $Y_i \equiv g(W_i)$, Eq.(10) can be rewritten as follows:

$$M_Z(r) = E(e^{rX_1})E(e^{-cr g(W_1)}) = M_X(r)M_Y(-cr) = 1 \quad (11)$$

Here,

$$M_X(r) = E(e^{rX_1}) = \int_0^\infty e^{rx} f_X(x) dx; \quad M_Y(-cr) = E(e^{-cr g(W_1)}) = \int_0^\infty e^{-cry} f_Y(y) dy.$$

In summary, the adjustment coefficient r can be found from the integral in Eq.(11). However, it is very difficult to find the coefficient r from the integral equation (11) in general. Therefore, a special case is discussed and studied below.

A Special Case: In this case, the income function is taken as $c\sqrt{t}$ and the corresponding non-linear risk model is examined. In addition, in this special case, the random variables $X_i, i = 1, 2, 3, \dots$ representing the payment amount in the i^{th} claim have Exponential distribution with $\mu > 0$ parameter; $W_i, i = 1, 2, 3, \dots$ random variables expressing the time between claims are assumed to have Exponential distribution with $\lambda > 0$ parameter. The probability density functions of these random variables are as follows, respectively:

$$f_X(x) = \mu e^{-\mu x}, x \geq 0; \quad f_W(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0 \quad (12)$$

Before solving Eq.(11), let's examine the distribution and Moment Generating Function of random variables $Y_n = \sqrt{W_n}$.

Since the random variable W_n has the Exponential distribution with parameter λ , then distribution of the random variable Y_n can be written as follows:

$$F_Y(t) \equiv P\{Y_n \leq t\} = P\{\sqrt{W_n} \leq t\} = P\{W_n \leq t^2\} = 1 - \exp(-\lambda t^2), t \geq 0 \quad (13)$$

As can be seen from Eq.(13), Y_n has Weibull distribution with parameter set $(\alpha = 2; \lambda)$ whose probability density function is as follows:

$$f_Y(t) = 2\lambda t \exp(-\lambda t^2), t \geq 0. \quad (14)$$

Now let's write the Moment Generating Function of the random variable Y_n .

$$\begin{aligned} M_Y(k) &= E(e^{kY_1}) = \int_0^\infty e^{kt} f_Y(t) dt = \int_0^\infty e^{kt} 2\lambda t e^{-\lambda t^2} dt = 2\lambda \int_0^\infty t \exp\left\{-\lambda\left[t^2 - \frac{k}{\lambda}t\right]\right\} dt \\ &= 2\lambda \exp\left(\frac{k^2}{4\lambda}\right) \int_0^\infty t \exp\left\{-\lambda\left[t - \frac{k}{2\lambda}\right]^2\right\} dt \end{aligned} \quad (15)$$

By changing the variable $v = t - \frac{k}{2\lambda}$ in the integral in Eq.(15), the Moment Generating Function of the random variable Y_n , can be written as follows:

$$M_Y(k) = 2\lambda \exp\left(\frac{k^2}{4\lambda}\right) \int_{-\frac{k}{2\lambda}}^\infty \left(v + \frac{k}{2\lambda}\right) \exp(-\lambda v^2) dv$$

$$= 2\lambda \exp\left(\frac{k^2}{4\lambda}\right) \left\{ \int_{-\frac{k}{2\lambda}}^{\infty} v \exp(-\lambda v^2) dv + \frac{k}{2\lambda} \int_{-\frac{k}{2\lambda}}^{\infty} \exp(-\lambda v^2) dv \right\} \tag{16}$$

Let's rewrite Eq.(16) by change of the variable $x = \sqrt{2\lambda}v$:

$$M_Y(k) = 2\lambda \exp\left(\frac{k^2}{4\lambda}\right) \left\{ \int_{-\frac{k}{\sqrt{2\lambda}}}^{\infty} \frac{x}{\sqrt{2\lambda}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \frac{dx}{\sqrt{2\lambda}} + \frac{k}{2\lambda} \int_{-\frac{k}{\sqrt{2\lambda}}}^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \frac{dx}{\sqrt{2\lambda}} \right\} \tag{17}$$

For brevity, let's introduce the following notations: $T \equiv -\frac{k}{\sqrt{2\lambda}}$; $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$, $x \in R$.

Here $\varphi(x)$ is the probability density function of the standard normal distribution.

Considering the above accepted notations in Eq.(17), the Moment Generating Function $M_Y(k)$ of the random variable Y_n can be written as follows:

$$\begin{aligned} M_Y(k) &= 2\lambda \exp\left(\frac{T^2}{2}\right) \left\{ \frac{1}{2\lambda} \int_T^{\infty} x \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx + \frac{k}{2\lambda\sqrt{2\lambda}} \int_T^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \right\} \\ &= 2\lambda \exp\left(\frac{T^2}{2}\right) \left\{ \frac{1}{2\lambda} \int_T^{\infty} x\sqrt{2\pi} \varphi(x) dx + \frac{k}{2\lambda\sqrt{2\lambda}} \int_T^{\infty} \sqrt{2\pi} \varphi(x) dx \right\} \\ &= \sqrt{2\pi} \exp\left(\frac{T^2}{2}\right) \left\{ \int_T^{\infty} x \varphi(x) dx + \frac{k}{\sqrt{2\lambda}} \int_T^{\infty} \varphi(x) dx \right\} = \frac{1}{\varphi(T)} \left\{ \int_T^{\infty} x \varphi(x) dx - T \int_T^{\infty} \varphi(x) dx \right\} \\ &= \frac{1}{\varphi(T)} \{ \varphi(T) - T\bar{\Phi}(T) \} = 1 - \frac{T}{\varphi(T)} \bar{\Phi}(T) \end{aligned}$$

Here $\bar{\Phi}(T) \equiv \int_T^{\infty} \varphi(x) dx$.

In summary, we have:

$$M_Y(k) \equiv 1 - \frac{T}{\varphi(T)} \bar{\Phi}(T), \quad T \equiv -\frac{k}{\sqrt{2\lambda}}. \tag{18}$$

Considering that $k = -cr$ in Eq.(18), it becomes $T \equiv \frac{cr}{\sqrt{2\lambda}}$. In this case, the following equation is obtained:

$$M_Y(-cr) \equiv 1 - \frac{T}{\varphi(T)} \bar{\Phi}(T)$$

On the other hand, since the random variables $X_i, i = 1,2,3, \dots$, which represent the payment amount, have Exponential distribution with parameter $\mu > 0$, the Moment Generating Function can be presented as follows:

$$M_X(r) \equiv \frac{\mu}{\mu-r} \tag{19}$$

Inserting Eq.(18) and Eq.(19) into Eq.(11), the following equation is obtained:

$$\frac{\mu}{\mu-r} \left[1 - \frac{T}{\varphi(T)} \bar{\Phi}(T) \right] = 1 \Leftrightarrow 1 - \frac{T}{\varphi(T)} \bar{\Phi}(T) = \frac{\mu-r}{\mu} \Leftrightarrow 1 - \frac{T}{\varphi(T)} \bar{\Phi}(T) = 1 - \frac{r}{\mu}$$

In other words,

$$\frac{T}{\varphi(T)} \bar{\Phi}(T) = \frac{r}{\mu} \tag{20}$$

It can be rewritten as $r = \frac{\sqrt{2\lambda}}{c} T$, from the definition of $T \equiv \frac{cr}{\sqrt{2\lambda}}$.

Inserting $r = \frac{\sqrt{2\lambda}}{c} T$ in Eq.(20), we obtain the following equation:

$$\frac{T}{\varphi(T)} \bar{\Phi}(T) = \frac{\sqrt{2\lambda}}{c\mu} T \Leftrightarrow \frac{\bar{\Phi}(T)}{\varphi(T)} = \frac{\sqrt{2\lambda}}{c\mu} \Leftrightarrow \varphi(T) = \frac{c\mu}{\sqrt{2\lambda}} \bar{\Phi}(T) \tag{21}$$

For brevity we put $K \equiv \frac{c\mu}{\sqrt{2\lambda}}$. In this case, Eq.(21) becomes:

$$\varphi(T) = K \bar{\Phi}(T) \tag{22}$$

Here, $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$, $x \in R$; $\bar{\Phi}(T) \equiv \int_T^\infty \varphi(x) dx$; $K \equiv \frac{c\mu}{\sqrt{2\lambda}}$; $T \equiv \frac{cr}{\sqrt{2\lambda}}$.

Note that, when net profit condition is satisfied, an interval for variation of the constant K can be found. We know that the expected value of the claim amount is $E(X_1) = \frac{1}{\mu}$. Also, since the random variable Y_1 representing time dependent income has a Weibull distribution with $(\alpha = 2; \lambda)$ parameter, its expected value is given as follows:

$$E(Y_1) = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{2}\right) = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\lambda}} \tag{23}$$

Net profit condition demands that $E(X_1) < cE(Y_1)$. In this case, the following inequality

$$\frac{1}{\mu} < c \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\lambda}} \tag{24}$$

holds. Thus, from the inequality (24), the following interval of variation is found for the coefficient K :

$$\sqrt{\frac{2}{\pi}} < K < \infty \tag{25}$$

When $K > \sqrt{\frac{2}{\pi}}$, the graph of the functions $y = \varphi(T)$ and $y = K\bar{\Phi}(T)$ can be drawn on the same coordinate system and the intersection point of these functions can be found (see, Figure 2). As can be seen in the graph below, the graphs of these functions intersect at a single positive abscissa point. Therefore, the first positive solution of Eq.(22) can be found by numerical methods.

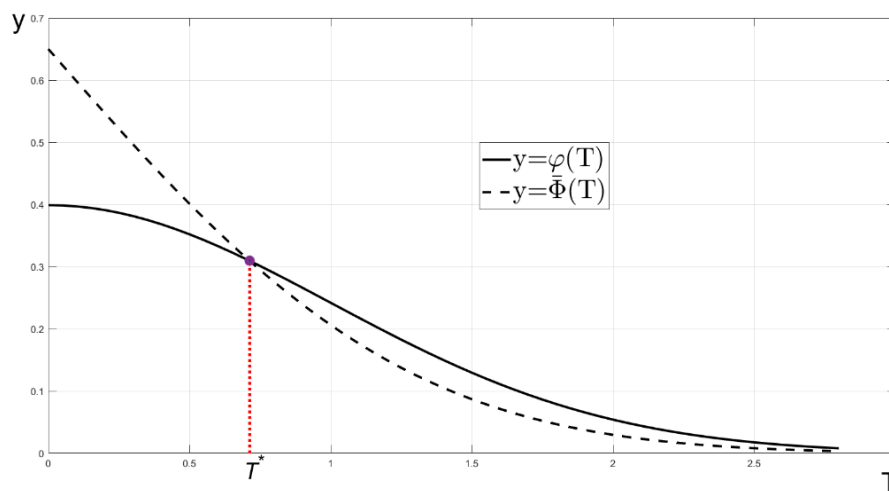


Figure 2. Intersection of $y = \varphi(T)$ and $y = \bar{\Phi}(T)$ at T^*

The T^* parameter, which is the abscissa of the intersection point, is the first positive value that satisfies the Eq.(22). To find the upper bound for the probability of ruin, the value of r corresponding to the T^* value can be found from the following formula:

$$r = \frac{\sqrt{2\lambda}}{c} T^* \tag{26}$$

Let us demonstrate the calculation of r using the above algorithm with the following example.

Example 1: Let the random variable X_1 express the claim amount which has exponential distribution with the $\mu = \frac{1}{2}$ parameter. Let the random variable W_1 represent the time between claims which has Exponential distribution with $\lambda = \frac{1}{2}$ parameter. Assume that the premium rate is $c = 2$ per unit time. Then what is the upper bound for the ruin probability?

Solution: For $\mu = \frac{1}{2}; \lambda = \frac{1}{2}; c = 2$ values, $K \equiv \frac{c\mu}{\sqrt{2\lambda}} = 1$.

Using the above algorithm for $K \equiv 1$, we get $\varphi(T) \equiv \bar{\Phi}(T)$.

Solving this equation by numerical method, the value $T^* = 0.22885$ is obtained. A corresponding adjustment coefficient r to this value of T^* is found as follows:

$$r = \frac{\sqrt{2\lambda}}{c} T^* = \frac{0.22885}{2} = 0.114425$$

Here, $T^* = \inf\{T > 0: \varphi(T) \equiv \bar{\Phi}(T)\}$.

Thus, the following inequality can be written for the ruin probability – for the non-linear model being considered – of the insurance company with the initial capital $u > 0$ as follows:

$$\Psi(u) = P_u\{\tau_1 < +\infty\} \leq e^{-ru} = e^{-(0.114425)u}.$$

Question: What should be the initial capital of the insurance company considered in Example 1 so that the probability of ruin is less than 5%.

Answer: When the adjustment coefficient is $r = 0.114425$, the upper bound of the probability of ruin of the considered insurance company is $e^{-(0.114425)u}$. If the upper bound of the probability of ruin is 5%, the following equation can be written:

$$e^{-(0.114425)u} = 0.05$$

From above equation, we get:

$$u = \frac{\ln(0.05)}{-0.114425} = \frac{-2.995732}{-0.114425} = 26.18075 \approx 26 \text{ units} \approx 13E(X_1)$$

is found. In summary, for the company to have a probability of ruin less than %5, the initial capital of the company should be at least approximately 13 times the payment in a claim. Note that in this example 1 $unit = \frac{1}{2}E(X_1)$.

6. Conclusion

In this paper, a special non-linear risk model is constructed and analyzed. In this model, the premium income function of an insurance company is expressed as $p(t) = cg(t) = c\sqrt{t}$, a function which increases slower than the linear function as in the classical model, which yields the Non-Linear Lundberg Risk Model as a result. Furthermore, a Lundberg type upper bound was found for this non-linear model. To calculate an upper bound, the adjustment coefficient r was estimated with numerical methods by solving integral equations.

Applying the mathematical techniques presented in this study, similar problems can be investigated by expressing the premium income function different than $p(t) = c\sqrt{t}$, which are monotonically increasing with the decreasing rate of growth. For instance, allowing $p(t) = c\ln(1+t)$, an analogous work could be conducted. Because, the rate of growth of the logarithmic function is slower than square-root function, logarithmic modeling can be preferred for some specific cases.

Acknowledgement

One of the authors (Yusup Allyyev) would like to thank TOBB ETU for the scholarship provided.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Asmussen, S. & Rolski, T. (1994). Risk Theory in a Periodic Environment: The Cramér-Lundberg Approximation and Lundberg's Inequality, *Mathematics of Operations Research*, 19 (2), 410-433. doi: <https://doi.org/10.1287/moor.19.2.410>
- Boikov, A.V. (2002). The Cramér-Lundberg model with stochastic premium process, *Theory of Probability and Applications*, 47, 489-493. doi: <https://doi.org/10.4213/tvp3693>
- Chadjiconstantinidis, S. & Politis, K. (2007). Two-sided bounds for the distribution of the deficit at ruin in the renewal risk model, *Insurance: Mathematics and Economics*, 41(1), 41-52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2006.09.001>
- Cohen, A. & Young, V. R. (2020). Rate of convergence of the probability of ruin in the Cramér-Lundberg model to its diffusion approximation, *Insurance: Mathematics and Economics*, 93(C), 333-340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2020.06.003>
- Constantinescu, C., Samorodnitsky, G. & Zhu, W. (2018). Ruin probabilities in classical risk models with gamma claims, *Scandinavian Actuarial Journal*, 2018(7), 555-575. doi: <https://doi.org/10.1080/03461238.2017.1402817>
- Cramér, H. (1930). On the mathematical theory of risk, Skandinavia Jubilee Volume, Stockholm. Reprinted in: martin-Löf, A. (Ed.) Cramér, H. (1994) Collected Works. *Springer*, 155-166.
- Gaier, J., Grandits, P. & Schachermayer, W. (2003). Asymptotic Ruin Probabilities and Optimal Investment, *The Annals of Applied Probability*, 13 (3), 1054-1076. doi: <https://doi.org/10.1214/aop/1060202834>
- Gauchonab, R., Loisela, S., Rullièrea, J. & Trufinc, J. (2020). Optimal prevention strategies in the classical risk model, *Insurance: Mathematics and Economics*, 91, 202-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2020.02.003>
- Gerber, H.U. (1988). Mathematical fun with ruin theory, *Insurance: Mathematics and Economics*, 7(1), 15-23. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-6687\(88\)90091-1](https://doi.org/10.1016/0167-6687(88)90091-1)
- Kaas R., Goovaerts M., Dhaene J. & Denuit M. (2001). Modern Actuarial Risk Theory, *Kluwer*, Boston.
- Lundberg, F. (1903). Approximerad framställning av sannolikhetsfunktionen, *Återförsäkring av kollektivrisker. Akad. Afhandling. Almqvist och Wiksell*, Uppsala, 7-9.
- Malinovskii, V.K. (2014). Improved asymptotic upper bounds on the ruin capital in the Lundberg model of risk, *Insurance: Mathematics and Economics*, 55, 301-309. doi: <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2013.12.004>
- Mikosch, T. (2004). Non-life insurance mathematics: An Introduction with Stochastic Processes, *Springer-Verlag*, Berlin. doi: <https://doi.org/10.1007/3-540-44889-6>
- Mishura, Y., Perestyuk, M. & Ragulina, O. (2014). Ruin probability in a risk model with variable premium intensity and risky investments, *Opuscula Mathematica*, 35(2), 333-352. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1403.7150>
- Rolski, T., Schmidli, H., Schmidt, V. & Teugels, J. (1999). Stochastic Processes for Insurance and Finance, *Wiley*, New York.
- Straub E. (1988). Non-Life Insurance Mathematics, *Springer*, New York.
- Temnov, G. (2014). Risk Models with Stochastic Premium and Ruin Probability Estimation, *Journal of Mathematical Sciences*, 196, 84-96. doi: <https://doi.org/10.1007/s10958-013-1640-y>
- Willmot, G.E. & Lin, X.S. (2001). Lundberg Approximations for Compound Distributions with Insurance Applications, *Springer*, Berlin.
- Yang H. (1998). Non-exponential Bounds for Ruin Probability with Interest Effect Included, *Scandinavian Actuarial Journal*, 1999(1), 66-79. doi: <https://doi.org/10.1080/03461230050131885>

Zhang, Z. & Yang, H. (2009). On a risk model with stochastic premiums income and dependence between income and loss, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 234(1), 44-57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2009.12.004>



Journal of Turkish Operations Management

Novel last mile delivery models in terms of sustainable urban logistics

Ş.Fatih Yılmaz^{1*}, Nadide Aktaş², Neslihan Demirel^{3*}

¹Department of International Trade and Logistics, Graduate School, Kayseri University, Kayseri
e-mail: ylmazfth95@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4095-7187>

²Department of International Trade and Logistics, Faculty of Applied Sciences, Kayseri University, Kayseri
e-mail: nadideaktas@kayseri.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0571-1974>

³Department of International Trade and Logistics, Faculty of Applied Sciences, Kayseri University, Kayseri
e-mail: ndemirel@kayseri.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-9737-6666>

Article Info

Article History:

Received: 08.11.2021
Revised: 04.04.2022
Accepted: 10.04.2022

Keywords:

Last Mile Logistics,
Urban Logistics,
Sustainability,
Out of Home Delivery

Abstract

The development in e-commerce is a factor that increases the quality of life of customers living in cities, however, it also leads to an increase in the need for last-mile logistics activities which causes a rise in traffic density, CO₂ emissions, parking problems, noise, environmental pollution, and even it causes the emergence of health problems. Moreover, not being at the delivery address which is today's often encountered problem causes failure of delivery, a decrease in the efficiency of operations for the logistics service provider (LSP), an increase in costs, and a decrease in the level of customer service. This study aims to conduct detailed research on sustainable last-mile delivery methods in order to provide solutions to the problems that arise in cities with the increase in the last-mile logistics practices as a result of widespread use of e-commerce and to accommodate to the changes in customer lifestyles. In this context, our study surveys the novel last-mile delivery methods alternative to conventional delivery with a broad perspective. These methods have been evaluated from LSP's and customers' points of view, features, advantages, and barriers of the methods are examined, and instances from the practice have been mentioned.

1. Introduction

The advances in internet technologies have brought about great changes in commercial behaviors as well as in many areas. These technologies contribute e-commerce enabling customers to shop whenever and wherever they wish using mobile devices. Besides that, increasing urban population is another factor that has an impact on e-commerce. According to World Bank data, whereas the ratio of urban population to total population in 2000 was approximately 47%, this percentage increased to around 56% in 2019 (World Bank, 2021). Furthermore, statistics from United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) indicate that in developed economies, 81% of the population is urban (UNCTAD-1, 2020). The prevalence of the internet and increasing urban population has boosted interest in e-commerce as it eliminates inefficient traditional commerce processes for customers such as the obligation to visit the store, finding products in the store, and queuing for purchase. UNCTAD data show that 2018 global e-commerce sales have increased by 8% compared to 2017, reaching 25,6 trillion USD (UNCTAD-2, 2020).

The flexibility and convenience that e-commerce provides the customer results in B2C (business to customer) model becoming more common, which heightens the need for last mile logistics practices. Last mile logistics, which consists of the activities to ensure product delivery to final customer and shows up at the final stage of traditional supply chains, is the most visible phase determining the product value for the customer. While choosing a product, modern-day customers not only assess criteria such as price, speed, service level and delivery method but they also pay attention to the environmental and social effects of purchasing and delivery processes. Therefore, managing their operations efficiently become more challenging for LSP. Also, focusing on effective product delivery to customer at minimum cost has started to become insufficient for suppliers, for whom it has now become inevitable to pay attention to sustainability. Along with the increasing need for last mile logistics practices; failed deliveries due to customer not being at the delivery address, wrong deliveries, working hour limitations for deliveries to offices, legal environmental regulations and heightened customer awareness have made new approaches compulsory for last mile logistics management.

On the other hand, a significant part of last mile logistics practices is fulfilled in cities, and so affects urban life. Transportation is regarded as the most essential and costly logistics activity. Urban mobility causes 40% of all CO₂ emissions of highway transport, and 70% of the other contaminants resulting from transportation (European Commission-1, 2021). Part of urban mobility is generated by commercial freight transport. More transportation brings together environmental effects and the traffic density in urban areas becomes a bigger problem by the day. Commercial traffic in European cities constitutes an average of 8 to 15% of urban traffic flow and has 20 to 30% effect on traffic emissions (Pronello, Camusso and Valentina, 2017). As the share of e-commerce increases in the retail industry, so does the share of freight transport-related emissions in the total emission amount resulting from urban mobility. Circumstances that occur in last mile logistics process, such as wrong parking and/or occupation of insufficient parking spaces, also negatively impact urban life (Pronello et al., 2017; European Commission-2, 2021). Although urban logistics initially focused on factors such as travel time, cost, and traffic; nowadays other topics such as safety and pollution draw attention as urban logistics practices have a significant influence on the environmental-social effects and quality of life (Amaral, Semanjski, Guatama and Aghezzaf, 2018).

This study conceptually addresses sustainable last-mile delivery models developed in order to adapt to customer lifestyle changes and find solutions to urban problems arising from the increased need for last-mile logistics practices parallel to the surge in urban population, consumption and online shopping, as well as the operation of these models and the advantages and disadvantages of the same in terms of LSP and customers. The models have been approached from a sustainable urban logistics point of view, with examples of practice. The study has been structured so that Section 2 researches relevant literature, Section 3 analyzes sustainable delivery models in last-mile logistics, and Section 3 includes the conclusion and suggestions of future researches.

2. Literature survey

Last-mile logistics has recently attracted the attention of academics and practitioners alike for being one of the most expensive activities in product delivery process to customers, constituting approximately 28% of the total cost (Zenezini, Lagorio, Pinto, De Marco and Golini, 2018; Pronello et al., 2017). In literature, the conventional delivery method where the order is delivered to customer at home is referred to as “home delivery” (Ostermeier, Heimfarth and Hübner, 2021; Kämäräinen, Saranen and Holmström, 2001; González-Varona, Villafañez, Acebes, Redondo and Poza, 2020; Arnold, Cardenas, Sörensen and Dewulf, 2018; Song, Cherrett, McLeod and Guan, 2009; Moroz and Polkowski, 2016). On contrary, the delivery method where the order is not delivered to the customer by the LSP and the customer themselves pick up the order is referred to as “out of home (OOH) delivery” (Kawa, 2020; Iwan, Kijewska and Lemke, 2016) or “delivery via collection delivery points (CDP)” (González-Varona et al., 2020; Boysen, Fedtke and Schwerdfeger, 2021; Moroz and Polkowski, 2016). It is known that OOH delivery models decrease last-mile logistics costs by up to 60% compared to home delivery (Punakivi, Yrjölä and Holmström, 2001; Wang, Zhan, Ruan and Zhang, 2014). On the other hand, there are studies which classify home delivery model into two groups as “attended” and “unattended” home deliveries; whereby the customer themselves receiving the order at home is defined as “attended home delivery” as opposed to the order being left at the doorstep, or delivered to a reception and delivery box (RDB), or a neighbor due to the customer not being at home which is described as “unattended home delivery” (Halldórsson and Wehner, 2020; Moroz and Polkowski, 2016).

Upon review of literature handling last-mile logistics, it is observed that studies focus on only one or few of the novel last mile delivery models. In literature, besides studies researching practices for selected delivery model in terms of efficiency (Wang et al., 2014), preferability or acceptability for customers (Iwan et al., 2016; Barthuly, 2019), benefits (Jara, Vyt, Mevel, Morvan and Morvan, 2018), utilization by customers (Rai, Cetinkaya, Verlinde and Macharis, 2020; Gielens, Gijbrecchts and Geyskens, 2020; Morganti, Dablan and Fortin, 2014), and influence on customer loyalty (Kawa, 2020); it is also identified that effects of the analyzed model on factors such as the cost, distance covered, CO₂ emission, traffic density, etc. are often studied via a case. Amongst these case studies are, Kämäräinen et al. (2001) focusing on the effects of using RDB instead of conventional attended home delivery on costs; Punakivi and Tanskanen (2002) researching the effects of shared multiple-user RDB on costs; Song et al. (2009) and Zenezini et al. (2018) analyzing the effects of using pickup drop-off (PUDO) points on distance covered and CO₂ emission; Reyes, Savelsbergh, and Toriello (2017) exploring the influence of in-car delivery models on distance; Silva, Magalhães, and Medrado (2019) examining the effects of using pickup point (PP) on costs and distance; Arnold et al. (2018) investigating the effects of using PP and cargo bikes on costs; Nürnberg (2019) researching the environmental effects of using cargo bikes; Perboli, Rosano, Saint-Guillain and Rizzo (2018) reviewing the effects of delivery via van, cargo bike, parcel locker (It will be mentioned as ‘locker’ in the rest of the paper) and the integrated utilization of these methods on costs; González-Varona et al. (2020) studying the effects of locker usage on CO₂ emission; Schwerdfeger and Boysen (2020) analyzing the effects of using mobile lockers instead of fixed lockers on costs; Koiwanit (2018) examining the environmental effects of drone usage; Agatz, Bouman and Schmidt (2018), and Pugliese, Guerriero and Macrina (2020) researching the effects of delivery trucks, drones and the integrated usage of these on costs, CO₂ emission and traffic density; Figliozzi

and Jennings (2020) focusing on the effects of autonomous ground vehicles (AGV) on distance covered, energy consumption and CO₂ emission; Ostermeier et al. (2021) investigating the effects of the integrated usage of trucks and AGV on total cost, distance and emission; and Halldórsson and Wehner (2020) exploring the effects of click and collect (C&C), PP, locker, in-car delivery and home delivery options on energy efficiency. Studies mostly use vehicle routing problem, simulation, and survey method. On the other hand, Boysen et al. (2021) have analyzed studies in literature handling decision problems regarding the design and operation of contemporary delivery models in last-mile logistics from an operational research point of view.

Upon review of last-mile logistics studies in literature, it is observed that there is no conceptual integrity where most studies compare conventional home delivery to one or a few novel last mile delivery models analyzed over a case study, and the remaining studies focus on decreasing the cost or environmental effects using optimization or simulation techniques for the selected delivery model within a certain region. There is a lack of studies comprehensively and holistically researching new generation delivery models most of which are OOH or carbon-free which is crucial for sustainable urban logistics. Within this context, this study thoroughly explores the 10 most common last-mile delivery models in literature and practice from a sustainable urban logistics perspective, displaying similarities and differences between models. Furthermore, it refers to global practices of aforementioned models as well as practices in Turkey. It is believed that this study will be beneficial for LSP in developing countries in their decision-making processes to make their last-mile logistics practices more efficient, to develop sustainable policies, and to gain competitive power resulting from cost savings; as well as improving customer perception on the sustainability of new generation delivery models.

3. Sustainable delivery models in last mile logistics

Last-mile logistics practices which are essential in urban logistics and continuously increasing parallel to the surge in e-commerce create value via timely delivery of products to customer location while they also lead to traffic density, parking problems, noise, increased emission, and health problems. On the other hand, customers not wishing to stick to a certain address during a certain delivery timeline causes failed deliveries due to customers not being in the indicated address, which leads to economic, environmental, and social costs. Within this framework, various delivery models alternative to conventional home delivery have become more widespread around the globe. This study researches the most common novel last mile delivery models in literature and practice; classifying them in Table 1 in terms of whether delivery staff is involved (manned-unmanned) in the transport and delivery phase, whether customers are involved in the delivery phase at home (attended-unattended), whether orders are delivered home or collected by customer (home delivery-OOH delivery), and finally whether the delivery option is sustainable or not.

Table 1. Delivery methods used in last-mile logistics

Last mile delivery model	Transport phase		Delivery phase		Home delivery		OOH delivery	Sustainability
	Manned	Unmanned	Manned	Unmanned	Attended	Unattended		
Crowdsourced	✓		✓		✓	✓	✓	✓
C&C	✓		✓				✓	✓
PP	✓		✓				✓	✓
PUDO	✓		✓				✓	✓
Locker	✓			✓			✓	✓
RDB	✓			✓		✓		✓
In-car delivery	✓			✓			✓	✓
Cargo bike	✓		✓		✓	✓		✓
Drone delivery		✓		✓	✓	✓		✓
AGV		✓		✓	✓	✓		✓
Conventional delivery	✓		✓		✓	✓		

There is no agreed terminology in literature for these models which are relatively new practices, and since the methods are intertwined, there exists a conceptual confusion. To detail the differences and similarities, Table 2 correlates various delivery models.

Table 2. Correlating the last mile delivery models

	Crowdsourced	Click and Collect (C&C)	CDP
PP	✓	✓	✓
PUDO	✓	✓	✓
Locker	✓	✓	✓
RDB			✓
In-car delivery			✓
Cargo bike	✓		

Delivery models discussed in the study have similar and common advantages and disadvantages which for customers, e-retailer, and LSP, although they have also their specific features. The advantages and disadvantages of delivery models are evaluated individually in Tables 3-4. Table 3 demonstrates details for C&C and PP, PUDO, locker, RDP, and in-car delivery models which are gathered under the heading CDP while Table 4 demonstrates AGV, drone, and bike that may be considered as vehicle options in last-mile delivery.

Table 3. Advantages and disadvantages of C&C, PP, PUDO, locker, RDP, and in-car delivery

Advantages	C&C	PP	PUDO	Locker	RDB	Car*	C*	R*	LSP
Provide flexibility in terms of choice of time and place		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Remove the obligation to be present in the delivery address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Eliminate failed deliveries for not being at the address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
No queue in store for the products		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
The pickup transaction can be combined with other errands	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Reduce last mile delivery times	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Increase reliability	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Increase the customer traffic and reputation of the stores acting as CDP and provide them with additional income		✓	✓						
Significantly decrease the fixed and variable last mile logistics costs	✓	✓	✓	✓					✓
Increase the operational efficiency by enabling multiple deliveries to a single point		✓	✓	✓	✓	✓			✓
Eliminate the distance, cost, traffic problems, CO ₂ , noise, pollution	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
High successful delivery rate at first attempt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Enable 24/7 customer service				✓	✓		✓		
Disadvantages	C&C	PP	PUDO	Locker	RDB	Car*	C*	R*	LSP
Last step of delivery is performed by the customer	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Not always possible to pick up all online orders from a single point	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
In case of multiple orders that need to be delivered by various LSP, the use of common CDP require competitors to cooperate (Kawa, 2020)		✓	✓	✓					✓
May cause lower service quality, reduced customer loyalty and inefficiency due to selection of uncommon CDP		✓	✓					✓	✓
Require digital aptitude, so, can bear a risk of inefficient use by technology-resistant users				✓		✓	✓		
Can cause volume limitations in order sizes		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Indoor access is limited to working hours/days	✓	✓	✓						✓

*Car: In-car, C: customer, R: e-retailer

Models in Table 3 are sustainable in different ways such as customers choosing PP on their way reduces distance covered, traffic, and parking problems, also returning the orders from the nearest PUDO has the same benefit. Additionally, models allow the delivery of many orders at once. Apart from these, delivery models as such RDP and in-car enable customers to collect deliveries easier, since delivery point is at close range.

Table 4. Advantages and disadvantages of AGV, drone, and bike

Advantages	AGV*	Drone	Bike	C*	R*	LSP
Cause no noise	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Support the use of green energy	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reduce last mile delivery times		✓	✓	✓	✓	✓
Need to integrate with larger delivery vehicles such as trucks	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ease of use in traffic density or the areas without parking space	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eliminate failed deliveries that courier related	✓			✓		✓
Cause very low or zero-emission during use	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Decrease delivery cost					✓	✓
Lower initial investments					✓	✓
Enable customers to set flexible delivery times	✓			✓	✓	✓
Disadvantages	AGV*	Drone	Bike	C*	R*	LSP
Last step of delivery is performed by the customer	✓			✓		
Cost of maintenance, repair, and replacement parts are high	✓					✓
Low carrying capacity and battery capacity	✓	✓		✓	✓	✓
Suitable for short delivery distances	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Low-speed mobility	✓		✓	✓		✓
Suitable for small size and low weight packages	✓	✓			✓	✓
Need certified employees or couriers for use		✓				✓
May require legal permission, licenses, and regulations	✓	✓				✓

*AGV: S-AGV, C: Customer R: Retailer

The use of drones provides a fast delivery advantage for the customer, especially without obstacles such as traffic congestion. However, it requires training to be used, and that can cause a loss of cost and time for LSPs. Owing to no fuel consumption, bike delivery methods have an important advantage for retailers and LSPs in terms of delivery cost and zero emission. On contrary, AGV can cause excess costs for LSPs such as maintenance and repair due to the fact that it is autonomous and high-tech.

3.1. Crowdsourced delivery

Crowdsourcing means the completion of one or more tasks by benefiting from a group or groups outside of the internal work components. It has become one of the practices in last-mile logistics which benefits from local resources in the delivery of orders to customers. Crowdsourced delivery models can be in the form of home delivery (such as using courier support service from an individual with a car, bike, or motorbike or their own) as well as OOH delivery (such as an agreement with a local business which allows the business place to be used as a PP or PUDO point). Deliveroo, Amazon Flex, DoorDash, GoShare, Roadie and UberEats are global examples of businesses using crowdsourcing in their delivery process, whereas crowdsourced delivery in Turkey is rather new with example practices such as Yurtiçi Kargo (YK Plus) and Trendyol (Trendyol Express). Application of the nowadays popular crowdsourcing to last-mile logistics brings together essential advantages, such as:

- Significant decrease in logistics costs.
- Help e-retailers and LSP meet more customer demands in a short time within an increasingly competitive environment.
- Opportunity to enhance customer service levels for e-retailers and LSP via faster delivery without high capital costs.
- Stock flexibility and easier management of imbalanced demands for e-retailers.
- Decrease in CO2 emission, traffic density and resource utilization.
- Additional income for individuals and businesses who aren't professional couriers.
- Increased customer traffic and hence increased brand awareness for businesses.

Despite its advantages in the efficient management of last-mile logistics operations by LSP, this model also comes with some problems such as differences in regional policies and regulations, reliability, and brand consistency (Broadhurst, 2020).

3.2. Click and collect delivery

Differing from the traditional in-store shopping process, this delivery model is based on the customer placing the order online and then going to the store to collect the order once it is ready (Figure 1). Although this model has been in use for a long time in fast food chains, it's a relatively new method in retail chains (Jara et al., 2018). The C&C model is the most popular delivery model in the United Kingdom and C&C service ratio has increased from 63% in 2014 to 76% in 2017 (Köydedurmaz, 2017). According to a study by Forrester Research conducted in six European countries consisting of Germany, United Kingdom, Netherlands, France, Italy, and Spain with the participation of 15 thousand adult consumers, 54% of consumers prefer C&C delivery for various reasons such as cost saving and avoiding cash register queues (Fintechtime, 2016).

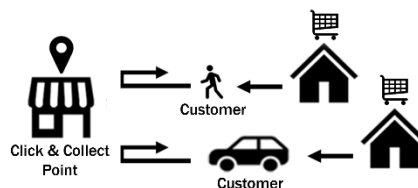


Figure 1. C&C delivery model

In this model where the customer has to collect the order, the process shows similarities to those in 'PP, PUDO, and lockers' which will be mentioned in the upcoming subsections, in that, the methods in question can also be used as CDP for C&C model. In the C&C model when customers visit the store to pick up the product, they can purchase more products and can immediately change or return the product they purchased online. By allowing these, models eliminate the distance, cost, traffic, and CO₂ emission. 1% increase in the use of the C&C model as an alternative to the conventional home delivery model provides a 1% decrease in urban delivery vehicles (Doddle, 2020).

3.2.1. Pickup point

In this delivery model, the product purchased online by the customer is delivered by the LSP to a PP determined by the customer during the purchase transaction. The process is then completed by the customer collecting the product from the aforementioned PP (Figure 2). PPs are mostly places of business operating in various industries (Morganti et al., 2014) which are walking distance from urban areas and located nearby customer's residence address (Halldórsson and Wehner, 2020). Examples of this delivery model in Turkey are the YK Plus service provided by Yurtiçi Kargo and the Bukoli service furnished by Borusan Logistics.

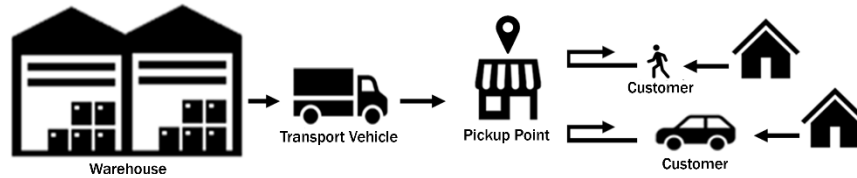


Figure 2. PP delivery model

The model prevents a decrease in customer service levels by determining correct CDP in locations frequently visited by customers (Weltevreden, 2008). Additionally, it ensures an 80% decrease in the distance that has to be covered for delivery in the case of failed deliveries at first attempt in conventional home deliveries (McLeod, Cherret and Song, 2006).

3.2.2. Pickup-drop off point

In PUDO point delivery model, customers can also personally pick up their orders from a place and at a time of their choice (Figure 3). However, this delivery method differs from PP model in that, customers can also send products from PUDO point. Potential PUDO points can be shopping malls, grocery stores or gas stations close to customers' home or workplace.

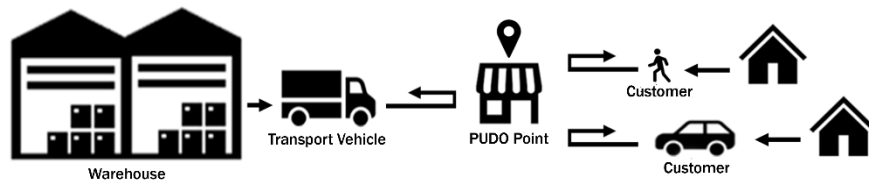


Figure 3. PUDO point delivery model

PUDO model, provides a suitable solution to handle increasing product returns. Depending on the seller's offer, customers can easily return the product at low cost or even free of charge (Kawa, 2020). PUDO point delivery is one of the most preferred OOH delivery methods in Germany, Great Britain, France, and Belgium (Kawa, 2019). Whereas it was estimated that Europe PUDO network consisted of approximately 190,000 points in 2019 (International Post Corporation, 2020), this number has increased up to 336,880 according to a report published in 2021 (Różycki, Gral and Anson, 2021).

3.2.3. Parcel locker

Also known as package locker, package station, locker box, smart locker, parcel automat, and parcel station; parcel locker functions as a safe locker from which the customer can pick up their order. In this model, the process starts with the customer choosing locker as the delivery method during their online shopping. After the LSP picks up customer package from the warehouse and drops it off at the locker determined by the customer, customer receives a message confirming delivery and containing an access code. The process is then finalized by the customer picking up their order from the locker using this code (Figure 4). In the event that the parcel is not picked up by customer within the specified time frame, LSP takes it back to the warehouse (Iwan et al., 2016).

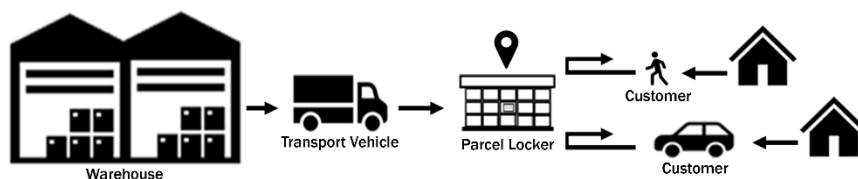


Figure 4. Locker delivery

Lockers from which the customers can pick up their parcels or in some cases even drop them off at are mostly placed in common areas such as petrol stations, bus stations or shopping malls on the way. LSP who operate

lockers usually provide customers with an option to identify and select the suitable locker for themselves via mobile applications. Lockers are encrypted and secured by means of technology (Moroz and Polkowski, 2016). Both LSP and customer can monitor parcel status online (Kawa, 2020). With advances in technology, lockers can be improved with innovative practices such as quick barcode scanners that facilitate product recognition, card units, facial and fingerprint recognition as well as infrared scanners that can identify whether the locker is full or empty.

Lockers can be designed for indoor and outdoor usage. Moreover, some lockers come with cooling features and heat control for heat-sensitive products. Besides fixed lockers, one can also come across mobile lockers which can change location throughout the day, hence increasing customer access. Compared to fixed lockers, mobile lockers are more advantageous in that they reduce the number of lockers needed as well as the capital requirement (Schwerdfeger and Boysen, 2020). Mobile lockers can be in the form of carriers transferred by a driver (Figure 5c), or in a more technologically advanced, driverless, and autonomous form. Furthermore, LSP can choose locker designs for brand image and advertising purposes. Figure 5 shows various types of lockers.



Figure 5. Types of locker **a.** Generic purpose locker (Rovenma, 2021); **b.** Refrigerated locker (ParcelHive, 2021); **c.** Mobile locker (BoxBot, 2021)

Due to high locker installation costs, e-retailers commonly prefer to work with LSP for use of lockers. This helps make locker utilization more prevalent in last-mile delivery from both B2B (business to business) and B2C. Companies such as DHL, HiveBox, AustraliaPost, UPS Access Point, InPost, FedEx, La Poste Group, and DPD group have locker practices. Różycki et al. (2021) has indicated that number of lockers in Europe in 2021 is 43,310. Recently, the locker delivery model has been put into practice also in Turkey. Kargopark is one of the examples that has lockers commonly used by multiple LSP in three cities. Kargopark and Opet cooperate in Opet Ultra Parcel Locker pilot practice implemented in İstanbul. Besides, Kargopark common lockers can also be selected as a delivery point in online orders from Trendyol (Kargopark, 2021). Another example of locker practices is the pilot project named “Locker Project” which is implemented by Eskişehir Tepebaşı Municipality. The project allocates 2 encrypted locker shelves free of charge to 850 residents. In this project, lockers are placed in disaster assembly areas where one of the locker shelves is designated for supplies that may be needed in the event of a possible disaster and the other one is used for parcel deliveries (Tepebaşı Municipality, 2021). “YK Plus 7/24” service of Yurtiçi Kargo company also includes locker delivery model. Additionally, the lockers of PTT named “cargomat” are becoming increasingly widespread across the country.

3.3. Reception and delivery box

In this model, the order is delivered to the box at the customer address. In literature, box types are labeled as reception boxes and delivery boxes (Punakivi et al., 2001; Wang et al., 2014). Reception boxes are permanently fixed to the exterior of customer’s house, their garage or garden wall. On the other hand, delivery boxes are mobile and fixed to customer’s garden wall by means of a locking system, and then following package pickup by customer they are collected by LSP during the next delivery or at any point to be used in other future deliveries (Punakivi et al., 2001). Figure 6 demonstrates the delivery model using RDB.

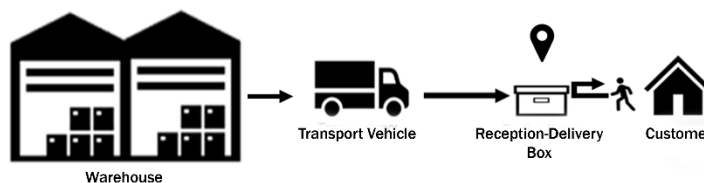


Figure 6. RDB delivery model

Conventional delivery is differentiated from RDB delivery, and that Table 5 demonstrates the differences between two methods.

Table 5. Conventional vs. RDB delivery (Kämäräinen et al., 2001)

Conventional	RDB
--------------	-----

Customized service	Yes	No
Last delivery point	Customer	Box
Customer dependency	Has to be present at address	Doesn't have to be present at address
Reception timelines	Fixed time intervals	Always
Delivery frequency	Varies depending on customer requirements	Mostly fixed
Delivery interval	Fixed time intervals	Working hours
Delivery time per house	Long	Short

In some cases, RDB are used commonly to serve multiple customers and save costs (shared reception box). Boxes can be accessed via an electronic code or a key, and once the delivery is complete, customer is notified by SMS or e-mail. Figure 7 shows examples of RDB fixed to the ground (a), fixed to the wall (b) and insulated RDB (c and d).



Figure 7. RDB samples (a, b: PinPod, 2021; c, d: Olivo-logistics, 2021)

In addition to the benefits in Table 5, other advantages of this delivery model are listed below:

- Ensures that the package is safe until the customer comes home.
- As opposed to PP, PUDO and locker options, customer doesn't have to travel any distance to receive the product.
- Reduces costs up to 60% compared to attended delivery models (Punakivi et al., 2001).

Although the distance covered in RDB model is the same as home delivery, this model eliminates the travel and costs due to failed deliveries as well as CO₂ emission, traffic, and pollution.

3.4. In-car delivery

Relatively new in last mile logistics and believed to be one of the beneficial delivery methods, in-car delivery model is comprised of the LSP delivering a product purchased online to the customer's car parked in the urban area within a specified time interval (Halldórsson and Wehner 2020) (Figure 8). For the model to be implemented, a car kit previously placed in the car is used to report the location of the car which has been parked for a specific period of time and to enable trunk check. By means of this kit, the courier can open the trunk and deliver the package, upon which the customer is notified via SMS of the delivery completion (Chua, 2012).

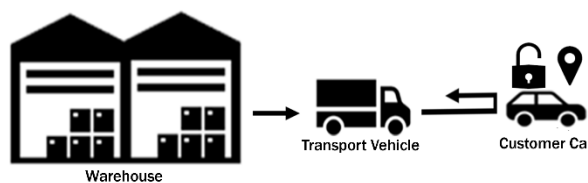


Figure 8. In-car delivery model

This delivery model basically makes use of GPS technology and automobile producers provide customers with the option to use this delivery method by offering new car models equipped with suitable devices. Within this framework, the two major automobile producers Audi and Volvo cooperate with DHL and Amazon for in-car delivery (Figure 9).

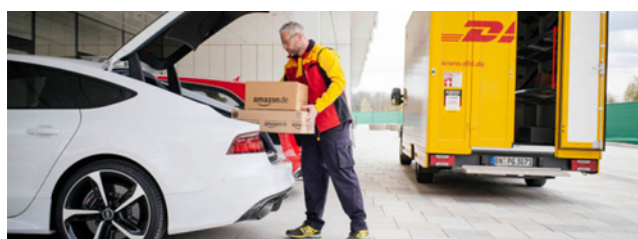


Figure 9. In-car delivery cooperation with Amazon, DHL, and Audi (Catalano, 2015)

The majority of the urban population leads constantly mobile lives and the delivery of online orders via conventional delivery methods is nowadays regarded as a factor negatively affecting the freedom of movement for the urban communities. The model promotes today’s customer’s mobile and active life and has great advantages as follows:

- Reduces delivery time and costs.
- Eliminates the probability of failed delivery due to customer not being at the address.
- Beneficial in terms of traffic density and CO₂ emission.
- Can reduce the distance travelled by 40% to 65% depending on location flexibility (Reyes et al., 2017).

On the other hand, the fact that concepts such as smart city and smart mobility are becoming increasingly popular by the day to create solutions to urban logistics problems, and that private car ownership in developed countries is being reduced due to environmental and social concerns where common transport vehicles are being crowdsourced can be deemed as a limitation for the future of this model.

3.5. Cargo bike

With the pressure of fast deliveries on LSP, it has become mandatory to resort to alternative remedies that provide delivery flexibility on cramped and/or pedestrianized roads. Within this context, cargo bike delivery appears to be a useful method. Cargo bike delivery notably focuses on the reduction of environmental factors and offers a more sustainable and flexible distribution model. Besides, it aims to prevent dense vehicle traffic in urban areas and causes less environmental impact (Arnold et al., 2018). Figure 10 illustrates last-mile delivery via cargo bike.

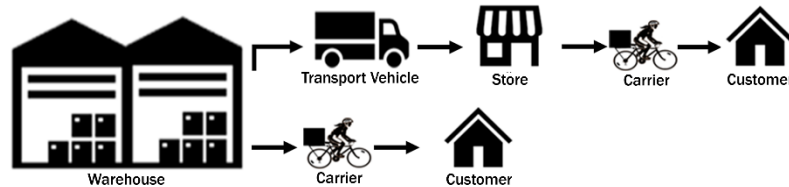


Figure 10. Cargo bike delivery model

Various cargo bike types used in last mile delivery are described in Table 6, whose visuals are presented in Figure 11.

Table 6. Types of cargo bike (Nürnberg, 2019)

Bike Type	Description
Post bike	Two-wheeler bike that the cargo box is mostly in front of the steering wheel or behind the saddle. Maximum transportation weight is usually between 50-75 kg.
Longtail	Two-wheeler bike type with a trunk at the back, which loaded up to 50 kg.
Frontloader	Mostly a two-wheeler in which the cargo box is placed at a low level in front of the bike. The low center of gravity as well as the geometry of the chassis allow for maneuvers even at higher transportation weights.
Trike	Multi-wheeler vehicles with the largest cargo area that can carry up to 500 kg of weight.

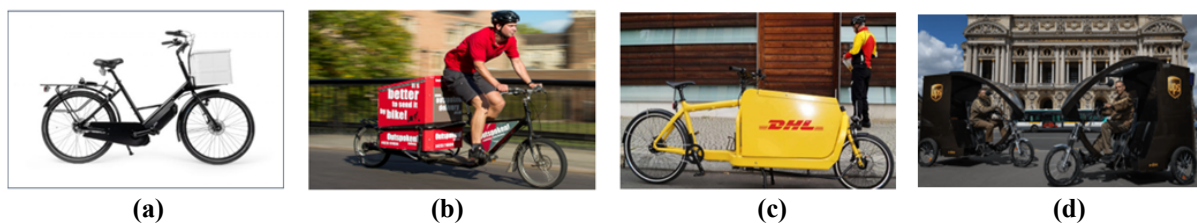


Figure 11. Types of cargo bike (a. Post bike (Cargo Cycling, 2021); b. Longtail (ECF News, 2011); c. Frontloader (Sutton, 2016); d. Trike (Manthey, 2018))

Considering the weight of cargo packages loaded on the cargo bike which can already be heavier than a normal bike, electric bikes (e-bikes) are more preferable in cargo deliveries since they are hard to ride by manpower. E-bikes also become prominent since they are faster and consume eco-friendly energy. To reduce emissions and improve sustainability, UPS uses e-bikes which can carry up to 100kg of cargo in Sweden and Denmark. (UPS Stories, 2020). Likewise, aiming to cancel out the emission they cause entirely by the year 2050, DHL are targeting to use eco-friendly collection and delivery solutions such as bikes and electric vehicles for 70% of their first and

end customer services (DHL, 2017). Cargo bike delivery model provides significant advantages, notably in terms of sustainability and:

- Remarkably reduces CO₂ emissions as it doesn't consume energy or consumes eco-friendly energy.
- Lowers traffic density and resolves noise problems.
- Enables fast and easy delivery in cramped and pedestrianized areas.

Alongside the foregoing advantages, it also has some limitations such as relatively low transport capacity, lack of bike roads in developing countries, difficulty to ensure the rider's traffic safety and too much effort requirement for non-electric models. Nevertheless, it is expected that this delivery model will become prevalent all around the world in the upcoming years with other LSP following the footsteps of Amazon, DHL and UPS who are the pioneers of cargo bike delivery.

3.6. Drone delivery

Both steerable and able to move autonomously, drones provide quite a quick delivery process and can meet high service standards such as same/next-day delivery and even delivery within 2 hours. Drones that are used for last-mile delivery can fly with a weight of up to 18kg on average (Poljak, 2021). The energy drones need to fly is supplied by lithium-ion batteries. Drones can usually deliver for a flight time of maximum one hour. Figure 12 shows drone delivery model.

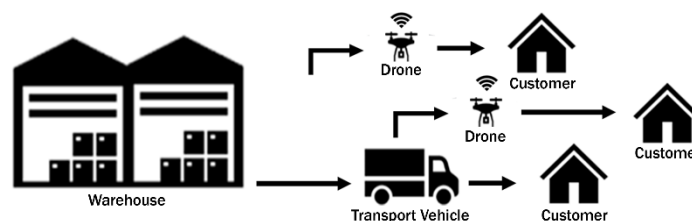


Figure 12. Drone delivery model

Factors such as low transport capacity and short battery life require the drones to frequently turn back to central warehouses. These limitations can be eliminated via drone+truck integrated transport (Figure 13). This model provides to complement the features of drones and trucks. While the truck has a lower speed than the drone, the drone has low weight and single order capacity. Using the model eliminates the inefficiencies of both, so the delivery process will be faster, weight and order capacity increase (Agatz et al., 2018). In this method, the driver loads the package into the cage under the drone and then directs the drone to an address via the previously determined autonomous route. Then, the drone updates its route using GPS technology to reach the truck which is on route for the next delivery (Burns, 2017). The combined use of drone+truck -especially for deliveries to rural areas- aims for the drone to perform quick and low-cost deliveries while the truck continues its trip on the main road.



Figure 13. a. UPS drone and delivery truck (Burns, 2017) b. Mercedes Vision Van (Muio, 2017)

One example is the drone-truck integrated delivery model by UPS (Figure 13a), and another one is the vehicle design by Mercedes named "Vision Van" which can deliver via drone as well as having a feature enabling electric and automatic cargo load (Figure 13b). Wing, Amazon Prime Air, UPS Flight Forward, Flytrex, Wingcopter, Zipline, DHL Parcelcopter and Boeing also pioneer and contribute to drone delivery advances (Ueland, 2021). Drone delivery method comes with many advantages listed as follows:

- Especially suitable for the delivery of small packages and fast food in urban areas.
- Reduces noise and traffic density and prevents CO₂ emissions from increasing (Pugliese et al., 2020).
- Saves energy and ensures staff safety as it is an unmanned process.
- Reduces the number of wrong deliveries.
- Presents a solution for orders that require quick delivery.

Even though this method presents a sustainable delivery model thanks to the use of electrical energy and resolves urban logistics problems, it has its own disadvantages: besides the obligation for drone use to be allowed by legislation; other potential problems can be listed as high costs (for both the drone itself and its spare parts), the risk of failed delivery resulting from early consumption of battery due to battery-related faults, the time and effort it takes to gain the necessary experience to operate the drones, failed deliveries due to malfunction and easy theft risk (Grinddrone, 2021).

3.7. Autonomous ground vehicle

One of the most significant contributions of technology to last mile logistics processes is the possibility to deliver using autonomous vehicles. Autonomous vehicles are equipped with various technological features such as radar, lidar, ultrasonic and infrared sensors and video cameras. These features enable autonomous vehicles to perceive the environment, avoid accidents by identifying objects, measure the distance from objects, 3D view and efficient night vision. Furthermore, autonomous vehicles eliminate the need to manually park, hence providing the drivers with benefits such as timesaving, enhanced road safety and collaborative driving (Mounce and Nelson, 2019). Customer picks delivery via an autonomous device whilst ordering, and the delivery is performed once the customer comes and picks up their package from the vehicle parked in front of the customer's house or any other chosen location (Figure 14). Deliveries made via this model make it possible to monitor the process.

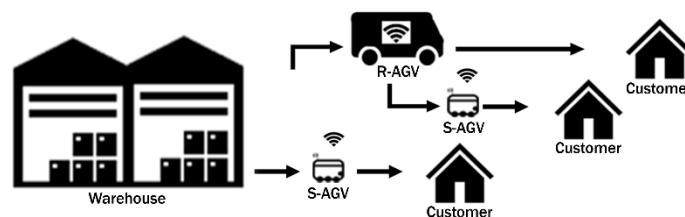


Figure 14. AGV delivery model

Autonomous delivery vehicles used in last mile delivery are categorized into two; as autonomous aerial vehicles and AGV (Barthuly, 2019). While drones, aforementioned in the foregoing section, represent the most common example of autonomous aerial vehicles; AGV come in two fundamental categories as sidewalk AGV (S-AGV) and road AGV (R-AGV). Whereas S-AGVs are robots that can only use sidewalks or pedestrian roads, R-AGVs use the highways used by traditional motor vehicles (Figliozzi and Jennings, 2020). Figure 15 presents examples of S-AGVs (a and b) and R-AGVs (c and d).



Figure 15. Samples of AGV (a. DHL Post Box (internet of business, 2021); b. Amazon Scout (Scott, 2019); c. Udelv (O'Dell, 2018); d. NURO (Eliport, 2018))

S-AGVs can autonomously move at pedestrian speed on sidewalks and can be remotely controlled in case of any problems. When they reach customer's location, they inform the customer who then can receive the order by opening the lock (Ostermeier et al., 2021). Like drones, S-AGVs can also be integrated into trucks (Boysen et al., 2021). As for R-AGVs, there's no obligation for them to be controlled by a driver, as with the technology available through R-AGVs the driver or operator can take over only when deemed necessary. The use of AGV in last mile delivery provides many advantages such as:

- Reduces parking space problems, especially while using S-AGV.
- Since it is unmanned, it reduces the risk of accidents and hence the financial, environmental and health losses resulting from accidents.
- Shortens delivery times and increases customer satisfaction.
- Eliminates wrong delivery problems.
- Reduces traffic density.
- Reduces fuel consumption and CO₂ emission.

The model also comes with some disadvantages such as the requirement for high capital investment and suitable road infrastructure as well as the dependency on the Wi-Fi network and network reliability.

4. Conclusion

Becoming increasingly complicated and costly by the day with fast urbanization, advances in technology and the rise in e-commerce; last mile logistics practices present a problem in terms of the sustainability of cities. Nowadays, considering the widespread use of internet and the busy work schedule of the urban population; instead of losing time with traditional shopping, customers are prone to fulfill their needs via e-commerce where they demand fast, cheap, and reliable deliveries of their orders. Already under time and cost pressure, LSP operations become harder with customers who are mobile throughout the day and not present at the product delivery address, which reduces the efficiency of last-mile logistics activities which form the last stage of the supply chain.

On the other hand, since a meaningful part of urban logistics activities consist of last mile deliveries; local administrations, practitioners, customers, and researchers alike have been paying more attention to the effects of delivery methods on the quality of life and environment for the urban population within the context of sustainable urban logistics. In order to find solutions to urban problems partially arising from last mile logistics such as traffic density, parking space issues, emissions, noise and air pollution, accident risks and various health issues; there has been a search towards sustainable and efficient delivery models as an alternative to the traditional home delivery model and new generation delivery models have started to be implemented worldwide. It is expected that those LSP and e-retailers who can quickly adapt to these new generation delivery models will have significant advantages over their competitors under the challenging market conditions. Sustainable delivery models also provide other advantages such as correct, quick, and cost-efficient delivery and freedom of mobility for the customers and the elimination of environmental concerns. Therefore, the effective planning and implementation of these new approaches make it possible to retain customer loyalty and assure high customer service quality.

In order to shed some light on urban logistics problems; this study looks into the operation, comparison, advantages and disadvantages, integration and example practices of new generation sustainable delivery models used in last mile logistics. To this end; as the most accepted models in literature as well as practice; crowdsourced delivery, C&C, PP, PUDO, locker, RDB, in-car delivery, cargo bike, drones and AGVs have been studied from a sustainable urban logistics point of view where their similarities and differences have been presented. Future researches will aim to use Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM) methods for last mile delivery model selection as well as to optimize the economic and environmental purposes of various delivery models under certain limitations based on the example of Turkey.

Contribution of authors

All authors contributed equally to the design and implementation of the research, the interpretation of the results, and the writing of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Agatz, N., Bouman, P. & Schmidt, M. (2018). Optimization approaches for the traveling salesman problem with drone, *Transportation Science, Articles in Advance*, 52 (4), 1–17. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0791>
- Amaral, R.R., Šemanjski, I., Gautama, S. & Aghezzaf, E.H. (2018). Urban mobility and city logistics – trends and case study, *Promet - Traffic & Transportation*, 30 (5), 613-622. doi: <http://dx.doi.org/10.7307/ptt.v30i5.2825>
- Arnold, F., Cardenas, I., Sörensen, K., Dewulf, W., (2018). Simulation of B2C e-commerce distribution in Antwerp using cargo bikes and delivery points, *European Transport Research Review*, 10 (2), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0272-6>
- Barthuly, D., (2019). *Autonomous ground vehicles in urban last-mile delivery – an exploration of the implementation feasibility and consumer's acceptance*, Master Thesis, Universidade Católica Portuguesa, Business and Economics Lisbon. url: <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/29253>
- BoxBot. (2019). url: http://www.prweb.com/releases/boxbot_unveils_a_new_system_for_self_driving_parcel_delivery/prweb16361603.htm
- Boysen, N., Fedtke, S. & Schwerdfeger, S. (2021). Last-mile delivery concepts: A survey from an operational research perspective, *SpringerLink, OR Spectrum* 43, 1–58. doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-020-00607-8>
- Broadhurst, B. (2020). Crowdsourced Delivery Is Here to Stay. url: <https://www.supplychainbrain.com/articles/30887-crowdsourced-delivery-is-here-to-stay>

- Burns, S. (2017). Drone meets delivery truck. url: <https://www.ups.com/us/en/services/knowledge-center/article.page?kid=cd18bdc2>
- Cargo Cycling. (2021). url: <https://www.cargocycling.com/cargo-cycles/cargo-courier/>
- Catalano, F. (2015). Amazon will deliver packages to car trunks, working with Audi and DHL. url: <https://www.geekwire.com/2015/deliveries-to-your-car-trunk-amazon-teams-with-audi-and-dhl-in-new-initiative/>
- Chua, H. (2012). Cardrops Turns Your Car Trunk into a Mailbox for Your Convenience. url: <https://technabob.com/blog/2012/11/01/cardrops-mailing-service/>
- ECF NEWS. (2011). Delivering Goods by Cycle? An Urban Recipe for Success. url: <https://ecf.com/news-and-events/news/delivering-goods-cycle-urban-recipe-success>
- DHL. (2017). url: <https://www.dhl.com/global-en/home/about-us/delivered-magazine/articles/2017/issue-2-2017/zero-emissions-by-2050.html>
- Doddle. (2020). Sustainable delivery. Luxury or necessity in today's consumer climate? url: <https://solutions.doddle.com/hubfs/Doddle%20Pulse%20Sustainable%20Delivery-1.pdf>
- Eliport Editorial Team. (2018). The Top Ten Autonomous Delivery Solutions of 2018. url: <https://medium.com/eliport/the-top-ten-autonomous-delivery-solutions-of-2018-5cfe4e0c90a5>
- European Commission-1. (2021). Clean transport, Urban transport Urban mobility. url: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility_en
- European Commission-2. (2021). Clean transport, Urban transport Sustainable Urban Mobility Plans. url: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban-mobility/urban-mobility-actions/sustainable-urban_en
- Figliozzi, M. & Jennings, D. (2020). Autonomous delivery robots and their potential impacts on urban freight energy consumption and emissions, *Transportation Research Procedia*, 46, 21–28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.159>
- Fintechtime. (2016). Türkiye’de Click & Collect Dönemi Başlıyor. url: <https://fintechtime.com/tr/2016/07/turkiyede-click-collect-donemi-basliyor/>
- Gielens, K., Gijbrecchts, E. & Geyskens, I. (2020). Navigating the last mile: The demand effects of click-and-collect order fulfillment, *Journal of Marketing*, 1-21. doi: <https://doi.org/10.1177/0022242920960430>
- González-Varona, JM., Villafañez, F., Acebes, F., Redondo, A. & Poza, D. (2020). Reusing newspaper kiosks for last-mile delivery in urban areas, *Sustainability*, 12 (22), 1-27. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su12229770>
- Grinddrone. (2021). Pros and Cons of Delivery Drones. url: <https://grinddrone.com/info/pros-cons-delivery-drones>
- Halldórsson Á. & Wehner J. (2020). Last-mile logistics fulfilment: A framework for energy efficiency. *Research in Transportation Business & Management*, 37, 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100481>
- International Post Corporation. (2020). Oct 2020: The battle for the last mile - analysis of key markets and players in the PUDO space. url: <https://www.ipc.be/services/markets-and-regulations/e-commerce-market-insights/e-commerce-articles/2020-10-pudo-overview>
- Internet of business. (2021). DHL US trials robots, AI, AR & crowdsourcing to beat Amazon. url: <https://internetofbusiness.com/dhl-trials-robots-ai-ar-and-crowdsourcing-to-beat-amazon/>
- Iwan, S., Kijewska, K. & Lemke, J. (2016). Analysis of parcel lockers' efficiency as the last mile delivery solution—the results of the research in Poland, *Transportation Research Procedia*, 12, 644–655. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.018>

- Jara, M., Vyt, D., Mevel, O., Morvan, T. & Morvan, N. (2018). Measuring customers benefits of click and collect, *Journal of Services Marketing, Emerald*, 32 (4), pp.430-442. url: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01806403>
- Kämäräinen, V., Saranen, J. & Holmström, J. (2001). The reception box impact on home delivery efficiency in the e-grocery business, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31 (6), 414-426. doi: <https://doi.org/10.1108/09600030110399414>
- Kargopark. (2021). url: <https://kargopark.com/>
- Kawa, A. (2019). Last mile logistics. in technological revolution. directions in the development of the transport-forwarding-logistics sector, url: <https://pitd.org.pl/wp-content/uploads/2020/01/PITD-Report-technological-revolution-directions-in-the-development-of-the-transport-forwarding-logistics-sector.pdf>
- Kawa, A. (2020). Out-of-home delivery as a solution of the last mile problem in e-commerce, smart and sustainable supply chain and logistics – trends, challenges, methods and best practices. *EcoProduction (Environmental Issues in Logistics and Manufacturing)*, Springer, Chapter 2, 25-40. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-61947-3_2
- Koiwamt, J. (2018). Analysis of environmental impacts of drone delivery on an online shopping system, *Advences in Climate Change Research*, 9 (3), 201-207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.accre.2018.09.001>
- Köydedurmaz, F. (2017). Click and Collect nedir? url: <https://www.nmdijital.com/click-collect-nedir/>
- Manthey, N. (2018). UK: Funding boost for last-mile cargo e-bikes. url: <https://www.electrive.com/2018/09/10/uk-funding-boost-for-last-mile-cargo-e-bikes/>
- McLeod, F., Cherrett, T. & Song, L. (2006). Transport impacts of local collection/delivery points, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 9 (3), 307-317. doi: <https://doi.org/10.1080/13675560600859565>
- Morganti, E., Dablanc, L. & Fortin, F. (2014). Final deliveries for online shopping: the deployment of pickup point networks in urban and suburban areas, *Research in Transportation Business and Management, Elsevier*, 11, 23-31. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.03.002>
- Moroz, M. & Polkowski, Z. (2016). The last mile issue and urban logistics: choosing parcel machines in the context of the ecological attitudes of the Y generation consumers purchasing online, *Transportation Research Procedia*, (16), 378-393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.036>
- Mounce, R. & Nelson, J.D. (2019). On the potential for one-way electric vehicle car-sharing in future mobility systems, *Transportation Research Part A Policy and Practice*, 120, 17–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.003>
- Muoio, D. (2017). Mercedes is reportedly pouring \$562 million into delivery van drones — here's a glimpse of what's to come. url: <https://www.businessinsider.com/mercedes-electric-vision-van-drone-delivery-service-photos-2017-3>
- Nürnberg, M. (2019). Analysis of using cargo bikes in urban logistics on the example of Stargard, *Transportation Research Procedia*, 39, 360–369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.038>
- O'Dell, J. (2018). Udelv Demos Autonomous Delivery Van. Launches On-Road Testing. url: <https://www.trucks.com/2018/01/31/udelv-autonomous-delivery-van-testing/>
- Olivo. (2021). La Graine Locale (“The Local Seed”). url: <https://www.olivo-logistics.com/en/2019/06/27/la-graine-locale/>
- Ostermeier, M., Heimfarth, A. & Hübner, A. (2021). Cost-optimal truck-and-robot routing for last-mile delivery, *Networks. 2021*, 1–26. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/net.22030>
- ParcelHive. (2021). url: <https://parcelhive.net/refrigerated-locker/>

- Perboli, G., Rosano, M., Saint-Guillain, M. & Rizzo, P. (2018). A simulation-optimization framework for city logistics. An application on multimodal last-mile delivery, *IET Intelligent Transport Systems*, pp. 1–8, January 2018. doi: [10.1049/iet-its.2017.0357](https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0357)
- Pinpod. (2021). Who is the PinPod outdoor parcel delivery box for? url: <http://www.pinpod.com/who>
- Poljak, M. (2021). How Much Weight Can a Drone Carry? url: <https://www.dronetechplanet.com/how-much-weight-can-a-drone-carry/>
- Pronello, C., Camusso, C. & Valentina, R. (2017). Last mile freight distribution and transport operators' needs: Which targets and challenges? *Transportation Research Procedia*, 25, 888–899. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.464>
- Pugliese, L.D., Guerriero, F. & Macrina, G. (2020). Using drones for parcels delivery process, *Procedia Manufacturing*, 42 (2020), 488–497. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.043>
- Punakivi, M. & Tanskanen, K. (2002). Increasing the cost efficiency of e-fulfilment using shared reception boxes, *International Journal of Retail & Distribution Management*, 30 (10), 498-507. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/09590550210445362>
- Punakivi, M., Yrjölä, H. & Holmström, J. (2001). Solving the last mile issue: reception box or delivery box? *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31 (6), 427-439. doi: <https://doi.org/10.1108/09600030110399423>
- Rai, H.B., Cetinkaya, A., Verlinde, S. & Macharis, C. (2020). How are consumers using collection points? Evidence from Brussels, *Transportation Research Procedia*, 46 (2020), 53–60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.163>
- Reyes, D., Savelsbergh, M. & Toriello, A. (2017). Vehicle routing with roaming delivery locations, *Transportation Research Part C Emerging Technol*, 80, 71–91. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2017.04.003>
- Rovenma. (2021). url: <https://www.rovenma.com/tr/smart-parcel-locker/>
- Rózycki, M., Gral, M. & Anson J. (2021). Out-of-home delivery in Europe 2021 PUDDO and parcel lockers, (Last Mile Experts, UPIDO), 1-87. url: <http://www.lastmileexperts.com/news-case-studies/195-out-of-home-delivery-in-europe-2021>
- Schwerdfeger, S. & Boysen, N. (2020). Optimizing the changing locations of mobile parcel lockers in last-mile distribution, *European Journal of Operational Research*, 285, 1077–1094. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.02.033>
- Scott, S. (2019). Meet Scout. url: <https://www.aboutamazon.com/news/transportation/meet-scout>
- Silva, J.V.S.D., Magalhães, D.J.A.V.D. & Medrado, L. (2019). Demand analysis for pick-up sites as an alternative solution for home delivery in the Brazilian context, *Transportation Research Procedia*, 39, 462–470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.048>
- Song, L., Cherrett, T., McLeod, F. & Guan, W. (2009). Addressing the last mile problem transport impacts of collection and delivery points, *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2097, 9–18. doi: <https://doi.org/10.3141/2097-02>
- Sutton, M. (2016). Cycling Industry News. url: <https://cyclingindustry.news/larry-vs-harry-starts-global-cargobike-partnership-with-dhl/>
- Tepebaşı Municipality. (2021). Tepebaşı'ndan Örnek Bir Proje Daha. url: <http://www.tepebasi.bel.tr/hd.asp?hid=10039>
- Ueland, S. (2021). 8 Commercial Drone Delivery Companies. url: <https://www.practicalecommerce.com/8-commercial-drone-delivery-companies>

UNCTAD-1. (2020). url: <https://stats.unctad.org/handbook/Population/Total.html>

UNCTAD-2. (2020). url: <https://unctad.org/press-material/global-e-commerce-hits-256-trillion-latest-unctad-estimates>

UPS Stories. (2020). UPS reduces emissions & congestion in Denmark & Sweden with new zero emission ebikes. url: <https://stories.ups.com/upsstories/us/en/newsroom/press-releases/sustainable-solutions/ups-reduces-emissions-congestion-in-denmark-sweden-with-new-zero-emission-ebikes.html>

Wang, X., Zhan, L., Ruan, J. & Zhang, J. (2014). How to choose “last mile” delivery modes for e-fulfillment, *Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2014, 1-11. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/417129>

Weltevreden, J.W.J. (2008). "B2C e-commerce logistics: the rise of collection-and-delivery points in The Netherlands", *International Journal of Retail & Distribution Management*, 36 (8), 638-660. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/09590550810883487>

World Bank. (2021). url: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>

Zenezini, G., Lagorio, A., Pinto, R., Marco, A.D. & Golini, R. (2018). The collection-and-delivery points implementation process from the courier, express and parcel operator’s perspective, *Ifac-papersonline*, 51 (11), 594–599. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.383>



Journal of Turkish Operations Management

Classification of SARS-CoV-2 variants in Turkey

Hilal Arslan

Department of Software Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara

e-mail: hilalarslanceng@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-6449-6952>

Article Info

Article History:

Received: 08.04.2022

Revised: 22.04.2022

Accepted: 25.04.2022

Keywords

SARS-CoV-2 variants,
COVID-19,
Coronavirus,
Classifiers

Abstract

Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) causes the COVID-19 disease, which turns into a pandemic and threatens public health. Appearing of SARS-CoV-2 variants shows a significant challenge in determining the risk of infection, develop vaccines as well as antiviral agents, monitor the changes, and assess the evolution of SARS-CoV-2. In this study, we propose a method for identifying SARS-CoV-2 variants in Turkey. To achieve this goal, nucleotide occurrences are computed from the whole genome sequences that include four nucleotides, A, C, T, and G. Thus, 30 000 bps genome sequences are represented by only four integer numbers. After features are extracted, four classification methods, support vector machines, k-nearest neighbor, neural network, and decision tree are employed to identify SARS-CoV-2 variants. Experimental results are conducted on a dataset including 1403 genome sequences from Turkey and belonging to variants of SARS-CoV-2, B.1.1.7 (Alpha), B.1.351 (Beta), P.1. (Gamma), as well as B.1.617 (Delta). Experimental results present that the KNN classifier achieves an accuracy of 0.94, a precision of 0.81, a recall of 0.80, and an F-score of 0.80 on average.

1. Introduction

Similar to other RNA viruses, SARS-CoV-2 continually changes through mutation and new variants have emerged over time. While SARS-CoV-2 has been spreading, the genetic code of the virus is constantly changed through mutations. Khateeb and Zhang (2021) investigated mutations in variants of SARS-CoV-2. While most of the mutations in SARS-CoV-2 have a lower impact on the functioning of the SARS-CoV-2, mutations in the spike protein of SARS-CoV-2 have a considerable effect on spread of the virus (Lauring and Malani, 2021).

Various types of SARS-CoV-2 are defined and only a small proportion of SARS-CoV-2 variants threatens public health since they can be more transmissible and cause more severe disease. With respect to their crucial spread and increasing death rates, there are five variants of SARS-CoV-2 called as variants of concern, recently. They are B.1.1.7 (Alpha) (Volz et al., 2021), B.1.351 (Beta) (Tegally et al., 2021), P.1. (Gamma) (Sabino et al., 2021), B.1.617 (Delta) (Micochova et al., 2021), and B.1.1.529 (Omicron) (Padane et al., 2022). The Alpha variant is known to come from the UK at the end of 2020. The Beta variant originates from South Africa in late 2020 and recent studies present that Beta variant is less effective to vaccination when comparing to the other variants (Hatirnaz et al., 2021). Gamma variant determined in September 2020 in Brazil caused serious disease and has a high infection rate as well as mortality (Faria et al., 2021). The studies showed that the virus level is 3-4 times higher than earlier variants in Gamma variant (Tao et al., 2021). Delta variant identified in India in early 2021 showed increased transmissibility. Turkey has the highest number of cases for Delta variant in the GISAID (Shu and McCauley, 2017). A study published by Davies et al. (2021) indicated that the Alpha variant is more transmissible than the Beta as well as Gamma variants, and results in increasing severity of the illness with

infection. On the other hand, the Delta variant is over five times as contagious when compared with previous variants, and recent researches have indicated that it might be more possibly than the original SARS-CoV-2 to drop infected people in the hospital. The Omicron variant identified on 26 November 2021 in South Africa. Kandeel et al. (2021) investigated Omicron variant, and they concluded that Omicron variant includes the largest number of genomic mutations among all variants, and when the sequence identity is considered, Alpha variant is the closest variant of Omicron.

In this study, we focus on four variants of concerns detected in Turkey including Alpha, Beta, Gamma, and Delta. Omicron variant was not considered in this study since this variant was not yet seen in Turkey. We propose an efficient method for identifying these variants in Turkey using complete genome sequences. The genome sequences include four nucleotides, A, C, T, and G and each genome sequence used in this study includes approximately 30 000 nucleotides. Based on the nucleotide occurrence, four discriminative features are extracted by computing the frequency of nucleotide. Four machine learning methods, support vector machine (SVM) (Noble, 2006), k-nearest neighbor (KNN) (Guo et al., 2003), neural network (NN) (Charytoniuk et al., 2000), and decision tree (DT) (Galar et al., 2011) methods are employed to achieve classification. The other parts of this study is organized as follows. In Section 2, related works are given. Section 3 includes the proposed method. We present and analyze the results in Section 4. Finally, Section 5 includes conclusion.

2. Related Works

It is crucial to identify variants of SARS-CoV-2 since determining specific variants aids in to understanding their underlying patterns, propose effective strategies, determine the capability of known vaccines as well as fight future outbreaks. There is a recent study for identifying variants of the human SARS-CoV-2. Ali et al. (2021) used spike sequences to classify variants and used order information of the amino acids. Harvey et al. (2021) discussed the mutations of SARS-CoV-2 spike proteins by focusing on their effects on antigenicity and also discussed mutation frequencies. Simon-Loriere and Schwartz (2022) explained the concept of SARS-CoV-2 serotype that is a variation in a microbial species distinguished by humoral immune response. Burioni and Topol (2021) discussed the human immune response to variants of SARS-CoV-2. Arora, Kumar, and Panigrahi (2020) predicted COVID-19 cases in India using deep learning methods. Arslan and Arslan (2021) used machine learning techniques with CpG based features and similarity features to detect COVID-19 positive cases (Arslan, 2021). Garcia-Beltran et al. (2021) proposed a method for predicting COVID-19 disease severity. They considered 113 patients with COVID-19 and detected severe cases resulting in death and incubation. Han and Ye (2021) published a review on main variants of SARS-CoV-2 and its effects on vaccines. In another study, Arslan and Aygun (2021) detected COVID-19 cases from main symptoms as well as basic information about the patient such as age, gender, and contact with a person with COVID-19. Mann et al. (2021) detected SARS-CoV-2 variants with mass spectrometry. They determined peptide signatures of unique mass to identify variants of SARS-CoV-2, Alpha, Beta, Gamma, and Delta. Davi et al. (2021) characterized SARS-CoV-2 genome sequences using sequence alignment techniques.

3. Proposed Method

The main focus of this study is to present a stable and efficient method that successfully separates SARS-CoV-2 variants. To achieve this goal, whole genome sequences belonging to the Alpha, Beta, Gamma, and Delta variants of the SARS-CoV-2 are used. The pseudocode of the proposed method is given in Algorithm 1 and the main steps of the proposed method is also shown in Figure 1. To extract the features discriminating SARS-CoV-2 variants, we compute the frequency of each nucleotide in the genome sequences. The frequency is the number of occurrences of each nucleotide. Since genome sequences include four nucleotides, A, C, T, and G, we compute the frequency of A, C, T, and G. Thus, each SARS-CoV-2 sequence is represented by four integer values. After the feature extraction step, any machine learning method may be performed to classify SARS-CoV-2 variants and in this study, we use Support Vector Machines (SVM), k-Nearest Neighbor (KNN), Neural Network (NN), and Decision Tree (DT) classifiers. In the following, we briefly explained these machine learning methods.

SVM is a classification algorithm that is frequently used for solving binary classification or multi-class classification problems (Arslan, 2021). It is based on statistical learning theory, decision planes, as well as risk minimization. In the SVM method, each sample in the training data is treated as a point in an n-dimensional feature space, and the hyperplane separates these points with respect to different classes. The main purpose of the algorithm is to ensure that the hyperplane constructed has the largest margin.

In the KNN (Hamed et al., 2020) algorithm, the k which is a user defined constant value, is first determined, and then k closest samples are chosen. In the selection of the k samples, any distance measurements can be used such as Euclidean, Manhattan, and Minkowski. The newest data is classified with respect to majority voting. Since the KNN is a simple and easy to implement, it is among popular algorithms for solving classification problems.

Algorithm 1 Classification of the SARS-CoV-2 variants

Require: SARS-CoV-2 genome sequences

Ensure: Determine the variant of given SARS-CoV-2 sequences

Feature Extraction

for each genome sequences **do**

 Compute the frequency of C nucleotide

 Compute the frequency of G nucleotide

 Compute the frequency of A nucleotide

 Compute the frequency of T nucleotide

end for

Classification

Use any machine learning method to determine the variant of the SARS-CoV-2 sequences

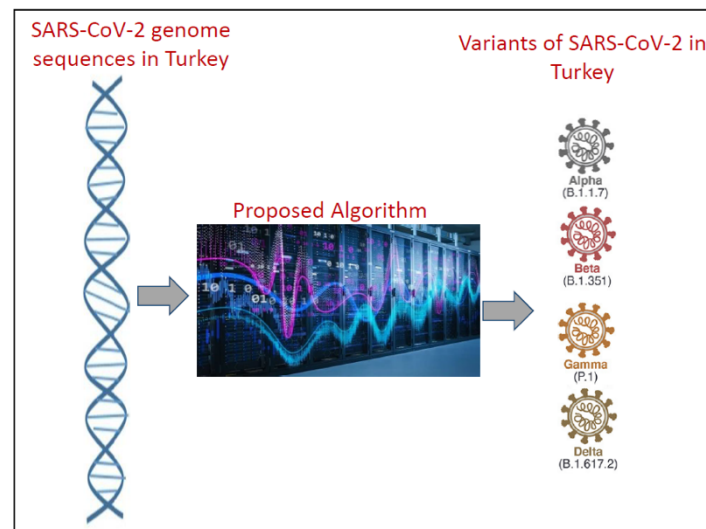


Figure 1. Proposed method

NN (Hasan, 2020) classifier is inspired by the biological nervous system of the human brain. It consists of an input layer, multiple hidden layers, and an output layer. Each node that is also called artificial neuron connects another node with respect to the determined threshold as well as associated weight. The node is activated if the output value of the node is above this threshold and the node sends its data to the next layer. Otherwise, data of the node is not passed to the next layer.

DT (Yoo et al., 2020) is a classifier that identifies the class labels of the samples by creating a tree-shaped model from the training data sets. The decision tree consists of a root node that does not receive any input and internal nodes that receive inputs. The output of one node is passed as input to another node. Inputs and outputs are called branches in the tree concept. If the output of a node in the tree is not transmitted as an input to another node, that node is called a leaf node. The concepts of node, branch and leaf in the tree structure symbolize the attribute, attribute values and class labels, respectively, in the dataset. Decision trees are frequently used in many classification studies because they are easy to construct and interpret algorithms. Another advantage of decision trees is that they do not take any external parameters and can be used to estimate both categorical and numerical values. The most important feature that distinguishes decision trees from other classifiers is that when estimating the class label of a sample, which attribute is more decisive.

4. Results

In this part, we evaluate the results of the DT, KNN, SVM, and NN methods when the nucleotide occurrences are used to discriminate SARS-CoV-2 variants. In DT method, Gini's diversity index is used, and the maximum number of splits is set to 20. In KNN classifier, the number of neighbors is set to 10 and the distance metric is chosen as cosine. In SVM classifier, Gaussian kernel is used. In NN method, two fully connected layers are used. The first and second layer sizes are set to 10, and ReLU activation function is used.

4.1 Dataset

In this study, the experiments were carried out on the SARS-CoV-2 genome sequences which were extracted from the Global Initiative on Sharing All Influenza Data (GISAID) (Shu and McCauley, 2017) and the location is chosen as Turkey. The properties of the human complete genome sequences are shown in Table 1. Four variants of the SARS-CoV-2 sequences, which are alpha (B.1.1.7), beta (B.1.351), gamma (P.1), and delta (B.1.617), are emerged in Turkey. We download all available sequences of alpha, beta, and gamma variants in Turkey and repeated sequences are removed. We used 436 genome sequences of Alpha variant, 357 genome sequences of Beta variant, 110 genome sequences of Gamma variant, and 500 genome sequences of Delta variant. We used 1403 sequences in total, and all genome sequences are complete as well as high quality. We note there are many sequences from Delta variant in Turkey and we used 500 Delta variant of the SARS-CoV-2 sequences to have a balanced dataset.

Table 1. The properties of SARS-CoV-2 genome sequences

Variant	The number of genome sequences
Alpha (B.1.1.7)	436
Beta (B.1.351)	357
Gamma (P.1)	110
Delta (B.1.617)	500

4.2 Training and Testing

The k-fold cross validation, which is a more acceptable method to reserve the dataset as training and test data, is employed to evaluate the performance of the classifiers (Refaelzadeh et al., 2009). In the k-fold cross validation, the dataset is separated into k parts and while four sets are used as the training, the remaining one subset is used to test dataset. Thus, it minimizes the bias and variance to overcome the overfitting problem. In this study, k is set to 5 and computed the average performance measures to evaluate the effectiveness of the proposed method.

4.3 Performance Parameters

The performances of the classifiers are evaluated and compared by utilizing the precision, recall, accuracy, and F-score metrics that are given in Equations 1-4. Respectively. For each class c ,

$$Precision(c) = \frac{TP(c)}{TP(c) + FP(c)} \quad (1)$$

$$Recall(c) = \frac{TP(c)}{TP(c) + FN(c)} \quad (2)$$

$$Accuracy(c) = \frac{TP(c) * TN(c)}{TP(c) + TN(c) + FN(c) + FP(c)} \quad (3)$$

$$F - score(c) = \frac{2 * Precision(c) * Recall(c)}{Precision(c) + Recall(c)} \quad (4)$$

where $TP(c)$ is the number of sequences correctly classified for class c , whereas $FN(c)$ and $FP(c)$ are incorrectly classified sequences genome sequences on the row and column of class c , respectively. $TN(c)$ are all the other tiles. An example of confusion matrix for class c is shown in Figure 2.

		Predicted Label			
		Alpha	Beta	Gamma	Delta
Actual Label	Alpha	TN	FP	TN	TN
	Beta	FN	TP	FN	FN
	Gamma	TN	FP	TN	TN
	Delta	TN	FP	TN	TN

Figure 2. Confusion matrix for class Beta.

4.4 Experiments and results

After four nucleotide features are extracted from SAR-CoV-2 sequences, DT, KNN, NN, and SVM classifiers are applied. To evaluate and compare the performance of each classifier, 5-fold cross validation technique is employed. Figure 3 presents confusion matrices for DT, KNN, NN, and SVM methods, separately, and Table 2 summarizes the performance of the classifiers with respect to average performance measurements. First, we evaluate results of DT classifier. It correctly classifies 387 out of 436 genome sequences of Alpha variant as can be seen in Figure 3, and achieves 0.89 precision, recall, and F-measure values, and 0.93 accuracy value as in shown in Table 2. It correctly labels 317 out of 357 genome sequences of Beta variant, and achieves 0.84, 0.89, 0.93, and 0.86 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. When we analyze Gamma variant, DT classifier correctly classifies 42 out of 110 genome sequences of Gamma variant, and achieves 0.61, 0.38, 0.93, and 0.47 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. When we compare to the other variants, the performance results related to the Gamma variant has lower than the other variants. The main reason for this is that the dataset includes fewer genome sequences for the Gamma variant, and we have less information about the Gamma variant. Finally, the DT classifier successfully classifies 459 out of 500 genome sequences of Delta variant, and achieves 0.88, 0.92, 0.93, and 0.90 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. On average, the DT classifier achieves 0.8 precision, 0.77 recall, 0.93 accuracy, and 0.78 F-measure.

Second, we evaluate the results of the KNN classifier based on variants. The KNN achieves better performance, and it correctly labels 403 out of 436 genome sequences of Alpha variant, and achieves 0.89, 0.92, 0.94, and 0.91 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. When we look at the results of Beta variant, it correctly classifies 319 out of 357 genome sequences, and achieves 0.86, 0.89, 0.93, and 0.87 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. For Gamma variant, it correctly labels 49 of 110 genome sequences, and achieves 0.58, 0.45, 0.93, and 0.50 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. Finally, it correctly classifies 459 out of 500 genome sequences of Delta variant, and achieves 0.93, 0.92, 0.95, and 0.92 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. On average, the KNN classifier achieves 0.81 precision, 0.80 recall, 0.94 accuracy, and 0.80 F-measure.

Third, we evaluate results of the SVM classifier. It correctly classifies 401 out of 436 genome sequences of Alpha variant as can be seen in Figure 3, and achieves 0.88, 0.92, 0.94, and 0.90 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively as in shown in Table 2. It correctly labels 328 out of 357 genome sequences of Beta variant, and achieves 0.84, 0.92, 0.94, and 0.88 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. When we analyze Gamma variant, SVM classifier correctly classifies 25 out of 110 genome sequences of Gamma variant, and achieves 0.57, 0.23, 0.93, and 0.32 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. Finally, the SVM classifier successfully classifies 458 out of 500 genome sequences of Delta variant, and achieves 0.89, 0.92, 0.93, and 0.90 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. On average, the SVM classifier achieves 0.80 precision, 0.75 recall, 0.93 accuracy, and 0.75 F-measure.

Finally, we evaluate the results of the NN classifier based on variants. It correctly labels 403 out of 436 genome sequences of Alpha variant, and achieves 0.92 precision and recall values, 0.95 accuracy, and 0.92 F-measure. When we look at the results of Beta variant, it correctly classifies 320 out of 357 genome sequences, and achieves 0.85, 0.90, 0.93, and 0.87 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. For Gamma variant, it correctly labels 45 of 110 genome sequences, and achieves 0.60, 0.41, 0.93, and 0.49 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. Finally, it correctly classifies 464 out of 500 genome sequences of Delta variant, and achieves 0.90, 0.93, 0.94, and 0.91 precision, recall, accuracy, and F-measure values, respectively. On average, the NN classifier achieves 0.82 precision, 0.79 recall, 0.94 accuracy, and 0.80 F-measure.

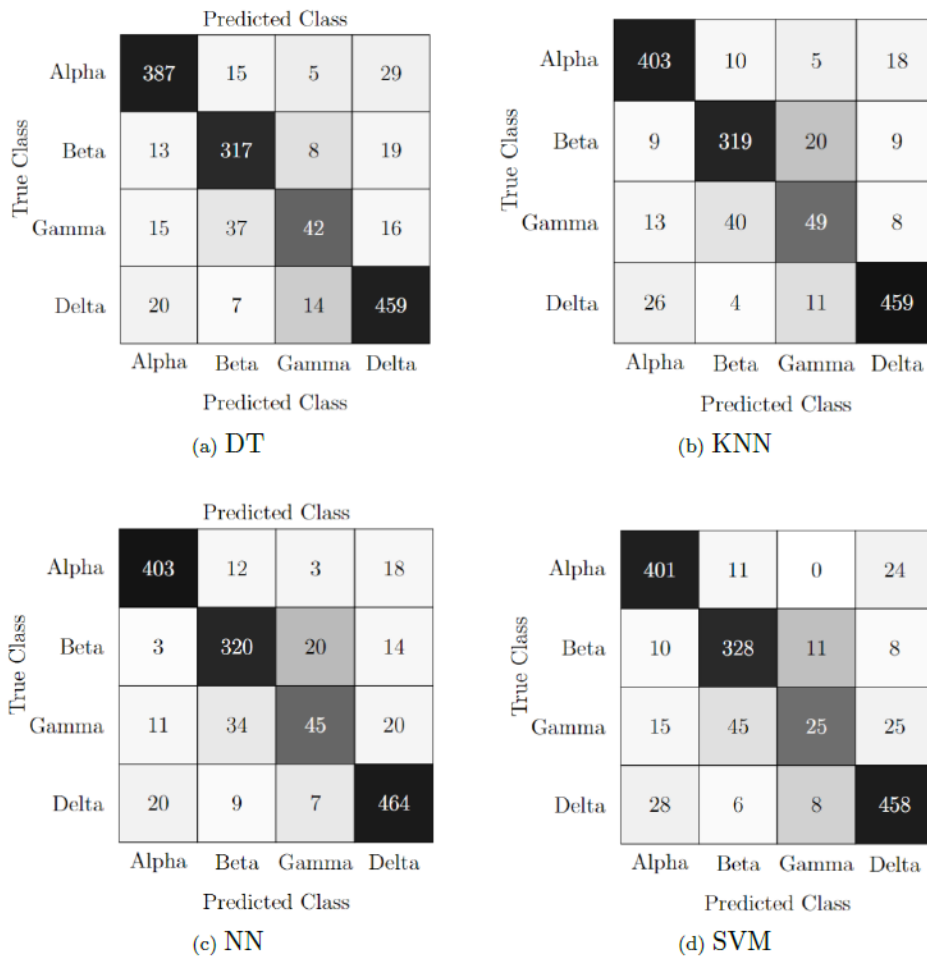


Figure 3. Confusion matrices for DT, KNN, NN, and SVM methods

Table 2. Variant based and average results of the machine learning classifiers

Method	SARS-CoV-2 Variant	Variant based results				Average results			
		Pre	Re	Acc	F-score	Pre	Re	Acc	F-score
DT	Alpha	0.89	0.89	0.93	0.89	0.8	0.77	0.93	0.78
	Beta	0.84	0.89	0.93	0.86				
	Gamma	0.61	0.38	0.93	0.47				
	Delta	0.88	0.92	0.93	0.90				
KNN	Alpha	0.89	0.92	0.94	0.91	0.81	0.8	0.94	0.8
	Beta	0.86	0.89	0.93	0.87				
	Gamma	0.58	0.45	0.93	0.50				
	Delta	0.93	0.92	0.95	0.92				
SVM	Alpha	0.88	0.92	0.94	0.90	0.8	0.75	0.93	0.75
	Beta	0.84	0.92	0.94	0.88				
	Gamma	0.57	0.23	0.93	0.32				
	Delta	0.89	0.92	0.93	0.90				
NN	Alpha	0.92	0.92	0.95	0.92	0.82	0.79	0.94	0.8
	Beta	0.85	0.90	0.93	0.87				
	Gamma	0.60	0.41	0.93	0.49				
	Delta	0.90	0.93	0.94	0.91				

5. Conclusion

Since the beginning of the pandemic, variants of SARS-CoV-2 have been identified. SARS-CoV-2 variants may be characterized by their transmissibility and disease severity. Recently, there have been identified four common variants of SARS-CoV-2 in Turkey. Alpha and Delta variants generally present higher infection rates and significant disease severity when compared to Beta and Gamma variants. Developing a method discriminating SARS-CoV-2 variants is significant to track mutations, monitor the changes, measuring the efficiency of the current vaccines, assess the evolution of SARS-CoV-2 as well as prevent its spread. In this study, we proposed a method separating variants of SARS-CoV-2 from genome sequences from Turkey. We determine four features representing the whole genome sequences. Next, we applied four machine learning methods to present effectiveness of the proposed features. The proposed method achieves the best accuracy with 94% on the dataset, including four variants of SARS-CoV-2 from Turkey when the KNN is employed. In future studies, we will analyze the sequences from all over the world and novel feature vectors will be described to increase overall accuracy. Furthermore, we will introduce new methods for developing PCR test kits by analyzing variants of SARS-CoV-2 genome sequences.

Contribution of Researchers

All parts of the paper are developed by Hilal Arslan.

Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Ali, S., Sahoo, B., Ullah, N., Zelikovskiy, A., Patterson, M., & Khan, I. (2021). A k-mer Based Approach for SARS-CoV-2 Variant Identification. In *Bioinformatics Research and Applications* (pp. 153–164). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91415-8_14
- Arora, P., Kumar, H., & Panigrahi, B. K. (2020). Prediction and analysis of COVID-19 positive cases using deep learning models: A descriptive case study of India. In *Chaos, Solitons & Fractals* (Vol. 139, p. 110017). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110017>
- Arslan, H. (2021). COVID-19 prediction based on genome similarity of human SARS-CoV-2 and bat SARS-CoV-like coronavirus. In *Computers & Industrial Engineering* (Vol. 161, p. 107666). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107666>
- Arslan, H. (2021). Machine Learning Methods for COVID-19 Prediction Using Human Genomic Data. In *The 7th International Management Information Systems Conference*. International Management Information Systems Conference. MDPI. <https://doi.org/10.3390/proceedings2021074020>
- Arslan, H., & Aygun, B. (2021). Performance Analysis of Machine Learning Algorithms in Detection of COVID-19 from Common Symptoms. In *2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE. <https://doi.org/10.1109/siu53274.2021.9477809>
- Arslan, H., & Arslan, H. (2021). A new COVID-19 detection method from human genome sequences using CpG island features and KNN classifier. In *Engineering Science and Technology, an International Journal* (Vol. 24, Issue 4, pp. 839–847). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.12.026>
- Burioni, R., & Topol, E. J. (2021). Assessing the human immune response to SARS-CoV-2 variants. In *Nature Medicine* (Vol. 27, Issue 4, pp. 571–572). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01290-0>
- Charytoniuk, W., & Chen, M. S. (n.d.). Neural network design for short-term load forecasting. In *DRPT2000. International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*. Proceedings

(Cat. No.00EX382). International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring, and Power Technologies 2000. IEEE. <https://doi.org/10.1109/drpt.2000.855725>

Davi, M. J. P., Jeronimo, S. M. B., Lima, J. P. M. S., & Lanza, D. C. F. (2021). Design and in silico validation of polymerase chain reaction primers to detect severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2). In *Scientific Reports* (Vol. 11, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91817-9>

Davies, N. G., Abbott, S., Barnard, R. C., Jarvis, C. I., Kucharski, A. J., Munday, J. D., Pearson, C. A. B., Russell, T. W., Tully, D. C., Washburne, A. D., Wenseleers, T., Gimma, A., Waites, W., Wong, K. L. M., van Zandvoort, K., Silverman, J. D., Diaz-Ordaz, K., Keogh, R., ... Eggo, R. M. (2020). Estimated transmissibility and impact of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7 in England. Cold Spring Harbor Laboratory. <https://doi.org/10.1101/2020.12.24.20248822>

Faria, N. R., Mellan, T. A., Whittaker, C., Claro, I. M., Candido, D. da S., Mishra, S., Crispim, M. A. E., Sales, F. C. S., Hawryluk, I., McCrone, J. T., Hulswit, R. J. G., Franco, L. A. M., Ramundo, M. S., de Jesus, J. G., Andrade, P. S., Coletti, T. M., Ferreira, G. M., Silva, C. A. M., Manuli, E. R., ... Sabino, E. C. (2021). Genomics and epidemiology of the P.1 SARS-CoV-2 lineage in Manaus, Brazil. In *Science* (Vol. 372, Issue 6544, pp. 815–821). American Association for the Advancement of Science (AAAS). <https://doi.org/10.1126/science.abh2644>

Galar, M., Fernandez, A., Barrenechea, E., Bustince, H., & Herrera, F. (2012). A Review on Ensembles for the Class Imbalance Problem: Bagging-, Boosting-, and Hybrid-Based Approaches. In *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* (Vol. 42, Issue 4, pp. 463–484). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/tsmcc.2011.2161285>

Garcia-Beltran, W. F., Lam, E. C., Astudillo, M. G., Yang, D., Miller, T. E., Feldman, J., Hauser, B. M., Caradonna, T. M., Clayton, K. L., Nitido, A. D., Murali, M. R., Alter, G., Charles, R. C., Dighe, A., Branda, J. A., Lennerz, J. K., Lingwood, D., Schmidt, A. G., Iafrate, A. J., & Balazs, A. B. (2021). COVID-19-neutralizing antibodies predict disease severity and survival. In *Cell* (Vol. 184, Issue 2, pp. 476-488.e11). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.12.015>

Guo, G., Wang, H., Bell, D., Bi, Y., & Greer, K. (2003). KNN Model-Based Approach in Classification. In *On The Move to Meaningful Internet Systems 2003: CoopIS, DOA, and ODBASE* (pp. 986–996). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-39964-3_62

Hamed, A., Sobhy, A., & Nassar, H. (2021). Accurate Classification of COVID-19 Based on Incomplete Heterogeneous Data using a KNN Variant Algorithm. In *Arabian Journal for Science and Engineering* (Vol. 46, Issue 9, pp. 8261–8272). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05212-z>

Han, X., & Ye, Q. (2021). The variants of SARS-CoV-2 and the challenges of vaccines. In *Journal of Medical Virology* (Vol. 94, Issue 4, pp. 1366–1372). Wiley. <https://doi.org/10.1002/jmv.27513>

Harvey, W.T., Carabelli, A.M., Jackson, B. et al. (2021). SARS-CoV-2 variants, spike mutations and immune escape. *Nat Rev Microbiol* 19, 409–424 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00573-0>

Hasan, N. (2020). A Methodological Approach for Predicting COVID-19 Epidemic Using EEMD-ANN Hybrid Model. In *Internet of Things* (Vol. 11, p. 100228). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100228>

Hatirnaz Ng, O., Akyoney, S., Sahin, I., Soykam, H. O., Bayram Akcapinar, G., Ozdemir, O., Kancagi, D. D., Sir Karakus, G., Yurtsever, B., Kocagoz, A. S., Ovali, E., & Ozbek, U. (2021). Mutational landscape of SARS-CoV-2 genome in Turkey and impact of mutations on spike protein structure. In M. Adnan (Ed.), *PLOS ONE* (Vol. 16, Issue 12, p. e0260438). Public Library of Science (PLOS). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260438>

Kandeel, M., Mohamed, M. E. M., Abd El-Lateef, H. M., Venugopala, K. N., & El-Beltagi, H. S. (2021). Omicron variant genome evolution and phylogenetics. In *Journal of Medical Virology* (Vol. 94, Issue 4, pp. 1627–1632). Wiley. <https://doi.org/10.1002/jmv.27515>

- Khateeb, J., Li, Y., & Zhang, H. (2021). Emerging SARS-CoV-2 variants of concern and potential intervention approaches. In *Critical Care* (Vol. 25, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03662-x>
- Lauring, A. S., & Malani, P. N. (2021). Variants of SARS-CoV-2. In *JAMA* (Vol. 326, Issue 9, p. 880). American Medical Association (AMA). <https://doi.org/10.1001/jama.2021.14181>
- Mann, C., Griffin, J. H., & Downard, K. M. (2021). Detection and evolution of SARS-CoV-2 coronavirus variants of concern with mass spectrometry. In *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (Vol. 413, Issue 29, pp. 7241–7249). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03649-1>
- Mlcochova, P., Kemp, S. A., Dhar, M. S., Papa, G., Meng, B., Ferreira, I. A. T. M., Datir, R., Collier, D. A., Albecka, A., Singh, S., Pandey, R., Brown, J., Zhou, J., Goonawardane, N., Mishra, S., Whittaker, C., Mellan, T., Marwal, R., ... Datta, M. (2021). SARS-CoV-2 B.1.617.2 Delta variant replication and immune evasion. In *Nature* (Vol. 599, Issue 7883, pp. 114–119). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03944-y>
- Noble, W. S. (2006). What is a support vector machine? In *Nature Biotechnology* (Vol. 24, Issue 12, pp. 1565–1567). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/nbt1206-1565>
- Padane, A., Mbow, M., Mboup, A., Diedhiou, C. K., Gueye, K., Lo, C. I., Ndiour, S., Leye, N., Ndoeye, A. S., Selbé Ndiaye, A. J., Diagne, N. D., Ndiaye, S., Beye, M., Sarr, M., Lo, G., Wade, D., Ahouidi, A., Diaw, P. A., Camara, M., ... Mboup, S. (2022). Rapidly rising cases with Omicron in Senegal. In *New Microbes and New Infections* (Vol. 45, p. 100959). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2022.100959>
- Refaeilzadeh, P., Tang, L., & Liu, H. (2009). Cross-Validation. In *Encyclopedia of Database Systems* (pp. 532–538). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_565
- Sabino, E. C., Buss, L. F., Carvalho, M. P. S., Prete, C. A., Jr, Crispim, M. A. E., Fraiji, N. A., Pereira, R. H. M., Parag, K. V., da Silva Peixoto, P., Kraemer, M. U. G., Oikawa, M. K., Salomon, T., Cucunuba, Z. M., Castro, M. C., de Souza Santos, A. A., Nascimento, V. H., Pereira, H. S., Ferguson, N. M., Pybus, O. G., ... Faria, N. R. (2021). Resurgence of COVID-19 in Manaus, Brazil, despite high seroprevalence. In *The Lancet* (Vol. 397, Issue 10273, pp. 452–455). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(21\)00183-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)00183-5)
- Shu, Y., & McCauley, J. (2017). GISAID: Global initiative on sharing all influenza data – from vision to reality. In *Eurosurveillance* (Vol. 22, Issue 13). European Centre for Disease Control and Prevention (ECDC). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.es.2017.22.13.30494>
- Simon-Loriere, E., & Schwartz, O. (2022). Towards SARS-CoV-2 serotypes? In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 20, Issue 4, pp. 187–188). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00708-x>
- Tao, K., Tzou, P. L., Nouhin, J., Gupta, R. K., de Oliveira, T., Kosakovsky Pond, S. L., Fera, D., & Shafer, R. W. (2021). The biological and clinical significance of emerging SARS-CoV-2 variants. In *Nature Reviews Genetics* (Vol. 22, Issue 12, pp. 757–773). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41576-021-00408-x>
- Tegally, H., Wilkinson, E., Giovanetti, M., Iranzadeh, A., Fonseca, V., Giandhari, J., Doolabh, D., Pillay, S., San, E. J., Msomi, N., Mlisana, K., von Gottberg, A., Walaza, S., Allam, M., Ismail, A., Mohale, T., Glass, A. J., Engelbrecht, S., Van Zyl, G., ... de Oliveira, T. (2021). Detection of a SARS-CoV-2 variant of concern in South Africa. In *Nature* (Vol. 592, Issue 7854, pp. 438–443). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03402-9>
- Volz, E., Mishra, S., Chand, M., Barrett, J. C., Johnson, R., Geidelberg, L., Hinsley, W. R., Laydon, D. J., Dabrera, G., O'Toole, Á., Amato, R., Ragonnet-Cronin, M., Harrison, I., Jackson, B., Ariani, C. V., Boyd, O., Loman, N. J., McCrone, J. T., ... Ferguson, N. M. (2021). Assessing transmissibility of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7 in England. In *Nature* (Vol. 593, Issue 7858, pp. 266–269). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03470-x>

Yoo, S. H., Geng, H., Chiu, T. L., Yu, S. K., Cho, D. C., Heo, J., Choi, M. S., Choi, I. H., Cung Van, C., Nhung, N. V., Min, B. J., & Lee, H. (2020). Deep Learning-Based Decision-Tree Classifier for COVID-19 Diagnosis From Chest X-ray Imaging. In *Frontiers in Medicine* (Vol. 7). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00427>



Journal of Turkish Operations Management

Geri dönüşüm atıklarının toplanmasında rota optimizasyonu: Alanya ilçesinde bir uygulama

Mehmet Gümüş¹, Emir Hüseyin Özder^{2*}, Elif Hatınoğlu³, Ayşe Uçar⁴

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya
e-mail: mehmet.gumus@alanya.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-2588-0270>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya
e-mail: emir.ozder@alanya.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1895-8060>

³Endüstri Mühendisi, Antalya
e-mail: hatinogluelif@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8922-7169>

⁴Endüstri Mühendisi, Antalya
e-mail: alfaseay@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-0680-8137>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 19.11.2021
Revize: 24.03.2022
Kabul: 25.04.2022

Anahtar Kelimeler:

Atık Toplama,
Geri Dönüşüm,
Araç Rotalama,
Tersine Lojistik

Özet

Bu çalışmada geri dönüşüm atıklarının toplama rotalarının düzenlenerek maliyetin taşıma maliyetinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında Alanya Belediyesinin denetiminde olan bir geri dönüşüm tesisinin karşılaştığı araç rotalama problemi çözüme kavuşturulmuştur. Araç kapasiteleri, toplama noktaları ve atık miktarları göz önüne alınarak Alanya ilçesinin belirli mahallelerinde günlük rota planlaması yapılmıştır. Çalışmada mevcut rotalar belirlenmiş ve daha sonra iyileştirilmiş rota önerisi ortaya konmuştur. Mevcut rota belirlemede bir harita uygulaması yardımıyla atık toplama merkezlerinin sıralaması, koordinatları ve aralarındaki mesafeler tespit edilmiştir. Sonrasında mevcut rotanın iyileştirilmesi için ARP modeli önerilmiş ve problemin çözümü için bir coğrafi bilgi sistemi kullanılmıştır. Elde edilen yeni rotalar ve mevcut rotaların karşılaştırılması yapılmıştır. Yeni rotaların taşıma mesafesini kısalttığı ve aylık olarak yaklaşık % 12'lik araç yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

Route optimization in the collection of recycling wastes: An application in Alanya district

Article Info

Article History:

Received: 19.11.2021
Revised: 24.03.2022
Accepted: 25.04.2022

Keywords:

Waste Collection,
Recycling,
Vehicle Routing,
Reverse Logistics

Abstract

In this study, it is aimed to minimize the cost of transportation by arranging the collection routes of recycling wastes. Within the scope of the study, the vehicle routing problem faced by a recycling facility under the control of Alanya Municipality has been resolved. Considering the vehicle capacities, collection points and waste amounts, daily route planning was made in certain neighborhoods of Alanya district. Firstly, the existing routes of the facility were determined and then an improved route proposal was put forward. In the current route determination, the order of the waste collection centers, their coordinates and the distances between them were determined with the help of a map application. Afterwards, the VRP model was proposed to improve the existing route and a geographic information system was used to solve the problem. The new routes obtained at the end of the study and the existing routes were compared. New routes shorten transport distance and save approximately 12% of vehicle fuel per month.

1. Giriş

Ekonomik rekabetin giderek arttığı günümüz koşullarında kurum ve kuruluşlar daha az maliyet gerektiren dağıtım ve toplama ağları için çalışmalar yürütürken aynı zamanda çevreye daha duyarlı iş modellerini benimsemeye başlamıştır. Ülkemizde başlatılan sıfır atık projesi (Sıfır Atık, 2022 Erişim Tarihi: 19.03.2022) ve uluslararası Paris İklim Anlaşması (Paris İklim Sözleşmesi, Erişim Tarihi: 19.03.2022) gibi girişimler, lojistik sistemlerinde taşıma maliyetleriyle beraber sürdürülebilirlik çerçevesinde çevresel faktörlerin de değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu girişimlere belediyelerin katkısı da önem arz etmektedir.

Sürdürülebilir çevre kapsamında belediyeleri önceliklerinden birisi, atıkların toplanması ve işlenmesidir (Demir vd., 2021). Belediyelerin sıfır atık sistemi kurma aşamaları; sıfır atık ekibinin oluşturulması, toplama altyapısının oluşturulması, toplama tesisi ihtiyacının karşılanması ve atık toplama faaliyetlerinin yürütülmesi olarak önerilmektedir (Sıfır Atık, Erişim Tarihi: 19.03.2022). Bunlardan ilk üçü sistemin kurulum aşamasında gerçekleştirilirken, atık toplama faaliyetleri günlük olarak operasyonel sistemin sürekliliğini sağlayan taşıma faaliyetidir. Bu faaliyetin en önemli konularında birisi, lojistik çalışma alanına giren toplama araçlarının günlük rotalarının belirlenmesidir.

Lojistiğin klasik tanımında üreticiden tüketiciye doğru ilerleyen bir akış söz konusuysen, atık toplama, tüketiciden üreticiye (toplama tesisine) doğru ilerleyen bir akış olduğu için tersine lojistik olarak ele alınmaktadır. Tersine lojistik uygulamaları sonucunda atıkların geri kazanımı ve dönüşümü sağlanabilmektedir. Bu da ekonomik yönden kazanç sağlanmasıyla beraber çevresel sürdürülebilirliğin devamlılığını da kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışma, sıfır atık projesi kapsamında, tersine lojistik faaliyetlerinden olan atık toplama işlemi için araç rotalama problemini (ARP) ele almaktadır. Problemin çözümüne yönelik uygulama, Alanya şehrine yönelik ve Alanya Belediyesi'nin konumlarını belirleyip yerleştiği geri dönüşüm konteynırları baz alınarak yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde Alanya'daki geri dönüşüm faaliyetlerine yer verilmiş, üçüncü bölümünde de geri dönüşümde tersine lojistik ve araç rotalama ele alınmıştır. Dördüncü bölümde kullanılan yöntem ve model sunulmuş, besinci bölümde uygulama sonucu elde edilen bulgular ortaya konulmuş, son bölümde de sonuçlar açıklanmıştır.

2. Alanya'da Geri Dönüşüm

Ürünlerin geri kazanımı; işletmelerde sorumluluk bilincinin artması, daha az malzeme ve kaynak kullanımı ile müşteri memnuniyetinin sağlanması ve çevresel olarak getirilerinin olmasından dolayı oldukça önemli bir faaliyet haline gelmiştir. Birçok işletme bu konuda çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmalar arasında geri dönüşüm işlemleri yer alır. Geri dönüşüm; atık olarak nitelendirilen ürünlerin toplanması, ayrıştırılması ve kirletici maddelerden temizlenerek tekrar kullanıma sunulması için yapılan işlemler bütünüdür. Geri dönüşüm faaliyetleri ile kullanılmış ürünlerin tekrar işlenerek yeni ürün üretiminde kullanılması ve böylece hem çevrenin korunması hem de maliyet azalışlarının yaşanması hedeflenmektedir. Bu faaliyetlerin düzenli olarak yürütülmesi, nüfus yoğunluğu fazla olan şehirlerde daha karmaşık hale gelebilmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Alanya, 350 bin nüfusu ile Türkiye'deki birçok ilden daha kalabalık bir ilçedir (TÜİK, Erişim Tarihi: 19.03.2022). Nüfus ve hane halkı gelirinine göre tüketimin de fazla olduğu Alanya'da geri dönüşüm çalışmaları, Alanya Belediyesi'sinin denetimi altında ilçede bulunan iki geri dönüşüm tesisi tarafından yürütülmektedir. İlçenin 31 mahallesinde geri dönüşüm atıklarının toplanması günlük bazda takip edilmektedir (Tablo 1). Bu mahallelerdeki toplama noktaları nüfus ve tüketim yoğunluğuna göre Alanya Belediyesi tarafından belirlenmiştir. Belediye, sıfır atık projesi kapsamında Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı İktisadi İletmesi (ÇEVKO) ile işbirliğini sürdürmektedir (Alanya Belediyesi, Erişim Tarihi: 19.03.2022).

Tablo 1'de toplama noktaları mahalle olarak gösterilmiştir fakat tesisler nokta bazlı çalışmaktadır. Uğradıkları mahallelerde belli noktalarda atık toplama konteynerleri bulunmaktadır ve o noktalardan atıklarını toplamaktadırlar. Toplanan geri dönüşüm atık çeşitleri plastik ambalajlar, metal ambalajlar, kâğıt / karton ambalajlar, kompozit ambalajlar ve cam ambalajlardan oluşmaktadır. Toplama işleminden sonra ilgili tesiste ayrıştırma ve sıkıştırma işlemleri yapılmaktadır. Ayıklanmış ve sıkıştırılmış atıklar daha sonra Konya, Kahramanmaraş, Antalya ve Kayseri'deki anlaşmalı firmalara gönderilmektedir.

Tablo 1. Alanya ilçesinde mahallelere göre atık toplama günleri

Mahalleler	Toplama Günleri
1. Kızılarpınarı Mah.	Pazartesi – Perşembe (Bölge 1); Çarşamba – Cumartesi (Bölge 2)
2. Saray Mah.	Salı - Cuma
3. Dinek Mah.	Pazartesi – Perşembe
4. Sugözü Mah.	Pazartesi – Perşembe (Bölge 1); Çarşamba – Cumartesi (Bölge 2)
5. Şekerhane Mah.	Çarşamba – Cumartesi (Bölge 1); Pazartesi – Perşembe (Bölge 2)
6. Çarşı Mah.	Çarşamba – Cumartesi
7. Hisariçi Mah.	Çarşamba – Cumartesi
8. Tophane Mah.	Çarşamba – Cumartesi
9. Kadıpaşa Mah.	Çarşamba – Cumartesi ((Bölge 1); Pazartesi – Perşembe (Bölge 2)
10. Hacet Mah.	Salı – Cuma (Bölge 1); Pazartesi – Perşembe (Bölge 2)
11. Güllerpınarı Mah.	Pazartesi – Perşembe ((Bölge 1); Salı – Cuma (Bölge 2); Çarşamba – Cumartesi (Bölge 3)
12. Fıçla Mah.	Pazartesi – Perşembe
13. Cumhuriyet Mah.	Çarşamba – Cumartesi
14. Küçük Hasbahçe Mah.	Pazartesi – Perşembe
15. Büyük Hasbahçe Mah.	Pazartesi – Perşembe
16. Bektaş Mah.	Çarşamba – Cumartesi
17. Tepe Mah.	Çarşamba – Cumartesi
18. Cıkcilli Mah.	Her gün
19. Çıplaklı Mah.	Cumartesi
20. Oba Mah.	Her gün pazar günü hariç
21. Tosmur Mah.	Her gün pazar günü hariç
22. Kestel Mah.	Her gün pazar günü hariç
23. Mahmutlar Mah.	Her gün pazar günü hariç
24. Kargıcak Mah.	Pazartesi– Çarşamba-Perşembe
25. Demirtaş Mah.	Pazartesi-Perşembe
26. Konaklı Mah.	Her gün
27. Payallar Mah.	Her gün
28. Türkler Mah.	Her gün
29. Avsallar Mah.	Her gün
30. Okurcalar Mah.	Her gün
31. İncekum Mah.	Her gün

3. Geri Dönüşümde Tersine Lojistik ve Araç Rotalama

Tersine lojistik, kullanılmış ürünlerin toplanarak onlara tekrar değer kazandırılması olarak ifade edilebilir. Değer katılan bu ürünler yeniden üretime dahil edilerek işletmeler için girdi kaynağı olarak kullanılmaktadır. Böylelikle işletmeler yeni kaynak arayışlarını azaltabilir ve maliyetleri düşürebilirler. Tersine lojistik aktiviteleri arasında, atık olarak adlandırılan ürünlerin toplanması ve bu ürünlerin işlenerek tekrar kullanılması işlemleri yer almaktadır. Bu işlemler tüketim noktasından üretim noktasına doğru ilerleyen işlemlerdir. Bu nedenle işletmelerin hangi ürünleri toplayacağı ve bu ürünler üzerinde hangi işlemlerin uygulanacağı belirli olmalıdır. İşletmeler tersine lojistik faaliyetlerine başlamadan önce; depo, toplama noktaları, ürün kapasiteleri, araç kapasiteleri ve rota bilgilerini değerlendirerek hareket etmektedirler. Tüm bu işlemler yürütülürken işletmenin karını maksimize kılacak çalışmaların yapılması en temel hedeftir.

Tersine lojistik aracılığı ile tüketicilerden toplanan atıklar atık ayrıştırma tesislerine ve geri dönüşüm tesislerine ulaştırılarak ürünlerin geri kazanımları sağlanmaktadır. Tersine lojistik faaliyetleri çevre kirliliğini azaltmakla beraber toplanan atıkların tekrar değerlendirilerek kullanılması sonucu ekonomik kayıpları da azaltmaktadır. Bu faaliyetlerin düşük maliyetlerle ve çevreye en az zarar vermeyele yapılması önemlidir. Bunlar için de özellikle toplama ve taşıma işlemlerinin araç rotalama optimizasyonu ile yapılması gerekmektedir.

Araç rotalama problemlerinde temel hedef, rota optimizasyonunun sağlanmasıdır. En az mesafe ve araç ile yapılacak taşıma işlemleri, araç kapasitelerinin verimli kullanılmasını ve tüketilen yakıt miktarlarının azalmasını sağlayabilmektedir. Bunlar da toplam aşımaya maliyetlerinin azaltabilmektedir. Mesafe ve yakıt miktarlarının azalması, CO2 emisyonunu da azaltacağı için sürdürülebilir çevre planlamasına katkı sunmaktadır.

Bu çalışmada Alanya'da faaliyet gösteren bir geri dönüşüm tesisi için araç rotalama problemi ele alınmıştır. Tesisin mevcut kaynakları ve atık toplama noktaları arasındaki mesafeler dikkate alınarak en iyi toplama rotalarını belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada toplama noktaları, atık miktarları, çalışma saatleri ve kullanılan araçlar göz önünde bulundurulmuştur.

4. Literatür taraması

ARP hakkında yapılan çalışmalar incelediğinde birçok araştırmacının bu konularda faaliyetler gösterdiği ve uygulama alanlarının oldukça fazla olduğu göze çarpmaktadır. Çalışmanın bu kısmında problemimizin yapısına benzer problemlerin tespiti ve çözümleri içeren makaleler incelenmiştir. Makaleler sırayla şöyledir:

Tezcan vd., (2021) çalışmalarında geçici depo yeri seçimi için alternatif ilçeler ve lokasyonlar arasından uygun yer tespiti yapmışlardır. Çalışmada, bir afet olduktan sonra, insanların temel yiyecek ihtiyaçlarını karşılayabilmek için geçici deponun uygun yere kurulması problemi ele alınmış ve matematiksel model yardımıyla çözüm önerisi sunulmuştur. Yazarlar hibrit bir karar modeli kurmuş ve birden fazla teknik (AHP, BAHP, TOPSIS, PROMETHEE, VIKOR ve Tam Sayılı Programlama) kullanmışlardır.

Yurdakul vd., (2021) çalışmalarında evde sağlık hizmetleri planlaması kapsamında çalışacak ekiplerin çizelgelemesini yaparken, aynı zamanda hizmetin sunulacağı güzergahların planlamasında da araç rotalama problemini çözüme kavuşturmuşlardır. Yazarların ele aldıkları problem her iki problemi de çözen ortak bir model önerisi sunmaktadır.

Furugi, (2021) çalışmasında tıbbi atıkların çevre için bir tehdit oluşturduğunu ve toplanmasının maliyetli bir süreç olduğundan bahsetmiştir. Yazar, çalışmasının maliyet etkenini azaltmayı gözettiğini ve bu amaçla belirli kısıtlar altında araç rotalama problemini ele aldığını vurgulamıştır. Yazar önerdiği yeni matematiksel modelle, mevcut rotaya göre daha etkili sonuçlar elde etmiştir. Bunun yanı sıra önceki plan dahilinde kullanılan araç sayısına kıyasla daha az araç kullanımı sağlanmıştır.

Yurdakul vd., (2020) çalışmalarında hızla artan yaşlı nüfusa kendi evlerinde bakım hizmeti sunan uygulamada bulunan ekiplerin güzergâh problemleri ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yazarların amacı, 29 ekibin her birinin toplamda 147 adrese verdiği hizmetleri gerçekleştirmek için kat ettiği mesafenin en aza indirilmesidir. Tamsayı programlama yöntemi ile rota öneren yazarlar, mevcut rotaya göre daha etkili sonuçlar elde etmiştir.

Taş vd., (2018) çalışmalarında önemi gün geçtikçe artan evde sağlık hizmetleri için araç rotalama problemini ele almışlardır. Yazarlar problemin çözümünde 0-1 tamsayı programlama yöntemi kullanılmışlardır ve ekiplerin hangi gün hangi sırayla hangi hastaları ziyaret edeceği belirlenmişlerdir. Böylelikle hem zamandan hem de maliyetten tasarrufu sağlamışlardır.

Alakaş vd. (2018), ürünlerin geri kazanım oranları üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verilerle geri kazanım politikaları belirleme işlemleri üzerinde durmuşlardır. Aynı zamanda yeniden üretim işlemlerinde maliyeti minimize edecek şekilde matematiksel modelleme yoluyla optimum sonuçlar elde etmeye çalışmışlardır. Problem çözümünde CPLEX ILOG programı kullanılmıştır.

Cingöz vd. (2018), ambalaj atığı toplama ve ayırma lisansına sahip bir işletmenin sahip olduğu tersine lojistik ağ yapısını incelemiş ve elinde bulunan veriler doğrultusunda bir simülasyon modeli geliştirmeye karar vermiştir. Çözüm yaparken Coğrafi Bilgi Sistemlerini kullanarak buna dahil olan OpenJUMP ve gvSIG programlarında işlemlerini yapmıştır. Problem kapsamında işletme için en kısa yolun belirlenmesini hedeflemiştir.

Bayzan vd. (2020), araç rotalamada kullanılan araçların faaliyette buldukları sırada örneğin atıkların toplanması sırasında harcadıkları süreleri belirleyerek bu sürenin toplam mesafelerde ne kadar olduğu ve bu toplam sürenin maliyet üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Çözüm yöntemi olarak da nesne temelli simülasyon modelini geliştirerek kullanmışlardır.

Durduran vd. (2018), Coğrafi Bilgi Sistemlerinden yararlanılarak rota optimizasyon çalışmaları yapmışlardır. Pilot bölge olarak belirlenen Ankara ili Çankaya ve Mamak ilçesindeki Çamlıtepe, Fakülteler, 50. Yıl, Ertuğrul gazi, Cebeci ve Abidinpaşa mahalleleri için çalışmalar yapılmış ve bu noktalar arasında optimal yollar bulunmuştur. Oluşturdukları yeni rotasyon ile bu sektörde çalışan diğer işletmelere örnek olmayı hedeflenişlerdir.

Özdemir vd. (2017), bir tekstil işletmesine ait gerçek veriler ile çoklu taşımanın söz konusu olduğu farklı rotaların planlaması için uygulamalar yapmışlardır. İlk olarak problemi bir matematiksel modelleme üzerinde göstererek maliyetin ve harcanan sürenin azalmasını amaç olarak belirlemişlerdir. Belirledikleri minimizasyon modeli ile en iyi rotanın seçimini yapmışlardır.

Güvez vd., (2012) çalışmalarında tıbbi atık toplama şirketinin araç rotalama problemini konu almışlardır. Yazarlar, en uygun rotanın belirlenmesini ve önerilen rotanın maliyetini en düşük seviyeye getirmeyi amaçlamışlardır. Başvurdukları yöntem ise tamsayı programlamadır. Önerilen modelde firmanın bir aylık toplam yol mesafesini %20,63 oranında iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Atmaca (2012), bir kargo şirketi için eş zamanlı dağıtım ve toplama işlemi için araç rotalama problemi uygulamıştır. Problemin çözümü için GAMS programını tercih etmiştir. Sonuç olarak ise mevcut durumu ve önerilen durumu belirli kriterler açısından karşılaştırmıştır.

Kaçtıoğlu ve Şengül (2010), tersine lojistik dahilinde olan ürünlerin geri dönüşümü ile ilgili yapılacak işlemleri belirlemiş ve işlemlerin akışında bir aksama yaşanmaması için bir tamsayı programlama modeli geliştirmişlerdir. Modeli ise LINGO programı üzerinde çalıştırmışlardır.

Düzakın ve Demircioğlu (2009) çalışmalarında araç rotalama problemi ile ilgili ilk çalışmalardan bahsetmişlerdir. Bu çalışmaların Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında başladığına ve bu konu birçok metot geliştirdiklerine değinmişlerdir.

Kuşçu (2009), taşımacılıkta kullanılan bir servisin önceden belirli olan güzergahlarını sistemde belirterek bu servis aracı için optimal rota belirlemesi ve maliyetin minimize edilmesi için çalışmalar yapmıştır.

Eryavuz ve Gencer (2001), Araç Rotalama Probleminde kullanılan çözüm yöntemlerinde yararlanarak Balıkesir Ordudonatım Okulu personel servis araçlarının toplam kat ettiği yolun minimize edilmesi için faaliyetlerde bulunmuşlardır. Problem çözümünde tasarruf algoritması yönteminden yararlanmışlardır.

5. Model ve Yöntem

Araç rotalama problemleri, bir veya birden fazla depodan belirli olan noktalara dağıtım ya da toplama hizmetlerinde bulunan ve rota optimizasyonunu sağlayan problemlerdir. Geri dönüşüm atıklarını toplama içerikli bu çalışmada, konumları belli olan atık toplama noktalarının her birisine mutlaka bir araç uğramalıdır. Araçların başlangıç ve bitiş noktalarını, konumu belli olan mevcut bir depo oluşturmaktadır. Araç kapasiteleri özdeştir. Tek bir depoya sahip araç rotalama probleminin doğrusal modeli detayları şu şekildedir:

Notasyon ve Parametreler:

i ve j : Toplama noktaları indisi; $i \in \{0, 1, 2, \dots, I\}$ ve $j \in \{0, 1, 2, \dots, J\}$

$i = 0$: Depo noktası

k : Taşıma araçları indisi; $k \in \{1, 2, \dots, K\}$

s : Araç sayısı

v : Toplama noktaları sayısı

d_{ij} : i ve j noktaları arasındaki mesafe

q_i : i toplama noktasına ait atık miktarı

c : Araç kapasitesi

Karar değişkeni:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, k \text{ nolu araç } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına hareket ederse} \\ 0, \text{ diğer durumlar} \end{cases}$$

Z_j : Alt tur oluşmaması için kullanılan değişken

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m d_{ij} X_{ijk} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ijk} &= s & i = 0 \text{ için;} & (2) \\ \sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n X_{ijk} &= 1 & \forall i, \quad i \in I & (3) \\ \sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n X_{ijk} &= 1 & \forall j, \quad j \in J \text{ ve } j \neq i & (4) \\ \sum_{i=1}^m X_{i0k} &\leq 1 & \forall k, \quad k \in K & (5) \\ \sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=0}^n X_{ijk} &\leq c & \forall k, \quad k \in K \text{ ve } j \neq i & (6) \\ Z_j &\geq Z_i + 1 - v(1 - \sum_{k=1}^m X_{ijk}) & \forall i, j, \quad i \in I, j \in J \text{ ve } j \neq i & (7) \\ Z_j &\geq 0 & \forall j, \quad j \in J & (8) \\ X_{ijk} &\in \{0,1\} & \forall i, j, k, \quad j \in J, k \in K \text{ ve } j \neq i & (9) \end{aligned}$$

Amaç fonksiyonunda (1) toplam gidilecek yolun en aza indirgenerek maliyetin minimizasyonu ifade edilmiştir. (2) nolu kısıt s adet aracın işletmeden çıkarak çalışmasını gerektiğini belirtir. (3) nolu kısıt her bir noktaya sadece bir aracın gitmesini mutlaka sağlar. (4) nolu kısıt sadece bir aracın toplama noktasından ayrılmasını sağlar. (5) nolu denklemde bir aracın işletmeden bir defa çıkması sağlanmaktadır. (6) nolu kısıt denklemi araçların uğradıkları toplama noktalardan aldıkları atıkların araç kapasitesini (c) geçmemesini sağlar. (7) ve (8) nolu kısıtlar alt tur oluşumunu engelleyen kısıtlardır. (9) nolu kısıt değişkenlerin tam sayı olması kısıtıdır.

ARP probleminin çözümünde ARP, zor problemler (NP hard) kapsamındadır. Çözüm elde etmek için sezgisel yöntemler kullanılabilir. Çalışmada, çözüm oluşturabilmek için coğrafi bilgi sistemine dayalı bir rotalama programı kullanılmıştır (yandex). Kullanılan programda rotalarda düzenleme yapılabilmesi için birtakım verilerin Excel formatında uygulamaya aktarılması gerekmektedir. Bu veriler Sipariş (Orders), Araç (Vehicle) ve Depo (Depot) bölümlerinden oluşmaktadır.

Sipariş bölümünde toplama noktalarında atık toplanabilecek zaman aralığı, toplama noktalarına ait atık kapasitesi (kg), adres bilgileri, adreslerin koordinatları, toplama noktaları için servis ve araç park etme ve dosya işlemlerine ayrılan süre bilgileri yer almaktadır. Süre bilgisi ortalama değer olarak alınıp tüm noktalar için sabit olarak kabul edilmiştir. Araç bölümünde araç sayısı, araç kapasitesi (kg), aracın depoya dönüp dönmeyeceği bilgisi ve araçların çalışma zaman aralığı verileri yer almaktadır. Depo bölümünde ise depoya ait koordinat bilgileri ve çalışma zaman aralığı bilgileri bulunmaktadır. Bu bölümler için gerekli olan detaylı adres ve koordinat bilgilerine çevrimiçi harita uygulaması aracılığıyla erişilmiştir.

6. Uygulama ve Bulgular

Uygulamanın gerçekleştirildiği yer, Antalya ilinin Alanya ilçesinde bulunan ve Alanya Belediyesi denetimi altında çalışan bir geri dönüşüm tesisidir. Tesiste plastik, metal, kâğıt, kompozit ve cam ambalajların geri dönüşümü için çalışmalar yürütülmektedir. Haftada altı günü faaliyet gösteren tesiste toplamda 17 çalışan mevcuttur. Yaz aylarında 5 araç, kış aylarında ise 1000 kilogramlık 3 araç fabrikada çalışmaktadır. Kış ayları için araçlardan 1 tanesi Kestel mahallesi → Mahmutlar mahallesi → Kargıcak mahallesi → Demirtaş mahallesi bölgesine, 1 araç da Tosmur mahallesi → Oba mahallesi → Cıkcilli mahallesi → Obagöl mahallesi rotalarındaki atıkları toplamaktadır. 3. araç ise kış aylarında atık miktarlarının az olmasından dolayı aktif olarak çalışmamaktadır, sadece yoğunluğun çok olduğu zamanlarda devreye girmektedir. İşletme Ayrıştırma bölümü, Sıkıştırma bölümü ve Depo olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Ürün stoku için yeterli alan mevcuttur. İşletmenin; çalışanlar için maaş, yemek ücreti, su ve elektrik giderleri, makine giderleri, araçların bakım giderleri ve araç yakıt giderleri bulunmaktadır. İşletme faaliyetlerini yürütürken yakıt fiyatlarının yüksek olmasından kaynaklı problemler yaşamaktadır.

Tesisin sorumluluğunda olan mahalleler kapsamında bulunan atık toplama noktaları belirlenerek rota optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu mahalleler Tablo 2'de verilmiştir. Her bir mahallede birden fazla toplama noktası (geri dönüşüm konteynırı) olup hâlihazırda araçların toplamaya çıktığı güne ve atık miktarına göre 41 ila 72 noktaya uğranmaktadır. Tesis, kendi sorumlu olduğu mahalleleri 2 bölgeye ayırmıştır: 1. bölge Kestel-Mahmutlar-Kargıcak-Demirtaş mahalleleri, 2. bölge ise Tosmur-Oba-Cıkcilli-Fığla-Çıplaklı mahalleleridir. Her bölge için çalışanlar ve araçlar birbirinden bağımsızdır. Tesis 2. Bölge için bir araç ayırmış bu bölge için herhangi bir iyileştirme talebinde bulunmamıştır. Bunun için çalışmada 1. Bölge üzerinde durulmuştur.

Mevcut durumda geri dönüşüm tesisi, toplama merkezleri için herhangi bir analitik metot kullanmamaktadır. Tesis, toplama işlemini gerçekleştirirken noktaların birbirine olan yakınlığını ve birbirine yakın toplama noktalarının

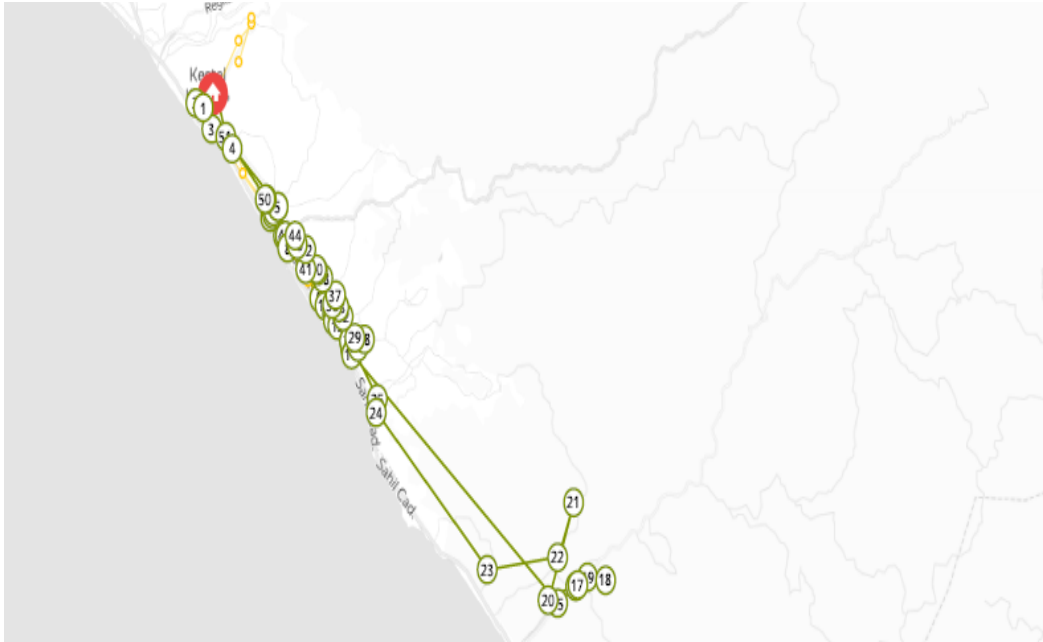
atıklarını aynı araca atama suretiyle bir yaklaşım uygulamaktadır. Bu ise araçlarda boşluklara ya da aracın kapasitesinin yetersiz kalıp depoya geri dönmesine neden olmaktadır.

Tablo 2. Alanya Geri Dönüşüm tesisinin atık toplamakla sorumlu olduğu mahalleler ve toplama günleri

Mahalleler	Toplama Günleri
1. Fıçla Mah.	Pazartesi – Perşembe
2. Cıkcilli Mah.	Her gün pazar günü hariç
3. Çıplaklı Mah.	Cumartesi
4. Oba Mah.	Her gün pazar günü hariç
5. Tosmur Mah.	Her gün pazar günü hariç
6. Kestel Mah.	Her gün pazar günü hariç
7. Mahmutlar Mah.	Her gün pazar günü hariç
8. Kağıcak Mah.	Pazartesi-Çarşamba-Perşembe
9. Demirtaş Mah.	Pazartesi -Perşembe

Tesiste uygulamaya konu coğrafi bölge için hâlihazırda kullanılabilir iki aracın kullanılmaya devam edeceği varsayılmıştır. Her bir aracın kapasitesi bir tondur. Bu araçların her 100 kilometrede 38 litre dizel yakıt tükettiği öngörülmüştür. Depodan çıkan her araç kendisine atanan toplama noktalarını dolaştıktan sonra tekrar depoya dönecektir. Tesis, pazar günleri hariç haftanın her günü araçları kullanabilmektedir. Her bir toplama noktasındaki günlük atık miktarının tahmini için en son gerçekleşmiş mart ayının verileri kullanılmıştır. Bu miktarlar mart ayına ait verilerin basit ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Maliyet hesaplamalarında kullanılan araç yakıt fiyatları da yine aynı mart ayının fiyat ortalaması temel alınarak oluşturulmuştur.

Dördüncü bölümde açıklanan ARP modeli ve çözüm yöntemi uygulamasında depo ve toplama noktalarının adres ve koordinatları, tesis çalışma saatleri, toplanacak ortalama atık miktarları, koordinatlara bağlı mesafe bilgisi ve atıkların toplanması sırasında geçen ortalama süre bilgisi kullanılmıştır. Pazartesi gününden cumartesi gününe kadar her gün için rota belirlemesi ayrı ayrı yapılmıştır. Oluşturulan yeni rotalar ile tesisin kullandığı mevcut rotaların toplam mesafe ve yakıt tasarrufu açısından karşılaştırmaları yapılmıştır. Örnek rota Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek rota

Elde edilen çözüm Tablo 3’te gösterilmiştir. Bu tabloda pazartesi cumartesiye haftanın her bir günü için ve kullanılan her bir araç için araç rotası, kat edilen mesafe ve aracın depoya taşıdığı yük miktarı yer almaktadır. Rota sırasının verildiği sütunda ‘D’, depoyu ifade ederken 1’den 68’ye kadar olan rakamların her biri toplama noktasını ifade etmektedir. Tesisin mevcut günlük rotası 1’den başlayıp sıralı olarak son toplama noktası numarasıdır. Örnek

olarak mevcut pazartesi rotası 1-2-3-4-...34-35-36-...66-67-68 şeklindedir. Dolayısı ile önerilen yeni rotalar her bir gün için mevcut rotalardan farklıdır. Bu yeni rotaların oluşturduğu maliyet avantajları Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 3. ARP çözümü.

	Araç No	ARP uygulaması sonucu yeni rota sırası	MESAFE (km)	Atık Miktarı (kg)
Pazartesi	1	D - 67 - 66 - 4 - 5 - 63 - 62 - 61 - 59 - 11 - 12 - 58 - 57 - 56 - 54 - 55 - 51 - 50 - 49 - 44 - 22 - 23 - 24 - 39 - 30 - 31 - 32 - 34 - 33 - 37 - 36 - 35 - 38 - 29 - 28 - 27 - 40 - 41 - 42 - 26 - 25 - 43 - 21 - 20 - 16 - 52 - 53 - 14 - 60 - 64 - 65 - 2 - 1 - D	48.5	998
	2	D - 68 - 6 - 7 - 9 - 15 - 17 - 19 - 45 - 46 - 47 - 18 - 48 - 13 - 10 - 8 - 3 - D	18.3	701
Salı	1	D - 29 - 30 - 33 - 5 - 4 - 35 - 38 - 39 - 41 - 40 - 42 - 11 - 12 - 15 - 17 - 19 - 22 - 23 - 24 - 62 - 27 - 61 - 60 - 59 - 26 - 25 - 58 - 57 - 21 - 20 - 56 - 55 - 54 - 18 - 16 - 53 - 52 - 51 - 50 - 46 - 48 - 2 - 1 - D	19.7	1000
	2	D - 28 - 32 - 31 - 34 - 6 - 7 - 36 - 37 - 9 - 43 - 44 - 45 - 47 - 49 - 14 - 13 - 10 - 8 - 3 - D	17.5	619
Çarşamba	1	D - 62 - 4 - 7 - 9 - 50 - 48 - 47 - 22 - 39 - 40 - 19 - 17 - 13 - 8 - 2 - D	18.2	682
	2	D - 5 - 57 - 56 - 53 - 12 - 14 - 15 - 18 - 20 - 25 - 26 - 27 - 33 - 32 - 31 - 30 - 34 - 35 - 36 - 29 - 28 - 37 - 38 - 24 - 23 - 21 - 42 - 41 - 43 - 44 - 45 - 49 - 46 - 16 - 52 - 51 - 11 - 10 - 54 - 55 - 58 - 59 - 6 - 3 - 1 - 61 - 60 - D	24.2	997
Perşembe	1	D - 69 - 72 - 71 - 70 - 68 - 4 - 6 - 7 - 9 - 58 - 55 - 53 - 15 - 48 - 47 - 18 - 16 - 14 - 13 - 8 - 2 - D	18.5	571
	2	D - 67 - 66 - 1 - 5 - 63 - 62 - 59 - 12 - 17 - 19 - 22 - 23 - 24 - 39 - 30 - 31 - 32 - 34 - 33 - 37 - 36 - 35 - 38 - 29 - 28 - 27 - 40 - 41 - 42 - 26 - 25 - 43 - 44 - 21 - 20 - 45 - 46 - 49 - 50 - 51 - 52 - 54 - 56 - 57 - 11 - 10 - 60 - 61 - 64 - 65 - 3 - D	48.4	995
Cuma	1	D - 34 - 35 - 6 - 7 - 36 - 37 - 41 - 43 - 45 - 40 - 46 - 44 - 42 - 38 - 39 - 40 - 47 - 9 - 48 - 50 - 49 - 8 - 2 - 1 - 30 - 31 - 32 - 28 - 29 - D	23.2	955
	2	D - 4 - 52 - 51 - 53 - 15 - 17 - 19 - 22 - 23 - 24 - 67 - 27 - 66 - 65 - 64 - 26 - 25 - 63 - 62 - 21 - 20 - 18 - 16 - 58 - 59 - 61 - 60 - 57 - 56 - 55 - 54 - 14 - 13 - 12 - 11 - 10 - 5 - 3 - 33 - D	19.1	998
Cumartesi	1	D - 42 - 39 - 38 - 36 - 6 - 35 - 34 - 33 - 32 - 26 - 24 - 23 - 18 - 19 - 22 - 21 - 20 - 17 - 16 - 25 - 27 - 13 - 15 - 14 - 12 - 11 - 28 - 29 - 30 - 31 - 10 - 9 - 8 - 7 - 5 - 37 - 40 - 41 - 4 - 2 - 1 - D	21.7	984

Tablo 4'te ARP çözümü ile mevcut durum, elde edilen tasarruflar yönünden kıyaslanmıştır. ARP çözümü her iş günü için kat edilen toplam mesafeyi kısaltırken, bu iyileştirme neticesinden maliyet yönünden günlük yakıt tasarrufu %7,1 ile %20,1 arasında değişmektedir. Araç kullanım kapasitelerine bakıldığında da her gün için en az bir aracın tam veya tama çok yakın kapasite ile kullanıldığı görülmektedir. Mevcut durum ile karşılaştırıldığında bir ay için ortalama yakıt maliyetlerinde yaklaşık %12'lik bir düşüş sağlanmıştır.

Tablo 4. ARP çözümünün mevcut rotaya göre kıyaslaması.

	Mevcut Rota Toplam Mesafe (m)	ARP Çözümü Rota Toplam Mesafe (m)	Toplam Kat Edilen Mesafe Değişim (m)	Toplam Yakıt Tasarrufu (%)	1. Araç Kapasite Kullanımı (%)	2. Araç Kapasite Kullanımı (%)
Pazartesi	72504	66800	5704	7,8	99,8	70,1
Salı	45934	36700	9234	20,1	100	61,9
Çarşamba	45616	42400	3216	7,1	68,2	99,7
Perşembe	76154	66900	9254	12,2	57,1	99,5
Cuma	51185	42300	8885	17,4	95,5	99,8
Cumartesi	23426	21700	1726	7,4	98,4	-

7. Sonuç

Günümüz dünyasında kaynak tüketiminin artması, atıkların depolanması için arazilerin yetersiz kalması, ekolojik dengenin sarsılması gibi konular, sürdürülebilir çevre başlığını gündeme getirmektedir. Türkiye’de bu konu ile alakalı atık yönetimi yönetmeliği 02.04.2015 tarihinde yürürlüğe girmiş ve daha sonra sıfır atık projesi başlatılmıştır. Bu yönetmelikte geri dönüşüm, atıkların yeniden kullanımı ve tersine lojistiğin önemi ön plana çıkmıştır. Belediyelerin denetimi altında geri dönüşüm faaliyetleri yürütülmeye başlanmıştır. Antalya’nın ilçesi olan Alanya’da da geri dönüşüm amaçlı belediye ile iş birliği içerisinde çalışan geri dönüşüm tesisleri mevcuttur. Bu tesislerin temel problemi, geri dönüşüm atıklarının zamanında ve mümkün olan en az maliyet ile toplanmasıdır. Literatürde bu tip problemlere dağıtım sistemlerinde de rastlanılmaktadır. Son yıllarda dağıtım sistemleri giderek daha karmaşık bir hale gelmiştir. Bu durum ise işletmeler açısından yoğun çalışma süreçlerine girmelerine neden olmuştur.

Dağıtım sistemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi de araç rotalama problemidir. Problemin temeli, merkezi bir depodan toplama/dağıtım noktalarına giderken kat edilecek mesafenin en aza indirgenecek şekilde rotaların belirlenmesidir. ARP’nin ana yapıtaşı taşıma işlemidir. Taşıma işlemi ticaretin başladığı ilk zamanlardan günümüze kadar önemini hiç kaybetmemiştir. Ülkemizde dağıtım/toplama maliyetleri, toplam maliyetlerin %20’lik dilimine kadar bir girdi oluşturabilmektedir. Bu yüzden dağıtım/toplama maliyetlerinde yapılan küçük iyileştirmeler bile gözle görülür düzeyde işletme giderlerinde tasarruf sağlayabilmektedir.

Çalışma kapsamında ARP ve farklı türleri tanıtılmış ve problemin gerçek hayattaki uygulamalarına bakılmış ve ARP çözüm yöntemleri ile alakalı geçmiş yıllara ait çalışmalar incelenmiştir. Alanya ilçesi kapsamında geri dönüşüm faaliyetlerin yürütülmesi esnasında en belirgin problemin yakıt giderlerinin fazla olması olarak belirlenmiştir. Bu problemde çözümü kapsamında mevcut atık toplama noktalarının hepsine uğranmak ve araç kapasitelerini aşmamak koşulları ile en kısa rotaların belirlenerek geri dönüşüm atıklarının toplanması hedeflenmiştir.

Çalışmanın uygulaması Alanya’da faaliyette olan bir geri dönüşüm tesisinde yapılmıştır. Tesis sorumlu olduğu mahalleleri Kestel-Mahmutlar-Kargıcak-Demirtaş ve Tosmur-Oba-Obagöl-Cikcilli olmak üzere iki gruba ayırmış ve her bir gruba 1 toplama aracı tahsis etmiştir. Her bir grubun çalışanları ve aracı birbirinden bağımsız olup tesisin talebi doğrultusunda Kestel-Mahmutlar-Kargıcak-Demirtaş grubunda rota iyileştirmesi öngörülmüştür. Tesis, haftanın 6 günü (Pazartesi-Salı -Çarşamba -Cuma-Cumartesi) çalışmaktadır. Çalışma kapsamında toplama noktalarındaki atık miktarları tahmini için mart ayı verileri baz alınmıştır. Harita uygulamaları ve tesis çalışanlarının görüşleri doğrultusunda depo dâhil toplama noktaları arası mesafe, koordinat ve adres bilgileri, çalışma saatleri, toplama süreleri, araç sayısı ve araç kapasitesi bilgileri temin edilmiştir.

Elde edilen veriler, çalışmada önerilen model ve yöntem kapsamında değerlendirilerek tesisin kullandığı mevcut rotaya alternatif rota belirlenmiştir. Önerilen yeni rotadaki toplam mesafe öncesine kıyasla daha azdır. Mevcut durumda cumartesi günü hariç diğer günlerde araç, kapasite aşımı probleminden kaynaklı ve tüm noktalara uğranmadan depoya atık boşaltmak için dönmek zorundadır. Önerilen yeni sistemde tesiste hâlihazırda mevcut bulunan 2. aracın kullanılması önerilmiştir. Problem çözümünde araçlardan en az biri haftanın her günü yüzde yüz veya yakın bir kapasite kullanım oranıyla çalışmaktadır. Tesisin mevcut rotasına kıyasla toplam kat edilen yol haftalık yaklaşık 38 kilometre azaltılmıştır. Buna mukabil araç yakıttan tasarruf elde edilmiş ve aylık olarak ortalama yaklaşık %12 oranında yakıt maliyetinde azalma sağlanmıştır. Geri dönüşüm faaliyetlerinin yıl boyu

süreklilik arz ettiği mevcut sistem üzerinde yakıt maliyeti düşürülerek önemli ölçüde iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki çalışmalar sıfır atık projesi kapsamında bu tarz uygulamaları yaygınlaştırılarak geri dönüşüm faaliyetlerinde maliyet odaklı girişimlere öncülük edebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Elif Hatınoğlu ve Ayşe Uçar, problem verilerinin elde edilmesi, Mehmet GÜMÜŞ ve Emir Hüseyin ÖZDER problemin çözülmesi, bilimsel yayın araştırması, makalenin hazırlanması ve çözüm sürecinin kontrolü konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Alakaş, H. M., Kızıлтаş, 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: <https://dergipark.org.tr/en/pub/humder/issue/42425/497997>

Alanya Belediyesi Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://www.alanya.bel.tr/Haber/12015/BELEDIYE-VE-CEVKO-ARASINDA-PROTOKOL-> (Son Erişim:19.03.2022)

Atmaca, E. (2012). Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi. TÜBAV Bilim Dergisi, 5 (2), 12-27. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/21527/230973>

Bayzan, Ş. & Tokat, S. & Çivril, Ö. (2005). Araç Rotalama Probleminde Talep Noktasında Bekleme Süresinin Alınan Toplam Yola Etkisi. 3. Otomasyon Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Cingöz, K., Gürgen, E. & Beyhan, B. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleriyle Atık Toplama Araçlarının Rotalarının Belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 36 (1), 39-62. Doi: <https://doi.org/10.17065/huniibf.411125>

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587> (Son Erişim:19.03.2022)

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Sıfır Atık Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://sifiratik.gov.tr/> (Son Erişim:19.03.2022)

Danışan, T., Özcan, E.C., Eren, T., “Bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımı: hidroelektrik santral örneği”, Journal of Turkish Operations Management, 5 (1): 576-587, 2021. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/63460/843544>

Demir, A., Gümüş, M., Aydoğmuş, H. Y., & Kamber, E. (2021) Temizlik İşleri Çalışmalarında Risk Değerlendirmesi: Alanya Belediyesi Örneği. OPUS International Journal of Society Researches, 18(44), 7855-7882. Doi: <https://doi.org/10.26466/opus.917527>

Durduran, S. S., Gümüş, M. G., Bozdağ, A. & Beyhan, H. C. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanarak Yaya Yolları Üzerinden Rota Optimizasyonu. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (1), 180-189. Doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.386473>

Düzakın, E. & Demircioğlu, M. (2009). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13 (1). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cuiibfd/issue/4151/54476>

Eryavuz., M. & Gencer, C. (2001). Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6 (1). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduibfd/issue/20850/223589>

Furugi A., (2021). “Tıbbi atık toplama araçlarının rotalaması için matematiksel model önerisi: Samsun ilinde bir uygulama”, *Journal of Turkish Operations Management*, 5 (2), 862-871. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/67597/971270>

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/tr/pub/umagd/issue/31723/345863>

Kaçtıoğlu, S., Şengül Ü. (2010), Erzurum Kenti Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı ve Bir Karma Tamsayı Programlama Modeli, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 24(1), 89-112. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/atauniiibd/issue/2698/35571>

Kuşçu, Ö. (2009), Araç Rotalama Sistemlerinde Sezgisel Yöntem, Süleyman Demirel Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta. Erişim adresi: <https://acikerisim.sdu.edu.tr/xmlui/handle/123456789/28746>

Özdemir, M., Inkaya, B., & Bilgen, B. (2017). Uluslararası İntermodal Taşıma Ağında Optimal Rota Seçimi. III. Ulusal Liman Kongresi, Doi: <https://doi.org/10.18872/DEU.df.ULK.2017.005>

Sıfır Atık Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://sifiratik.gov.tr/sistem-kurulumu/belediyeler-icin> (Son Erişim:19.03.2022)

Taş, C., Bedir, N., Eren, T., Alakaş, H.M., Çetin, S., (2018). “Evde sağlık hizmetlerinde araç rotalama ile güzergahların belirlenmesi: Devlet hastanesinde bir uygulama”, *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 4 (3), 264-283. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/usaysad/issue/42056/506115>

Tezcan, B., Alakaş, H.M., Özcan, E.C., Eren, T., (2021). “Afet Sonrası Geçici Depo Yeri Seçimi ve Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama”, *Journal of Polytechnic*, Baskıda. Doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.906704>

TÜİK Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2021-45500> (Son Erişim:19.03.2022)

Yurdakul, K., Alakaş, H.M., Eren, T., (2021). “Evde sağlık hizmetlerinin planlanması: Araç rotalama ve ekip çizelgeleme”, *Journal of Turkish Operations Management*, 5 (2): 703-720. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/67597/896608>

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*, 9(1): 206-223. Doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.602180>



Journal of Turkish Operations Management

Order picker routing problem in a single block warehouse

Esra Boz^{1*}, Nil Aras²

¹KTO Karatay University, Konya

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

²Eskisehir Technical University, Eskişehir

e-mail: nila@eskisehir.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-6831-9155>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 22.03.2022

Revised: 01.06.2022

Accepted: 06.06.2022

Keywords

Order picking,
Picker routing,
Routing heuristic

Abstract

Picker Routing Problem (PRP) is a sub-problem of the Order Picking Problem in which the goal is to choose orders in such a way that storage costs and distances are minimized. The Picker Routing Problem (PRP) is an NP-Hard problem that can't be solved in a reasonable amount of time. Many heuristic algorithms have been developed in the literature to overcome this challenge. This study investigates the return, S-Shape, mid-point, and largest gap heuristics for PRP in an online retailer's warehouse. The results show that, when used in single-block warehouses, the Midpoint Routing Heuristic performs better on average than other routing heuristics.

1. Introduction

Warehouse functions are a number of procedures related to receiving, storing, picking up, and shipping products as suitable under specified organizational and technological constraints (Kłodawski et al., 2017). As a result, the repository's primary functions are as follows (Smith, 1998):

1. Receiving products from the sources
2. Storing them until they are needed
3. Product preparation as required
4. Delivering products to the customer

The OPP is one of these warehouse operations that are both important and inconvenient because it is the most labour-intensive and complex. Therefore, the order picking process is the one where the most improvement can be made. As a result, OPP is widely used and improved in the literature and operational field. OPP involves the RPR is a problem in which the aim is to minimize the total distance and travel time between orders to be picked (Şahin, 2014; Boz and Aras, 2022).

Because some nodes may not be visited and certain nodes may need to be visited more than once, the order picker routing problem can be considered as the Steiner Traveling Salesman Problem, which is a particular case of the Traveling Salesman Problem (TSP) in the literature (Cornuéjols et al., 1985; Koster et al., 2007). If the minimal distances between each pair of storage locations have been computed in advance, the Steiner Traveling Salesman Problem (STSP) can be written as a standard TSP (Lu et al., 2016). The STSP can be solved in two ways (Theys et al., 2010): To begin, formulate STSP as a standard TSP by calculating the distance between each pair of nodes necessary and solving the problem with heuristics created for TSP, and then to solve the problem with algorithms developed for STSP.

Figure 1 shows a graph representation of a warehouse layout and order picking points. The filled black dots represent a specific sales order and picking locations. The remaining points are possible corridor transition points (Tuna Taşoğlu G., 2013).

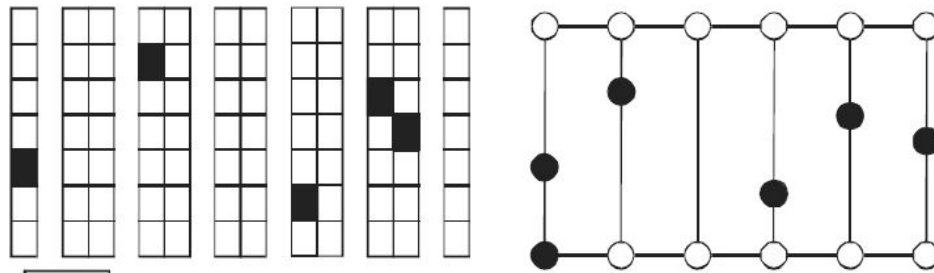


Figure 1. Order picking and graph representation (Koster et al., 2007)

The first step in solving the problem is to figure out how far apart the orders are. Euclidean distances cannot be used due to rack systems; hence Manhattan distances must be determined. The Manhattan distance is derived by multiplying the horizontal and vertical linear distances (Theys et al., 2010). The distances between two orders have been estimated in a variety of ways in several investigations (Ho et al., 2008; Vaughan, 1999). Because it belongs to the NP-hard class, STSP, like other Traveling Salesman Problems, is extremely difficult to solve. As a result, a number of heuristic methods have been created, as given in Figure 2.

The research question of this study is which order picker routing method provides the best results in terms of distance in the warehouse. We implement these methods to answer this question in the warehouse of the company that picks the orders with a manual order picking system. Therefore, this study's contribution is that it has been determined that the routing technique can be used more effectively in that warehouse.

This paper is organized as follows: In this Section explains the research problem. Section 2 expresses the related studies in the literature. Section 3 examines the problem description. Section 4 gives the empirical results. Section 5 demonstrates the result of this study.

2. Literature Survey

The PRP is an NP-Hard problem. NP-Hard problems are not solved with exact solutions in a reasonable time. Because of this, heuristic algorithms are developed in the literature. PRP is solved with metaheuristic, heuristic, and exact solution methods in the literature. Metaheuristic algorithms are used 9.2%, heuristic algorithms are used 77%, and exact solution algorithms are used 13.8% (Masae et al., 2020).

The Order Batching Problem in a warehouse has been studied extensively with PRP. Because these two problems are combined into a single issue known as the Order Picking Problem. While the Order Batching Problem minimizes total costs by batching orders, the PRP seeks to minimize total distance by picking orders. However, studies in which the PRP was investigated alone are included in this section.

PRP is studied lots of times in single or two-block warehouses in the literature. The first of these studies was introduced by Ratliff and Rosenthal (1983). The authors examine the OPP in the rectangular and single block warehouse to minimize the total distance by developing an optimal algorithm for dynamic programming (Ratliff and Rosenthal, 1983). Hall, 1993 developed three heuristic algorithms for the PRP in a single block warehouse, referred to as S-Shape, midpoint, and largest gap heuristic algorithms (Hall, 1993). Vaughan and Petersen (1999) suggest the aisle-by-aisle algorithm, and the authors used a dynamic programming model to solve this algorithm (Vaughan and Petersen, 1999). Roodbergen and Koster propose an algorithm for the shortest tour by picking the order in the parallel aisle warehouse and focusing on the warehouse layout (Roodbergen and Koster, 2001). Shouman et al. (2007) propose two heuristic methods whose names are block-aisle one and block-aisle 2 in warehouses with multiple cross aisles. The authors expressed these algorithms are better than the other routing algorithms (Shouman et al., 2007). In the study of Scholz et al., 2016 a new mathematical programming model is developed for the Single PRP as a TSP in a single block warehouse. Weidinger, 2018 offers a heuristic algorithm for the PRP in a rectangular scattering storage warehouse. This heuristic algorithm tries to minimize the total distance by picking the customer orders. Cano et al., 2019 suggest a genetic algorithm that is a metaheuristic search algorithm to solve the PRP. The authors compare the results with the S-Shape heuristic algorithm, and they state the results provide average distance savings of 13.9% (Cano et al., 2019).

3. Material and Method

In this study, we examine the order picker routing heuristics which are produced to solve the PRP. The problem can be stated as TSP. Because of this, the problem is modelled as TSP (Scholz et al., 2016).

The formulation as follows: $V = \{0, 1, \dots, n\}$, $A = \{(p, q) | p, q \in V, p \neq q\}$, p and q are the vertex and h_p is position of the vertex p . x_{pq} is 1 if arc (p, q) includes in the tour, 0 otherwise. c_{pq} is a distance parameter.

$$\min \sum_{(p,q) \in A} c_{pq} x_{pq} \quad (1)$$

$$\sum_{p \in V} x_{pq} = 1 \quad \forall q \in V \quad (2)$$

$$\sum_{q \in V} x_{pq} = 1 \quad \forall p \in V \quad (3)$$

$$h_p - h_q + (n + 1)x_{pq} \leq n \quad \forall (p, q) \in A: p, q \neq 0 \quad (4)$$

$$x_{pq} \in \{0, 1\} \quad \forall (p, q) \in A \quad (5)$$

$$h_p \geq 0 \quad \forall p \in V / \{0\} \quad (6)$$

Equation 1 states the objective function of the PRP. The objective function minimizes the total cost of every picking tour. Constraints (2) and (3) provide that every node has been visited by the picker in any tour exactly once. Constraint (4) eliminates the sub tours. Constraints (5) and (6) are sign constraints.

The heuristic techniques were created in the literature since the PRP is an NP-Hard issue. We clarify these methods as follows:

3.1 S-Shape Routing Strategy

Of the order routing heuristics, the S shape heuristic is the simplest to use (Koster et al., 2007). When the total number of lanes containing all selections is even in this heuristic, the picker aisles all of the aisles they've chosen and eventually moves to the front cross aisles location to return to the P/D point. The whole length of corridors containing at least one selection is only visited once in such situations. If the total number of aisles including all options is odd, the collector does not travel all the way through the last aisle's products, but only to the farthest product in that aisle. As it needs to return to the P/D point, the collector uses a turn strategy to return to the front cross-aisle position (Rao and Gajendra, 2013).

3.2 Return Routing Strategy

The return heuristic is similar to the S shape heuristic in terms of clarity. The order picker enters the aisle and exits the same aisle after completing the order picking. When determining between the S-shaped and return heuristics, the picking point from one or both sides should be considered. When the aisles are wide, it's easier to use the return heuristic since one side is chosen first, followed by the other. If the corridors are narrow and order selecting must be done from both sides, the S shape heuristic is preferable (Goetschalckx and Ratliff, 1988).

3.3 Mid-Point Routing Strategy

Except for the first and last aisles, the midpoint heuristic allows the picker to enter the center of the aisle to take the products and return from the same aisle (Cergibozan and Tasan, 2019). In other words, according to the return heuristic, the products in the higher and lower parts of the warehouse shelves are picked separately, as if there is a line in the middle of the warehouse shelves.

3.4 Largest Gap Routing Strategy

The picker, like the midpoint strategy, exits each aisle from the same side (with the exception of the first and last aisle) from which it arrived. The picker, on the other hand, does not stop at the midpoint of a corridor; instead, he enters the greatest gap. A gap is a distance between any two sequential elections, such as the first election and the front aisle or the last election and the back aisle. The section of the aisle where the picker does not move has the largest gap (Hall, 1993).

3.5 Composite Routing Strategy

The S-shape heuristic and the return heuristic are combined in this heuristic (Roodbergen and De Koster, 2001). After selecting all of the items in an aisle, the picker must choose whether to continue on to the next aisle via the back aisle or return. It is mentioned in the literature as a more useful method in specific circumstances.

3.6 Combine Routing Strategy

The combined method is considered a dynamic programming component. Because the picker decides that which routing strategy to choose according to the aisle ahead. For example, if the distance result of the ahead aisle is better for the return method, but the distance result of the next aisle is better for the S-shape method, the picker chooses the S-shape method because this choice has overall better results (Roodbergen and De Koster, 2001).

3.7 Optimal Routing Strategy

In the optimal method, the order picker evaluates separately for every aisle every method and decides the most efficient method. According to this, it can apply to every aisle in different methods. Therefore, the least distance is found with this strategy.

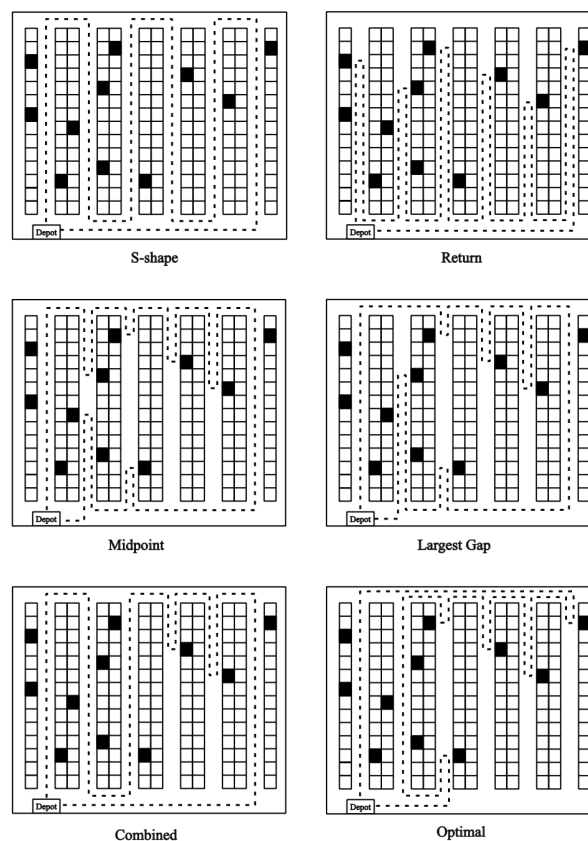


Figure 2: Picker routing strategies (Roodbergen, 2001)

4. Experimental Results

The order picker routing methods are implemented in the warehouse in this section. The methods are compared to see which one is the best. The warehouse's parameters are listed in Table 1. Table 2 also shows the vertical distance

between aisles in the warehouse where parts are located. Simultaneously, the parameter of orders is shown in Table 3. In terms of these data, the methods are run for the 28 batches. Every batch has its own order, and each order has its own set of pieces. As a result, the distance results for these batches differ.

Table 1. Warehouse parameter

Parameter	Value
Number of aisles	19
Aisle width	0.32
Number of storage locations	100
Length of the storage unit	100

Table 2. The vertical distance of the parts and their aisle number

Part number	Aisle number	Vertical distance	Part number	Aisle number	Vertical distance	Part number	Aisle number	Vertical distance
1	1	0.10	11	4	0.28	21	1	0.20
2	8	0.14	12	10	0.03	22	5	0.34
3	9	0.28	13	13	0.23	23	3	0.30
4	2	0.09	14	14	0.08	24	12	0.39
5	3	0.31	15	5	0.45	25	15	0.04
6	15	0.19	16	6	0.10	26	9	0.09
7	12	0.21	17	10	0.45	27	17	0.07
8	7	0.30	18	11	0.50	28	16	0.28
9	17	0.35	19	16	0.11	29	8	0.06
10	19	0.20	20	19	0.09	30	19	0.08

The implementation of this study is done in the single block warehouse of an online retailer is given in Figure 3. There are picking aisles, and the depot is in front of the warehouse.

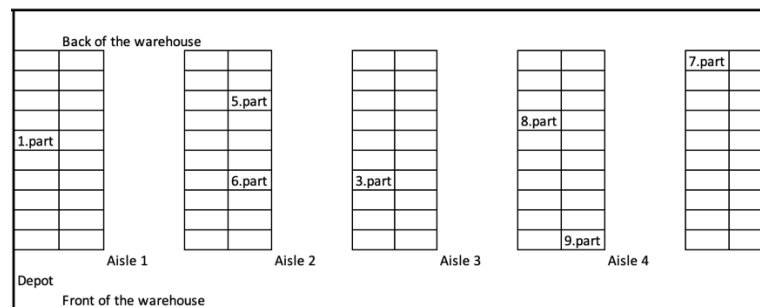


Figure 3. Warehouse layout

Table 3. Order parameter

Parameter	Value
The number of batches	28
The number of orders	70
The number of parts	30

The method was implemented in PYTHON and tested on a computer with an Intel Core i5, 2GHz, and 16 GB RAM. Table 4 shows the results of the methods. The best method, according to the order parameter and in the given warehouse layout, is the Mid-point routing method, followed by the Return method. Although the total distances of both methods are not close, the distances per batch are. Among these methods, the S-Shape routing method is the worst method. The reason for this might be that the S-Shape method travels down the aisle even if there is no order at the end. At the same time, the results are given in Figure 4. According to the findings shown

in Figure 4, the mid-point and return heuristic algorithms are relatively near in terms of average.

Table 4. Experimental results

Batch number	Return	S-Shape	Mid-point	Largest gap
1	1.3248	6.4512	1.3024	3.2256
2	1.1248	2.4192	3.2312	2.2656
3	2.8552	2.8224	2.8456	5.2416
4	1.6888	1.2096	2.1480	1.2816
5	1.4328	5.2416	3.3488	3.2256
6	2.8895	6.8544	2.9248	1.3856
7	3.2424	4.0320	1.4352	4.4352
8	2.1184	6.0480	2.4976	2.4152
9	3.0352	6.8544	3.7112	7.2576
10	5.1751	4.0320	1.4176	3.9176
11	2.4160	3.2256	3.6952	5.6448
12	0.9176	4.4352	2.4520	2.2048
13	2.3368	5.2416	1.3848	4.4352
14	3.9032	6.0480	1.3576	2.8952
15	1.7256	6.8544	3.7112	6.4512
16	1.2320	3.2256	1.0160	2.7712
17	3.1976	3.6288	2.3288	6.4512
18	2.1760	5.6448	2.6880	2.5512
19	1.2360	6.4512	1.6680	7.2576
20	2.4888	5.6448	1.2144	2.0776
21	1.2000	4.8384	1.2000	1.2096
22	2.4056	4.0320	2.0928	1.3696
23	3.6224	4.0320	2.0192	7.2576
24	1.7496	5.2416	2.3552	3.0776
25	1.0896	6.0480	0.9848	4.8384
26	1.0312	5.6448	1.8648	1.8984
27	2.4424	1.2090	3.2112	5.2416
28	3.7360	6.8544	2.1880	1.0016
TOTAL	63.7934	134.265	40.6922	103.2856
AVERAGE	2.2783	4.7951	2.2248	3.6887

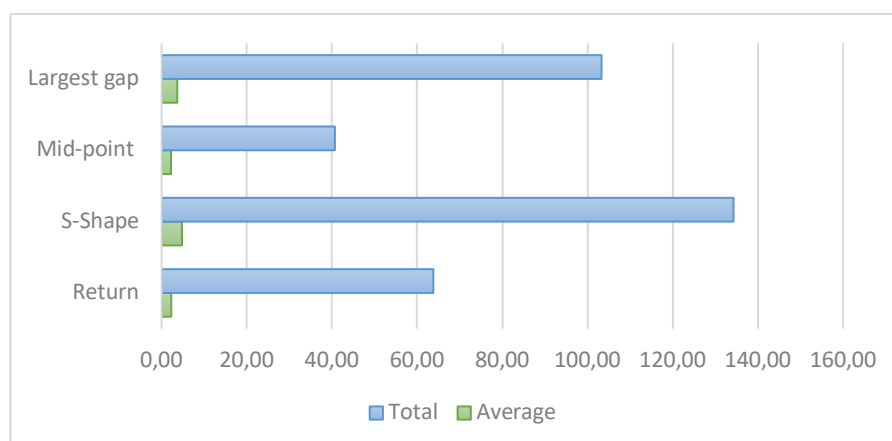


Figure 4. The results of the heuristic algorithms

5. Result and Discussion

Nowadays because of the pandemic through the huge masses it has reached and the conveniences it has supplied, e-commerce has found the possibility to be applied and progressed to all parts of the economy. Because of this, the companies have to compete with each other in the logistics field. As a result, they place a greater emphasis on the in-warehouse process. One of these processes is the PRP, which is a subproblem of the Order Picking Problem. In this study, the order picker routing problem is investigated, which entails routing order components to reduce warehouse distance. In the warehouse, heuristic strategy methods such as Return, S-Shape, Mid-point, and Largest Gap are used. According to the order parameters in Tables 2 and 3 and the given warehouse layout in Table 1, the Mid-point routing method was determined to be the best, while the S-Shape routing method was found to be the worst.

This research can be expanded by including the other warehousing problem (zone picking problem etc.). Furthermore, the data may be used to compile the findings using different picker routing algorithms. This problem may also be handled in a different warehouse layout and the results compared to the original. As a result, in terms of methods, the best warehouse layout may be identified.

Acknowledgment

This research is supported by the Eskisehir Technical University Scientific Research Project Grant No 20DRP060. This paper includes a part of the PhD thesis is written by Esra BOZ

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Contribution of Authors

Esra Boz: Collect the data, Perform the analysis, Write the paper

Nil Aras: Write the paper, Check the paper

References

- Boz E. , Aras N. The order batching problem: A state-of-the-art review. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*. 2022; 40(2): 402-420. <https://doi.org/10.14744/sigma.2022.00018>
- Burkard, R. E., Deineko, V. G., Van Dal, R., van der Veen, J. A., & Woeginger, G. J. (1998). Well-solvable special cases of the traveling salesman problem: a survey. *SIAM review*, 40(3), 496-546. <https://doi.org/10.1137/S0036144596297514>
- Cano, J. A., Correa-Espinal, A. A., Gómez-Montoya, R. A., & Cortés, P. (2019, June). Genetic algorithms for the picker routing problem in multi-block warehouses. In *International Conference on Business Information Systems* (pp. 313-322). Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-20485-3_24
- Cergibozan, Çağla, and A. Serdar Tasan. (2019). "Order Batching Operations: An Overview of Classification, Solution Techniques, and Future Research." *Journal of Intelligent Manufacturing* 30(1):335–49. <https://doi.org/10.1007/s10845-016-1248-4>
- Cornuéjols, Gerard, Jean Fonlupt, and Denis Naddef. (1985). "The Traveling Salesman Problem on a Graph and Some Related Integer Polyhedra." *Mathematical Programming* 33:1--27. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01582008>
- Goetschalckx, Marc, and H. Donald Ratliff. (1988). "Order Picking in an Aisle." *IIE Transactions* 20:53--62. <https://doi.org/10.1080/07408178808966150>
- Hall, Randolph W. (1993). "Distance Approximations for Routing Manual Pickers in a Warehouse." *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)* 25(4):76–87. <https://doi.org/10.1080/07408179308964306>

- Ho, Y. C., Teng Sheng Su, and Zhi Bin Shi. (2008). "Order-Batching Methods for an Order-Picking Warehouse with Two Cross Aisles." *Computers and Industrial Engineering* 55(2):321–47. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.12.018>
- Kłodawski, Michał, Marianna Jacyna, Konrad Lewczuk, and Mariusz Wasiak. (2017) "The Issues of Selection Warehouse Process Strategies." Pp. 451–57 in *Procedia Engineering*. Vol. 187. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.399>
- Koster, R., T. Le-Duc, and K. J. Roodbergen. (2007). "Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review." *European Journal of Operational Research* 182(2):481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Lu, Wenrong, Duncan McFarlane, Vaggelis Giannikas, and Qan Zhang. (2016). "An Algorithm for Dynamic Order-Picking in Warehouse Operations." *European Journal of Operational Research* 248:107--122. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.074>
- Masae, M., Glock, C. H., & Grosse, E. H. (2020). Order picker routing in warehouses: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 224, 107564. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107564>
- Smith, J. D. (1998). *The Warehouse Management Handbook*. Tompkins p.
- Rao, Subir S., and Gajendra K. Adil. (2013). "Class-Based Storage with Exact S-Shaped Traversal Routing in Low-Level Picker-to-Part Systems." *International Journal of Production Research* 51:4979--4996. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.784419>
- Ratliff, H. D., & Rosenthal, A. S. (1983). Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem. *Operations research*, 31(3), 507-521. <https://doi.org/10.1287/opre.31.3.507>
- Roodbergen, K J, and De Koster. (2001). "Routing Order Pickers in a Warehouse with a Middle Aisle." *European Journal of Operational Research* 133(1):32–43. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00177-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00177-6)
- Roodbergen, K. J. (2001). Layout and routing methods for warehouses (No. EPS-2001-004-LIS). <http://hdl.handle.net/1765/861>
- Scholz, A., Henn, S., Stuhlmann, M., & Wäscher, G. (2016). A new mathematical programming formulation for the single-picker routing problem. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 68-84. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.018>
- Shouman, M. A., Khater, M., & Boushaala, A. (2007). Comparisons of order picking routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *AEJ-Alexandria Engineering Journal*, 46(3), 261-272.
- Theys, Christophe, Olli Bräysy, Wout Dullaert, and Birger Raa. (2010). "Using a TSP Heuristic for Routing Order Pickers in Warehouses." *European Journal of Operational Research* 200(3):755–63. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.036>
- Tuna Taşoğlu, Gökçeçiçek. (2013). "Evaluation Of Order Picking Systems Using Simulation." *Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences*. <https://acikerisim.deu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12397/7606>
- Vaughan, TS. (1999). "The Effect of Warehouse Cross Aisles on Order Picking Efficiency." *International Journal of Production Research* 37:881--897. <https://doi.org/10.1080/002075499191580>
- Weidinger, F. (2018). Picker routing in rectangular mixed shelves warehouses. *Computers & Operations Research*, 95, 139-150. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.03.012>
- Şahin, Yusuf. (2014). "Depo Operasyonları Ve Sipariş Dağıtım Faaliyetlerinin Sezgisel Yöntemler Kullanarak Eş Zamanlı Optimizasyonu." Süleyman Demirel University. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/266652>



Journal of Turkish Operations Management

Farklı tarımsal üretim yöntemleri sonucu elde edilen ürün kalitesi analizi için sürdürülebilir melez bulanık ÇKKV yaklaşımı uygulaması

Yavuz Selim Özdemir^{1*}, Şeyda Savalan²

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara Bilim Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: ysozdemir.phd@gmail.com , ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4418-2163>

²Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye
e-mail: sdaneshvar@nku.edu.tr , ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7047-0943>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçişi:

Geliş: 23.05.2022
Revize: 06.06.2022
Kabul: 07.06.2022

Anahtar Kelimeler:

Tarımsal üretim yöntemleri sonucu elde edilen ürün, Bulanık AHS, VIKOR, ÇKKV

Özet

Son yıllarda, bilinçli nüfusun artışı tarımsal üretim yöntemlerine dayanarak elde edilen ürün kalitesinin irdelenme gerekliliği artırmaktadır. Tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün kalitesiyle ilgili çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Genetik mühendislik yöntemleri sonucu elde edilen ürünler (GDO) verimlidir. Ancak doğal olmayan bu sürecin uzun vadede doğaya ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin ortaya çıkacağı varsayılmaktadır. Endüstriyel tarım yöntemleriyle elde edilen ürünlere bakıldığında ürün miktarı bakımından yüksek olsa da kullanılan yüksek miktar gübre ve insektisit insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Son olarak Organik tarım ile elde edilen organik ürünler ise, endüstriyel üretim yöntemlerinin ve genetik mühendisliğinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak hem çevreyi hem de tüketici sağlığını korumayı amaçlamaktadır ancak bu üretim yöntemiyle elde edilen ürün miktarı düşüken maliyeti yüksektir ve toplumun her kesimine hitap etmemektedir. Bu çalışmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (B-AHS) ve VIKOR metotları bir arada kullanılarak melez bir model oluşturulmuş ve tarımsal yöntemler ile elde edilen ürün seçim problemine sürdürülebilir bir çözüm önermek için karar destek sistemi geliştirilmiştir. Yöntemin ilk adımında Memnuniyet (C1), Ekonomi (C2) ve Sağlık (C3) kriterleri B-AHS ile değerlendirilmiş ve ağırlıklar belirlenmiştir. İkinci adımda ise VIKOR yöntemi ile önerilen tarım ürününün değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu araştırmanın amacı, tarımsal teknolojilerini kullanarak elde edilen ürün uygunluğunu değerlendirmek ve derecelendirmek için eksiksiz bir çerçeve oluşturmaktır. Önerilen ürün geçerliliğinin gösterilmesi için, güncel veriler ile gerçek bir problem üzerinde uygulama yapılmıştır.

Application of sustainable hybrid fuzzy MCDM approach for product quality analysis from different agricultural production methods

Article Info

Article History:

Accepted: 23.05.2022
Received: 06.06.2022
Revised: 07.06.2022

Keywords:

Agricultural Production Technique, Fuzzy AHP, VIKOR, MCDM

Abstract

In recent years, the increase in the conscious population increases the need to examine the product quality obtained based on agricultural production methods. There are various approaches to product quality obtained as a result of agricultural production. Crops resulting from genetic engineering methods (GMOs) are efficient. However, it is assumed that this unnatural process will have negative effects on nature and human health in the long term. When we look at the products obtained by industrial agriculture methods, although it is high in terms of the amount of product, the high amount of fertilizer and insecticide used adversely affects human health. Finally, organic products obtained by organic agriculture aim to protect both the environment and consumer health by eliminating the negative effects of industrial production methods and genetic engineering, but while the amount of product obtained by this production method is low, its cost is high and does not appeal to all segments of society. In this study, a hybrid model was created by using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP) and VIKOR methods from Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods together and a decision support system was developed to propose a sustainable solution to the product selection problem obtained by agricultural methods. In the first step of the method, Satisfaction (C1), Economy (C2), and Health (C3) criteria were evaluated with F-AHP, and weights were determined. In the second step, the evaluation of the proposed agricultural product by the VIKOR method was made. This research aims to create a complete framework for assessing and rating the product suitability obtained using agricultural technologies. To demonstrate the validity of the proposed product, an application was made on a real problem with current data.

1. Giriş

1950'li yılların başından itibaren endüstriyel tarım olarak adlandırılan, tarımsal üretimde yoğun bir şekilde kullanılan gübre ve pestisitler üretimde ve verimlilikte çok büyük kazanımlar sağlanmıştır. Bunun doğal sonucu olarak, uluslararası gıda üretimi büyük oranda artış göstermiştir. Dünya Bankası verilerine göre, gıda üretimindeki artışların %70 ile %90 arasında endüstriyel tarımdan kaynaklanmaktadır. Endüstriyel tarımın faydaları arasında, büyük ölçekli çiftlikler, teknik yeniliklere kolay adaptasyon, yüksek gelir, çiftlik mekanizasyonu, endüstriyel gübre kullanımı ve tek tip yüksek verimli melez mahsuller gösterilebilir (Vanbergen et al., 2020). Bütün bu faydalarına rağmen endüstriyel tarımın çevresel ve sosyal dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca endüstriyel tarım ürünlerinin insan sağlığına etkisi günümüzde halen tartışmalı bir konudur (Fabris et al., 2020). Tarımsal üretimde yoğun bir şekilde kullanılan gübre ve insektisit, bir yandan yüksek verim getirmişken diğer yandan çevre ve insan sağlığı sorunlarını artırmıştır. Son yıllarda Çevre ve insan sağlığı sorunlarının önemli boyutlara ulaşması sonucunda yoğun gübre ve kimyasal kullanımının olumsuz etkileri tartışılmaya başlanmıştır. Bu tartışmalar özellikle gelişmiş ülkelerde daha fazla olmuş; üreticiler ve tüketiciler kimyasal girdiler kullanılmadan üretilmiş, çevreye ve insana zarar vermeyen doğanın dengesini etkilemeyen tarım ürünlerinin üretimini ve tüketimini talep etmeye başlamışlardır (Ataseven & Güneş, 2008)

İnsanlar, tarih boyunca doğal seleksiyon etkisi ile gelişen melez türlerini ihtiyaçları doğrultusunda kullanmışlardır. Klasik ıslah yöntemlerinin kullanılmaya başlanması ile de yetiştiriciliği yapılan bitkilerin daha verimli olmaları sağlanmıştır (Atsan & Erem Kaya, 2008). Dünya nüfusunun sürekli artmasından dolayı birim alandan alınan verimin artırılması; ekilebilir alan artırılmasından daha çok önem kazanmış ve çalışmalara bu yönde ağırlık verilmiştir. Yeşil devrim olarak adlandırılan (1965-1985) dönemde, klasik ıslah yöntemleri ile birlikte sentetik gübreler, bitki büyüme düzenleyiciler, pestisitler ve son teknolojik makinelerin kullanılmasıyla, elde edilen tarımsal ürünlerin kalite ve veriminde kayda değer başarılar elde edilmiştir. Fakat zamanla pestisitlerin toprakta birikmeye başlaması, gübre kullanımında aşırıya kaçılması çevre ve insan sağlığına kalıcı zarar vermeleri ve geleneksel ıslah yöntemleriyle elde edilen ürünlerin çok zaman alması ve melezleme yapılabilecek türlerin az olması gibi dezavantajlar yeşil devrimin yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır (Arvas & Kaya, 2019). Hızla gelişen teknolojik yenilikler ve endüstriyel tarımın uygun altyapısının bir sonucu olarak, genetik mühendisliği ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlamıştır. Bu ilerlemenin bir sonucu olarak, genetiği değiştirilmiş tohumların tarımda kullanımına başlanmıştır. Artan mahsul verimi, artan besin içeriği, daha düşük gıda maliyetleri, artan gıda kalitesi, ürünlerin daha hızlı olgunlaşması, haşerelere ve hastalıklara karşı direnç genetik mühendisliğinin faydalarından sadece birkaçıdır (Saputri, Sutopo, Hisjam, & Ma'aram, 2019). Ayrıca genetiği değiştirilmiş tohumların çevresel stres faktörlerine dayanıklı olması ve bitkilerin normalde gelişemeyecekleri ortamlarda hayatta kalmalarını sağlanmıştır. Nitekim dünya genelinde 1996 yılında 1,7 milyon hektar GDO'lu ürün ekimi yapılmışken, 2017 yılında bu rakam 189,8 milyon hektara ulaşmıştır (James, 2017). Bununla birlikte, insan sağlığı veya çevre üzerindeki potansiyel olumsuz etkiler de dahil olmak üzere, genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO) kullanımıyla ilgili riskler ve anlaşmazlıklar vardır (Yang & Chen, 2016).

Organik tarım, endüstriyel ve genetiği değiştirilmiş tarım tekniklerinin olumsuz sonuçlarından kaçınarak çevreyi korumayı ve organik ürünler sunarak müşterileri memnuniyetini özellikle insan sağlığını korumayı amaçlar. Bilinçli nüfusun artması, Gıda güvenliği talebi, artan çevresel kaygılar ile beraber hızla büyümekte ve organik ürünlere olan talebin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca organik tarımın, toprak verimliliğini ve biyolojik çeşitliliği iyileştirdiği gösterilmiştir (Mäder et al., 2002). organik tarım sistemlerinin bir yandan gıda güvenliğini sağlarken bir yandan da iklim değişikliğine karşı koyabileceği öngörülmektedir (Muller et al., 2017). Organik tarımın sayısız faydasına rağmen elde edilen organik gıdalar, diğer yöntemlere göre daha yüksek maliyetlidir. Çiftçiler, organik tarım ile diğer yöntemlere göre daha az ürün elde etmekte ve daha fazla emek harcamaktadır. Organik gıda, daha düşük miktarlarda üretildiği için geleneksel gıdaya göre satışı ve dağıtımı da daha zordur. Toprağın kısıtlı bir kaynak olduğu göz önüne alındığında, organik tarımın dünya nüfusunu sürdürmek için yeterli gıdayı sağlayamayacağı apaçık ortadadır (Akhmetshina, Sergeev, & Mottaeva, 2019).

Son yıllarda, özellikle yöneylem araştırması alanında, ÇKKV problemlerine ve çözüm yöntemlerine olan ilgi artmıştır. ÇKKV yöntemleri, belirlenen kriterler çerçevesinde, birden çok sayıda aday arasından mümkün olan en iyi alternatifin seçilmesini sağlar (Piya, Shamsuzzoha, Azizuddin, Al-Hinai, & Erdebilli, 2022). Karar verme süreci, bir durum hakkında kesin bilgilerin olmayışı, değişken önem derecelerine sahip bir dizi kriterin varlığı ve bir kriterin diğer karar vericiler için önemli olup olmadığını belirlemenin zorluğu nedeniyle, oldukça karmaşık bir yapıdadır (Eraslan & İç, 2011). Bire bir karşılaştırmalar basit kararlar için işe yarar gibi görünse de iş hayatında pek işe yaramaz. Çoğu iş senaryosu ÇKKV içerdiğinden, şirket yönetimindeki sorunlar oldukça karmaşıktır. Bu sorunların üstesinden gelmek için çok kriterli karar prosedürleri uygun şekilde seçilmelidir (Özdemir & Üsküdar, 2020).

AHS, çok sayıda kriterin bulunduğu, nicel veya nitel verilerin kullanıldığı karmaşık karar verme problemlerini ele almak için geliştirilmiş yöntemdir (Saaty, 1980). Bu yöntem, sorunların tek yönlü hiyerarşik ilişkilerle hiyerarşik formlar olarak temsil edildiği bir dizi uygulamaya sahiptir. AHS adımları genel olarak: problem hiyerarşik yapısının oluşturulması, kriterlerin ve alternatiflerin birbirine göre değerlendirilmesi, önceliklerin belirlenmesi ve genel sıralamanın oluşturulması şeklinde özetlenebilir (Tai & Chen, 2009). Ancak bu adımlar karmaşık süreçlerde yeterli olmayabilir. Karar vericilerin dilsel belirsizliklerini de karar verme sürecine dahil etmek için AHS yöntemi ile bulanık kümeler bir arada kullanılmaktadır.

Karmaşık problemlerin ele alınmasında, bireysel kararlardan ziyade grup kararı almak daha iyi sonuçlar vermektedir (Fan & Liu, 2010). Bu çalışmada, kriter ağırlıklarının hesaplanması için B-AHS yöntemi kullanılmıştır. Yöntem uygulamasında beş kişiden oluşan bir uzman grubun görüşlerinden faydalanılmıştır. Alternatif olarak belirlenen üretim yöntemlerinin değerlendirilmesinde ise VIKOR yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürdeki önemli çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde B-AHS ve VIKOR metotları açıklamaktadır. Dördüncü bölümde, önerilen yöntemin uygulaması yapılmış ve uygulama sonuçları açıklanmıştır. Son bölüm olan bölüm beşte makalenin etkileri ve gelecekteki olası araştırmalar hakkında bilgilere yer verilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Çalışmanın bu bölümünde, tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün seçimi ile ilgili literatürün kapsamlı bir analizini yapılmıştır. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde, tarımsal üretim teknikleri ve bu tekniklerin kullanımı sonucu elde edilen ürünlerin seçimine yönelik araştırmalarda ağırlıklı olarak nicel teknikler kullanıldığı görülmektedir. Tarım ürünlerinin çeşitli açılardan analiz edilmesi ve tarımsal üretimin optimize edilmesi için Mokarram ve arkadaşları buğday ekimi için bulanık sınıflandırma ve parametrik tekniklerinin etkinliğini incelemiştir. (Mokarram, Rangzan, Moezzi, & Baninemeh, 2010). Tilman ve arkadaşları ise tarımsal sürdürülebilirlik ve yoğun üretim uygulamaları üzerine araştırmalar yapmıştır (Tilman, Cassman, Matson, Naylor, & Polasky, 2002).

Yakın zamanda ÇKKV yöntemlerinin tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün literatüründe yaygın bir şekilde kullanılmaya başladığı görülmektedir. ÇKKV tekniklerinde, çeşitli gerçeklere, değerlere ve paydaş görüşlerine en uygun yanıtı belirlemek için yapılandırılmış prosedürler ve algoritmalar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, genel olarak, karar vermedeki belirsizliği ortadan kaldırmaya çalışır. Belirsizliğin ve dilsel değişkenliğin yoğun olduğu durumlarda, ÇKKV ve bulanık kümelerin beraber kullanılması literatürde sıklıkla kullanılan bir yaklaşımdır. ÇKKV tekniklerinin kullanan Nasiri ve arkadaşları, ekolojik tarımsal üretimi tahmin etmek için melez B-AHP ve PROMETHEE II yöntemini kullanmışlardır (Nasiri, Alavipanah, Matinfar, Azizi, & Hamzeh, 2012). Çalışmalarında, belirledikleri kriterleri kullanarak arazinin ekolojik potansiyeli analiz etmişlerdir. Makale, B-AHS ve PROMETHEE II melez metodunun etkinliğini göstermiştir. Demirel ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise bulanık analitik ağ süreçleri kullanılmış ve Türkiye için dilsel kavramlara dayalı bir tarım planı oluşturulmuştur. Çalışmada bir tarım stratejisinde yer alan risk değerlendirmeleri, ekolojik yapı, sosyoekonomik yapı ve teknolojik yapı gibi kriterler yer almıştır (Demirel, Yücenur, Demirel, & Muşdal, 2012).

Tarımsal üretim tekniği belirleme sürecini değerlendirmek için kullanılan kriterler belirlenirken daha önce kullanılan kriterler incelenmiştir. AHS-VIKOR ve SAW yaklaşımları, Pourkhabbaz ve ekip arkadaşları tarafından melezlenerek, potansiyel tarımsal arazi kullanımının belirlenmesi için uygunluk analizinde kullanılmıştır. (Pourkhabbaz, Javanmardi, & Faraji Sabokbar, 2014). Çalışmada bir örnek vaka incelemesi üzerinde önerilen AHP-VIKOR yaklaşımının etkinliği de gösterilmiştir. Ren ve arkadaşları, karar vericilerin sulama suyu ve arazi kaynağı tahsisi kararları vermesini sağlayan gelişmiş bir melez çok amaçlı stokastik bulanık programlama - AHS tekniği geliştirmişlerdir (Ren, Li, & Zhang, 2019). Bulanık ÇKKV ve hata türleri etki analizi (FMEA) yönetimleri Zandi ve arkadaşları tarafından tarımsal riskleri yönetmek için kullanılmıştır (Zandi, Rahmani, Khanian, & Mosavi, 2020). Son yıllarda yapılan araştırmalardan bir diğeri de Pilevar ve arkadaşları tarafından yayımlanmıştır (Pilevar, Matinfar, Sohrabi, & Sarmadian, 2020). Makalede, buğday ve mısır için arazinin uygunluğunu belirlemek üzere entegre bir B-AHS ve coğrafi bilgi sistemi yaklaşımı oluşturulmuştur.

Tashayo ve diğerleri, tarım arazisi uygunluğu problemi için B-AHP ve coğrafi bilgi sistemi kombinasyonunu kullanmışlardır (Tashayo, Honarbakhsh, Azma, & Akbari, 2020). Bir diğeri çalışmada ise Endonezya'da yapılmış ve yerel organik tarımsal kalkınma için Firdaus ve arkadaşları tarafından yeni bir strateji önerilmiştir (Firdaus, Adiprasetyo, & Suhartoyo, 2021). Araştırmacılar organik tarımın geliştirilmesinde gereken stratejiyi belirlemek

için B-AHS yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca çalışmanın sonucunda, rekabetçi ve ihracata yönelik yeni organik ürünlerin geliştirilmesinin ve pazarlanmasının stratejik öneminden de bahsedilmiştir. Bulanık kümelerin kullanıldığı güncel çalışmalardan bir diğeri ise Alem tarafından yapılmıştır (Alem, 2021). Yazar çalışmasında geleneksel tarım, yapay zekâ destekli tarım, dikey tarım ve bitki bazlı et uygulamalarını incelemiştir. Özellikle tüketici sorunları, maliyet ve ekolojik kriterlerine odaklanmış ve faktör ağırlıklarını aralık tip-2 B-AHS kullanılarak hesaplanmıştır. Ağırlıklar elde edildikten sonra, tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak alternatifleri sıralanmıştır.

3. Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak B-AHS yöntemi anlatılacak ardından VIKOR metodundan bahsedilecektir. Son kısım ise, çalışmada kullanılan melez yöntemin adım adım algoritmasına yer verilecektir. Önerilen yöntemin formülasyonuna da yine bu bölümde değinilecektir. Çalışmada ele alınan tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün seçimi problemini çözmek için öncelikle kriter değerlendirme yapılmıştır. Kriterler ağırlıklarının belirlenebilmesi için grup karar verme yaklaşımı ve B-AHS yöntemi uygulanacaktır. VIKOR yöntemi ise, grup faydasını temel almasından dolayı tercih edilmiştir.

3.1 Bulanık AHS Yöntemi

Bulanık AHS yöntemi AHS yönteminin bulanık kümeler ile genişletilmiş halidir. Literatürde çeşitli bulanık kümeler, bu kümelerle ait farklı bulanık sayılar ve durulaştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada Buckley'in yaklaşımı ve üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır (Buckley, 1985). B-AHS yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

Adım-1: İlk adımda karar problemleri belirlenir. Amaç, ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler net bir şekilde ifade edilir. Hiyerarşik yapı oluşturulur.

Adım-2: Belirlenen kriterlere göre dilsel ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Bu karşılaştırmalar, normal AHS yönteminden farklı olarak dilsel değerlere dayalı oluşturulmaktadır. Bu karşılaştırmalarda, Tablo 1'de verilen ölçek kullanılmaktadır.

Tablo 1. Kriter karşılaştırmalarında kullanılan bulanık sayılar (Khazaeni, Khanzadi, & Afshar, 2012)

Dilsel Önem Dereceleri	Bulanık Sayılar	Karşıt Bulanık Sayılar
Eşit Önemli (EÖ)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Zayıf Önemli (ZÖ)	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
Önemli (Ö)	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
Çok Önemli (ÇÖ)	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
Kesinlikle Önemli (KÖ)	(9, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/9)

Karar vericiler bu ölçeğe göre kriterlerin önem derecesine karar verirler. Her değerlendirme, iki kriter arasında hangisinin daha önemli olduğunu gösterir ve önem derecesini yansıtır. Karar matrisinin eleman yapısı Eşitlik 1'de verilmektedir.

$$\tilde{p}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (1)$$

Adım-3: Birden çok karar vericinin olduğu durumlarda Eşitlik 2 kullanılarak ortak karar matrisi elde edilir.

$$\tilde{d}_i = \left[\prod_{j=1}^n \tilde{p}_{ij} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Adım-4: B-AHS yönteminde, tüm bir ikili karşılaştırma matrisleri için ayrı ayrı Tutarlılık Oranının (CR) hesaplanması gerekmektedir. Bunun için öncelikle Eşitlik 3'de verilen formül ile bulanık grup karar matrisi durulaştırılır.

$$C_{ij} = \frac{l+4m+u}{6} \quad (3)$$

Ardından Eşitlik 4'de verilen Tutarlılık İndeksi (CI) değeri hesaplanmalıdır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

CR değerleri Eşitlik 5'e göre hesaplanmaktadır. Hesaplanan değerlerin 0,1'den küçük olması, karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu gösterir. Hesaplama kullanılan Rastgelelik Göstergeleri (RI) değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Tablo 2. RI değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Adım-5 Bulanık ağırlıklar Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'de verilen formüller yardımı ile hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = \left[\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \times \left[\sum_{j=1}^n \tilde{r}_j \right]^{-1} = (w_i^l, w_i^m, w_i^u) \quad (7)$$

Adım-6 B-AHS yönteminde amaç, alternatiflerin arasından en uygun olanı seçmektir. Bu sebepten dolayı durulaştırma işlemi genellikle alternatiflerin önem derecelerini gösteren matris için uygulanır. Ancak problemin türüne ve ihtiyaçlara göre, ana kriterin ve alt kriterlerin yerel-genel önem derecelerine ulaşımak isteniyorsa bu adımda da durulaştırma işlemi yapılabilir. Durulaştırma için Eşitlik 8'de verilen formül kullanılmıştır.

$$w_i = \frac{\tilde{w}_i}{\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j} = \frac{w_i^l + w_i^m + w_i^u}{\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j} \quad (8)$$

3.2 VIKOR Yöntemi

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, Serafim Opricovic tarafından ortaya atılmıştır (Opricovic & Tzeng, 2004). Yöntem, slav kökenli ifadenin baş harflerinin kısaltılmasıyla oluşturulmuştur. VIKOR yöntemi, çoğunluğun grup faydasının en üst düzeye getirilmesini ve rakiplerin bireysel pişmanlığının en alt düzeyde tutulmasını amaçlamaktadır. VIKOR yöntemi, kompleks sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem çelişkili kriterlerin olması durumunda alternatifler arasında bir seçim yapmayı ve bu alternatifleri sıralamaya odaklanan bir yöntem olarak bilinmektedir. VIKOR yöntemini kullanabilmek için aşağıdaki özelliklerin olması gereklidir (Opricovic & Tzeng, 2007);

- Fikir ayrılıklarının çözüme ulaştırılmasında uzlaşma kabul edilebilir olmalıdır.
- Karar vericiler, ideal çözüme en yakın çözümü kabul etmeye istekli olmalıdır.
- Karar vericiler için fayda ile kriter fonksiyonları arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır.
- Alternatifler, belirtilen tüm kriterler için değerlendirilmelidir.
- Karar vericilerin tercihleri ağırlıklar ile ifade edilir olmalıdır.

VIKOR yöntemi, karar vericinin etkileşimli katılımı olmadan başlar fakat karar verici nihai çözümü onaylamaktan sorumludur. Karar verici, bu nihai çözüme kendi tercihlerini de dahil edebilir. VIKOR yöntemi toplam beş adımdan oluşmaktadır (Onder, 2014).

Adım-1 Her bir kriter için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler belirlenir (Eşitlik 9-10). Burada i kriter sayısını ($i = 1, 2, \dots, n$) ve j alternatif sayısını ($j = 1, 2, \dots, m$) ifade etmektedir.

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad (9)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (10)$$

Adım-2 Değerlendirme birimleri için S_j ve R_j değerleri hesaplanır (Eşitlik 11-12). S_j en iyi değere olan uzaklıklar toplamını, R_j en iyi değere olan maksimum uzaklığı ve w_i kriter ağırlıklarını göstermektedir. 2 numaralı denklem en iyi değere olan uzaklıkların toplamını ifade ederken, 3 numaralı denklem maksimum uzaklığı ifade etmektedir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (11)$$

$$R_j = \max[w_i(f_i^* - f_{ij})/(f_i^* - f_i^-)] \quad (12)$$

Adım-3 S_j ve R_j değerlerine bağlı olarak oluşturulan Q_i indeks değeri Eşitlik 13'de verilmektedir.

$$Q_i = \left[\frac{v(S_j - S^*)}{S^- - S^*} \right] + \left[\frac{(1-v)(R_j - R^*)}{R^- - R^*} \right] \quad (13)$$

İndeks değerlerinin hesaplanmasında kullanılan S^* , S^- , R^* ve R^- değişkenleri Eşitlik 14-17'da açıklanmaktadır.

$$S^* = \min_j S_j \quad (14)$$

$$S^- = \max_j S_j \quad (15)$$

$$R^* = \min_j R_j \quad (16)$$

$$R^- = \max_j R_j \quad (17)$$

Eşitlik 13'de kullanılan v maksimum grup faydasının ağırlığını, $(1 - v)$ ise karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir.

Adım-4 Hesaplanan Q_j , S_j ve R_j değerleri sıralanır. En küçük Q_j değerine sahip değerlendirme birimi, alternatif grubu içerisindeki en iyi seçenek olarak ifade edilir.

Adım-5 Elde edilen sonucun geçerli kabul edilebilmesi için iki koşul sağlanmalıdır. Ancak bu şekilde minimum Q değerine sahip alternatif, en iyi veya en uygun alternatif olarak nitelendirilebilir.

Koşul-1 Kabul edilebilir avantaj koşulu

En iyi ve en iyiye en yakın seçenek arasında belirgin bir fark olduğunu ifade eden koşuldur ve Eşitlik 18'de verilmektedir.

$$Q(a'') - Q(a') \geq D(Q) \quad (18)$$

Bu eşitsizlikte a' , en düşük Q değerine sahip olan birinci en iyi alternatif, a'' ise en iyi ikinci alternatifi göstermektedir. $D(Q)$ değeri Eşitlik 19'da ifade edilmektedir.

$$D(Q) = 1/(j - 1) \quad (19)$$

Koşul-2 Kabul edilebilir istikrar koşulu

Burada en iyi Q değerine sahip a' alternatifi S ve R değerlerinin en az bir tanesinde en iyi skoru elde etmiş olmalıdır.

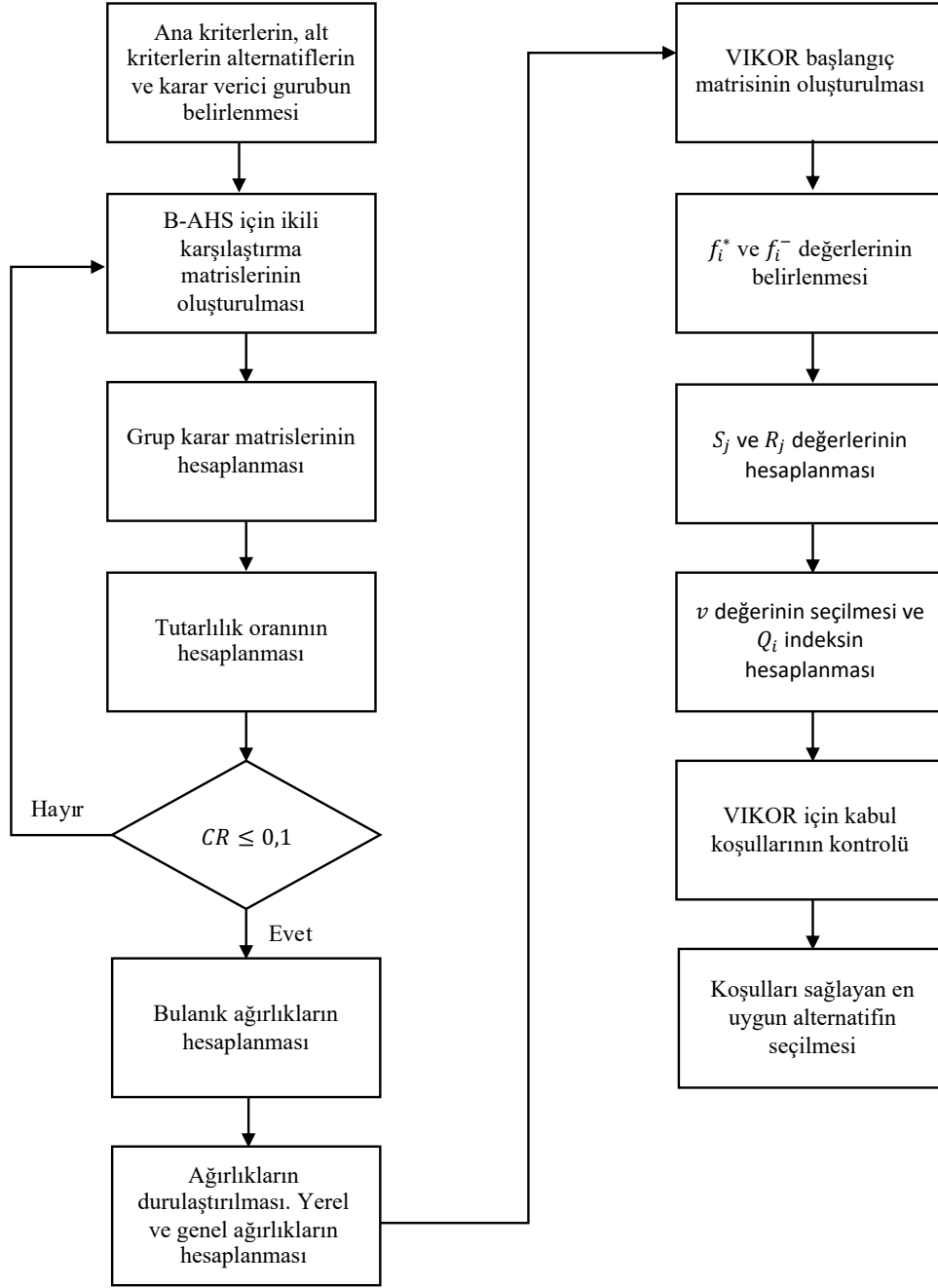
Eğer belirtilen iki koşuldan bir tanesi sağlanamazsa uzlaşma çözüm kümesi şu şekilde önerilir:

2. Koşul sağlanmıyorsa a' ve a'' alternatifleri,

1. Koşul sağlanmıyorsa a' , a'' , ..., a^m alternatifleri $Q(a^m) - Q(a^{m-1}) \geq D(Q)$ eşitsizliği dikkate alınarak ifade edilir. Bu koşulun sağlanamaması, alternatiflerin bazıları arasında belirgin bir fark olmadığını ifade etmektedir.

3.3 Kullanılan Melez Algoritma

Çalışmada kullanılan melez algoritmanın akış şeması Şekil 1'de verilmektedir.

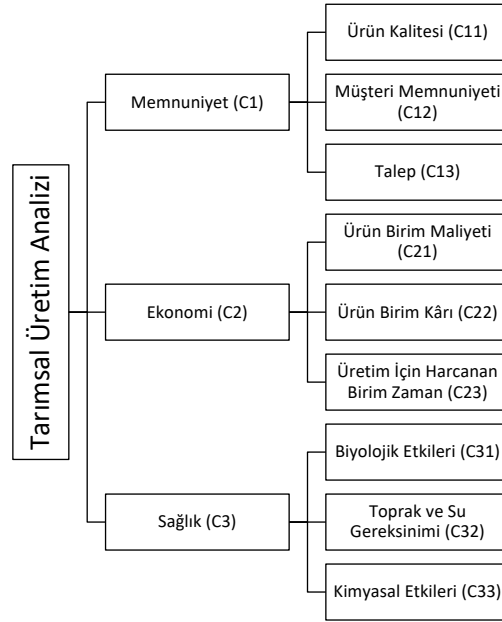


Şekil 1. Kullanılan Algoritmanın Akış Şeması

4. Uygulama

Çalışmanın bu bölümünde, belirli bir koşulda en iyi tarımsal üretim sonucu elde edilen ürünü seçmek için bulanık kümeleri de kullanan iki aşamalı bir karma bulanık karar verme yöntemi açıklamaktadır. İki aşamalı ve daha kapsamlı bir planın uygulanmasıyla ekonomik, sağlık ve sosyal faktörlerin yanı sıra teknik kriterler de karar verme ortamına entegre edilmiştir.

Çalışmada kullanılan kriterler, uzman görüşleri ve literatür taraması sonucu belirlenmiştir. B-AHS yönteminin hiyerarşik yapısı Şekil-2’de verilmektedir.



Şekil 2. B-AHS Hiyerarşik Yapısı

B-AHS yönteminde kullanılan hiyerarşik yapıda üç ana kriter ve dokuz alt kriter bulunmaktadır. Alt kriterlerin detaylı açıklamaları aşağıda verilmektedir.

Memnuniyet (C1)

- Ürün Kalitesi (C11): Elde edilen ürünün kalitesini göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük seviyeyi, 10 en yüksek seviyeyi ifade etmektedir.
- Müşteri Memnuniyeti (C12): Müşteri memnuniyetini göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük, 10 en yüksek memnuniyeti ifade etmektedir.
- Talep (C13): Ürünlere gösterilen talebi ifade etmektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük, 10 en yüksek talebi ifade etmektedir.

Ekonomi (C2)

- Ürün Birim Maliyeti (C21): Üretim için gerekli girdilerin birim çıktı başına toplam maliyeti ifade etmektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en yüksek, 10 en düşük maliyeti ifade etmektedir.
- Ürün Birim Kârı (C22): Birim başına elde edilen kâr miktarını göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük, 10 en yüksek kârı ifade etmektedir.
- Üretim İçin Harcanan Birim Zaman (C23): Toplam çıktı / Harcanan toplam zaman olarak hesaplanmaktadır. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en yüksek, 10 en düşük birim zamanı ifade etmektedir.

Sağlık (C3)

- Biyolojik Etkileri (C31): Ürünün çevreye sağladığı yararlı biyolojik etkileri göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük, 10 en yüksek faydayı ifade etmektedir.
- Toprak ve Su Gereksinimi (C32): Birim başına su ve toprak gereksinimini göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en yüksek, 10 en düşük su ve toprak gereksinimini ifade etmektedir.
- Kimyasal Etkileri (C33): Birim başına kullanılan kimyasal zirai ilaç miktarını göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en yüksek zirai ilaç kullanımını, 10 en düşük zirai ilaç kullanımını ifade etmektedir.

Yöntemin ilk adımında B-AHS için üç adet uzmandan oluşan karar verme grubu ikili karşılaştırmalar yapmıştır. Karşılaştırmalar dilsel ifadeler kullanılarak yapılmış, daha sonra Tablo 1'den faydalanılarak üçgen bulanık sayılara çevrilmiştir. İkili karşılaştırma tabloları ve grup karar matrisi Tablo 3, 4, 5 ve 6'da verilmektedir.

Tablo 3. Bir numaralı karar vericinin ikili karşılaştırma tablosu

KV-1	C1			C2			C3		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1	1	1
C2	2	3	4	1	1	1	1	1	1
C3	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 4. İki numaralı karar vericinin ikili karşılaştırma tablosu

KV-2	C1			C2			C3		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	2	3	4
C2	2	3	4	1	1	1	2	3	4
C3	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2	1	1	1

Tablo 5. Üç numaralı karar vericinin ikili karşılaştırma tablosu

KV-3	C1			C2			C3		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	1	1	1	1	1	1	1/4	1/3	1/2
C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C3	2	3	4	1	1	1	1	1	1

Tablo 6. Grup kararı ikili karşılaştırma tablosu

Grup Kararı	C1			C2			C3		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	1,00	1,00	1,00	0,40	0,48	0,63	0,79	1,00	1,26
C2	1,59	2,08	2,52	1,00	1,00	1,00	1,26	1,44	1,59
C3	0,79	1,00	1,26	0,63	0,69	0,79	1,00	1,00	1,00

Grup kararı için tutarsızlık oranı $CR = 0,024$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, grup karar matrisinin tutarlı olduğunu göstermektedir. Alt kriterlerin grup karar matrisleri için de CR değeri hesaplanmış ve tüm grup karar matrislerinde tutarlı sonuçlar elde edilmiştir ($CR \leq 0,1$). B-AHS'nin adımları takip edilerek Şekil 2'deki hiyerarşik yapıya uygun olarak tüm kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklar Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo 7. Kriter ağırlık tablosu

Ana Kriter	Ağırlık	Alt Kriter	Yerel Ağırlıklar	Genel Ağırlıklar
C1	0,254110	C11	0,480766	0,122167
		C12	0,236105	0,059997
		C13	0,283129	0,071946
C2	0,460290	C21	0,276093	0,127083
		C22	0,561702	0,258546
		C23	0,162205	0,074661
C3	0,285600	C31	0,131795	0,037641
		C32	0,705681	0,201542
		C33	0,162524	0,046417

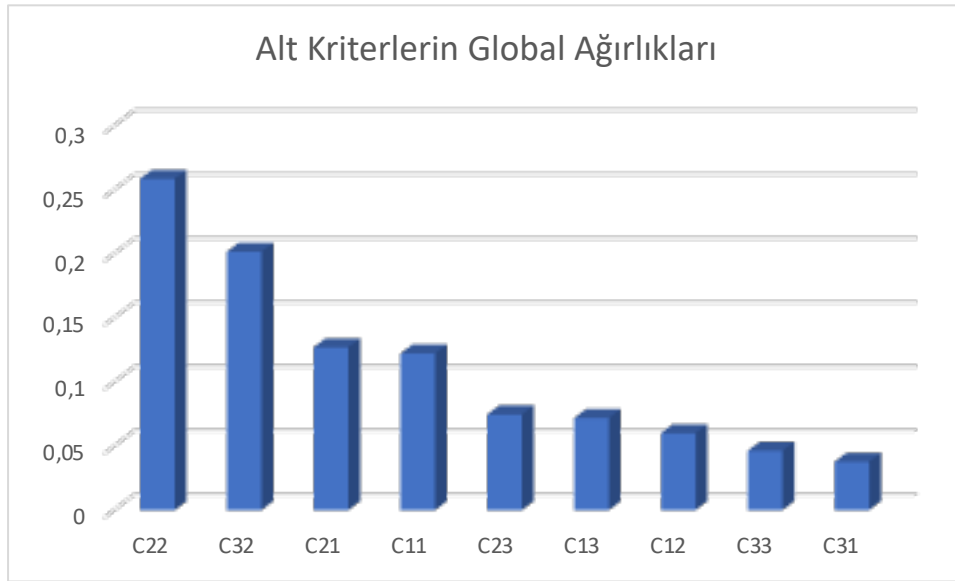
Alt kriterlerin global ağırlıklarının grafiksel gösterimi şekil 3'de verilmektedir. Buna göre en yüksek ağırlığın C22'de (Ürün Birim Kârı) olduğu görülmektedir. Bunu sırası ile C32 (Toprak ve Su Gereksinimi), C21 (Ürün Birim Maliyeti) ve C11 (Ürün Kalitesi) izlemektedir. En düşük önem ise karar vericiler tarafından C31 (Biyolojik Etkileri) olarak belirlenmiştir.

Önerilen melez yaklaşımın ikinci şamasında VIKOR yöntemi uygulanmıştır. Tarım alternatifi olarak üç alternatif seçilmiş ve başlangıç matrisi uzmanların ortak kararına göre düzenlenmiştir. Başlangıç matrisi Tablo 8'de verilmektedir. Çalışmada kullanılan alternatifler sırası ile aşağıda verilmektedir.

A1= Organik tarım

A2= Endüstriyel Tarım

A3= Genetiği değiştirilmiş tarım



Şekil 3. Alt Kriterlerin global ağırlık grafiği

Tablo 8. VIKOR başlangıç matrisi

Ağırlık	0,122167	0,059997	0,071946	0,127083	0,258546	0,074661	0,037641	0,201542	0,046417
Kriter/ Alternatif	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33
A1	10	10	9	8	9	7	10	7	10
A2	8	7	7	9	8	8	7	6	2
A3	6	5	5	10	9	9	2	8	5
f^*	10	10	9	10	9	9	10	8	10
f^-	6	5	5	8	8	7	2	6	2

VIKOR yönteminin adımları takip edildiğinde, öncelikle Eşitlik 11 ve 12 kullanılarak S_j ve R_j değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 9'de verilmektedir. Ardından Eşitlik 14-17 kullanılmış, $S^* = 0,303$, $S^- = 0,755$, $R^* = 0,122$ ve son olarak $R^- = 0,259$ olarak bulunmuştur. VIKOR yönteminde v değeri literatürde genellikle 0,5 olarak seçilmektedir. Ancak bu çalışmada yapılan duyarlılık analizi kapsamında farklı grup faydası ve karşıt görüş pişmanlığının ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu değerler Eşitlik 13'de yerine konularak Q_j değerleri hesaplanmış ve Tablo 9'de verilmiştir.

Tablo 9. Q_j değerleri ve duyarlılık analizi

	S_j	R_j	$v=0$	$v=0,1$	$v=0,2$	$v=0,3$	$v=0,4$	$v=0,5$	$v=0,6$	$v=0,7$	$v=0,8$	$v=0,9$	$v=1$
A1	0,303	0,127	0,036	0,032	0,029	0,025	0,022	0,018	0,014	0,011	0,007	0,004	0,000
A2	0,755	0,259	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
A3	0,321	0,122	0,000	0,004	0,008	0,012	0,016	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,040

Hesaplanan Q_j değerleri için uygunluk koşulları kontrol edilmiş ve tüm alternatif senaryoların uygunluk koşullarını sağladığı görülmüştür. Elde edilen değerlere göre alternatiflerin sıralaması Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10. Alternatiflerin sıralaması ve duyarlılık analizi

v / Alternatifler	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
A2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
A3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2

Bu sıralamaya göre grup faydası 0 - 0,4 arasında iken en uygun alternatifin genetiği değiştirilmiş tarım olduğu görülmüştür. Ancak grup faydası artırıldığında en uygun alternatif organik tarım olmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, tarım ürünü seçim problemi için B-AHS ve VIKOR melez yapısı kullanılmıştır. Önerilen melez ÇKKV yaklaşımı, kriterlerin değerlendirilmesi sürecinde klasik AHS yapısına göre daha fazla dilsel ifade esnekliği sağlamaktadır. Çalışmanın uygulama bölümüne, önerilen B-AHS ve VIKOR melez yöntemi bir tarım yöntemi seçim problemine uyarlanmıştır. Problemden üç ana kriter ve üç alternatif çözüm bulunmaktadır. Kriterler, karar vericiler tarafından sıralanmıştır ve en iyi çiftçilik tarım yöntemi seçilmiştir.

Çalışmada ele alınan problem için bulanık kümelerin sürece dahil edilmesi, tek başına geleneksel yöntemlerle elde edilmesi oldukça zor olan bileşenlerin hem önceliğini hem de boyutunu ortaya çıkartmış ve daha avantajlı sonuçlara yol açmıştır. Nitel ve nicel verilerin birleştirilmesi ile hem mevcut rekabet ortamını hem de uzun vadeli büyüme için kritik olan tarımsal üretim sonucu elde edilen ürünün çeşitli yönlerini ayrıntılı olarak incelemek mümkün olmuştur. Tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün kıyaslaması konusunda kapsamlı araştırmalar yapılmış ve yeni sonuçlar keşfedilmiştir.

Çalışmanın bir diğer önemli sonucu, alternatifler arasındaki farklılıkları belirginleştiren ve subjektif bir tarım ortamında en iyi seçeneği öneren seçim yaklaşımıdır. Kullanılan grup karar verme yaklaşımı ve bulanık kümeler belirsizlik açısından parametrik ve kararlı sonuçlar üretmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda alternatiflerin ve kriterlerin sayısını artırılabilir. B-AHS VIKOR melez yaklaşımı diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırılabilir. TOPSIS, PROMETHEE ve diğerleri gibi diğer ÇKKV metodları bulanık kümelere genişletilebilir ve küresel bulanık AHS bu yöntemlerle karşılaştırılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Yavuz Selim Özdemir yöntemin yazılmasında, uygulanmasında ve makale yazımında ve Şeyda Savalan literatür taramasında, kriterlerin ve alternatiflerin seçiminde ve genel makale yazımında 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

Akhmetshina, L., Sergeev, A., & Mottaeva, A. (2019). Influence of organic agriculture on the development of green economy. In E3S Web of Conferences (Vol. 91). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199106008>

Alem, S. (2021). Special Agriculture Production Selection Using Interval Type-2 Fuzzy AHP. In Advances in Intelligent Systems and Computing (Vol. 1197 AISC, pp. 557–566). https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2_64

Arvas, Y. E., & Kaya, Y. (2019). Potential impact of genetically modified plants on biodiversity. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 29(1), 168–177. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.468218>

Ataseven, Y., & Güneş, E. (2008). Türkiye’de İşlenmiş Organik Tarım Ürünleri Üretimi ve Ticaretindeki Gelişmeler. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(2), 25–33. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/154075>

Atsan, T., & Erem Kaya, T. (2008). Genetiği Değiştirilmiş Organizmaların (GDO) Tarım ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. Cilt (Vol. 22). Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ziraatuludag/issue/16752/174160>

- 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)
- Demirel, N. Ç., Yücenur, G. N., Demirel, T., & Muşdal, H. (2012). Risk-Based Evaluation of Turkish Agricultural Strategies using Fuzzy AHP and Fuzzy ANP. *Human and Ecological Risk Assessment*, 18(3), 685–702. <https://doi.org/10.1080/10807039.2012.672902>
- Eraslan, E., & İç, Y. T. (2011). A multi-criteria approach for determination of investment regions: Turkish case. *Industrial Management and Data Systems*. <https://doi.org/10.1108/02635571111144964>
- Fabris, M., Abbriano, R. M., Pernice, M., Sutherland, D. L., Commault, A. S., Hall, C. C., ... Ralph, P. J. (2020). Emerging Technologies in Algal Biotechnology: Toward the Establishment of a Sustainable, Algae-Based Bioeconomy. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00279>
- Fan, Z. P., & Liu, Y. (2010). A method for group decision-making based on multi-granularity uncertain linguistic information. *Expert Systems with Applications*, 37(5), 4000–4008. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.11.016>
- Firdaus, A., Adiprasetyo, T., & Suhartoyo, H. (2021). A Multicriteria Decision Making and Fuzzy-AHP Approach for Formulating Strategy to Develop Organic Agriculture in Bengkulu Province, Indonesia. In *Proceedings of the International Seminar on Promoting Local Resources for Sustainable Agriculture and Development (ISPLRSAD 2020)* (Vol. 13). <https://doi.org/10.2991/absr.k.210609.034>
- James, C. (2017). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 years. *ISAAA Brief*, (Brief 53), 1–143. Retrieved from <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/download/isaaa-brief-53-2017.pdf>
- Khazaeni, G., Khanzadi, M., & Afshar, A. (2012). Fuzzy adaptive decision making model for selection balanced risk allocation. *International Journal of Project Management*, 30(4), 511–522. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.10.003>
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296(5573), 1694–1697. <https://doi.org/10.1126/science.1071148>
- Mokarram, M., Rangzan, K., Moezzi, A., & Baninemeh, J. (2010). Land suitability evaluation for wheat cultivation by fuzzy theory approach as compared with parametric method. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* (Vol. 38). Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.448.5713&rep=rep1&type=pdf>
- Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, K. H., ... Niggli, U. (2017). Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>
- Nasiri, H., Alavipanah, S. K., Matinfar, H. R., Azizi, A., & Hamzeh, M. (2012). Implementation of agricultural ecological capability model using integrated approach of PROMETHEE II and Fuzzy-AHP in GIS environment (case study: Marvdasht county). *Journal of Environmental Studies*, 38(63), 109–122. Retrieved from <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=290231>
- Onder, E. (2014). VIKOR Method for Ranking Logistic Villages in Turkey. *Journal of Management and Economics Research*, (23), 293–293. <https://doi.org/10.11611/jmer236>
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- 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>
- Özdemir, Y. S., & Üsküdar, A. (2020). Strategy selection by using interval type-2 fuzzy mcdm and an application. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 8(3). <https://doi.org/10.36909/JER.V8I3.8176>

- Pilevar, A. R., Matinfar, H. R., Sohrabi, A., & Sarmadian, F. (2020). Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming. *Ecological Indicators*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105887>
- Piya, S., Shamsuzzoha, A., Azizuddin, M., Al-Hinai, N., & Erdebilli, B. (2022). Integrated Fuzzy AHP-TOPSIS Method to Analyze Green Management Practice in Hospitality Industry in the Sultanate of Oman. *Sustainability* (Switzerland), 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031118>
- Pourkhabbaz, H. R., Javanmardi, S., & Faraji Sabokbar, H. A. (2014). Suitability analysis for determining potential agricultural land use by the multi-criteria decision making models SAW and VIKOR-AHP (case study: Takestan-Qazvin plain). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(5), 1005–1016. Retrieved from <https://jast.modares.ac.ir/article-23-4889-en.pdf>
- Ren, C., Li, Z., & Zhang, H. (2019). Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 210, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.348>
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. *Education*, 1–11. <https://doi.org/10.3414/ME10-01-0028>
- Saputri, V. H. L., Sutopo, W., Hisjam, M., & Ma'aram, A. (2019). Sustainable agri-food supply chain performance measurement model for GMO and Non-GMO using data envelopment analysis method. *Applied Sciences* (Switzerland), 9(6). <https://doi.org/10.3390/app9061199>
- Tai, W. S., & Chen, C. T. (2009). A new evaluation model for intellectual capital based on computing with linguistic variable. *Expert Systems with Applications*, 36(2 PART 2), 3483–3488. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.017>
- Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Azma, A., & Akbari, M. (2020). Combined Fuzzy AHP–GIS for Agricultural Land Suitability Modeling for a Watershed in Southern Iran. *Environmental Management*, 66(3), 364–376. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01310-8>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cordeau, S., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Kovács-Hostyánszki, A., ... Young, J. C. (2020). Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature's contributions to people, agriculture and food security. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 63, pp. 193–253). <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.08.002>
- Yang, Y. T., & Chen, B. (2016). Governing GMOs in the USA: Science, law and public health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 1851–1855. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7523>
- Zandi, P., Rahmani, M., Khanian, M., & Mosavi, A. (2020). Agricultural risk management using fuzzy topsis analytical hierarchy process (Ahp) and failure mode and effects analysis (fmea). *Agriculture* (Switzerland), 10(11), 1–28. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110504>



Journal of Turkish Operations Management

Dağıtık üretim içeren dağıtım şebekesi genişleme problemi için yeni bir matematiksel model

Ayşenur Yurtsever^{1*}, Berna Dengiz², Burçin Çakır³, İsmail Karaoğlan⁴

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: aysenur@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-5010-1956>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: bdengiz@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2806-3308>

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: bcakir@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-3158-4518>

⁴Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye
e-mail: karaoğlan@ktun.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-6023-6918>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 20.04.2022
Revize: 25.05.2022
Kabul: 25.05.2022

Anahtar Kelimeler:

Dağıtık üretim,
Radyal şebeke,
Dağıtım şebekesi

Özet

Hızlı gelişen teknolojiye, dünya nüfusunun artmasına ve elektrifikasyon çalışmalarına bağlı olarak elektrik enerjisine olan talep artış göstermektedir. Mevcut elektrik şebekesi ile yeni açılan yerleşim ve sanayi bölgelerinin ihtiyacı olan enerji gereksiniminin sağlanması, elektrik dağıtımından sorumlu kurumların karşılaştığı temel zorluklardan biridir. Bu zorlukla başa çıkabilmek için uygun yatırım planıyla şebekenin düzenli olarak genişletilmesi ve kapasitesinin artırılması gerekir. Burada en uygun yatırım planının bulunması stratejik bir tasarım problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarlanan dağıtım şebekelerinin artan talebi karşılamasının yanı sıra güvenilir, maliyet etkin ve temiz enerji kullanan şebekeler olması da beklenmektedir. Bu amaçlara ulaşabilmek için şebekelerin dağıtık üretim yapısında planlanması son yıllarda ön plana çıkmaktadır. Dağıtık üretim içeren dağıtım şebekesi genişleme problemi (DNEP_DG), mevcut şebekenin güçlendirilmesini ya da hat, trafo merkezi, dağıtık üretim kaynağı gibi yeni şebeke bileşenlerinin eklenmesini içerir. Dağıtım sistemlerinde en sık kullanılan şebeke yapısı, ağaç yapısındaki radyal şebekelerdir. Dağıtım şebekeleri dağıtık üretim kaynağı dikkate alınarak genişletildiğinde radyal yapının sağlanması ek kısıtlar gerektirmekte olup problemi zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, DNEP_DG'de radyal yapının sağlanması için yayılan ağaç alt tur eleme kısıtlarına dayalı yeni bir formülasyon önerilmiştir. Yatırım, bakım, üretim ve emisyon maliyetlerini en küçükleyen çok dönemli genişleme planının bulunması için karma-tamsayı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu çalışmada önerilen radyallik kısıtlarını içeren model ile literatürdeki kısıt yapısını içeren modelden daha kısa sürede sonuca ulaşıldığı gösterilmiştir. Yapılan iki uygulamada, çözüm zamanı sırasıyla %45,09 ve %31,6 azaltılmıştır.

A new mathematical model for distribution network expansion problem with distributed generation

Article Info

Article History:

Received: 20.04.2022
Revised: 25.05.2022
Accepted: 25.05.2022

Keywords:

Distributed generation,
Radial network,
Distribution network

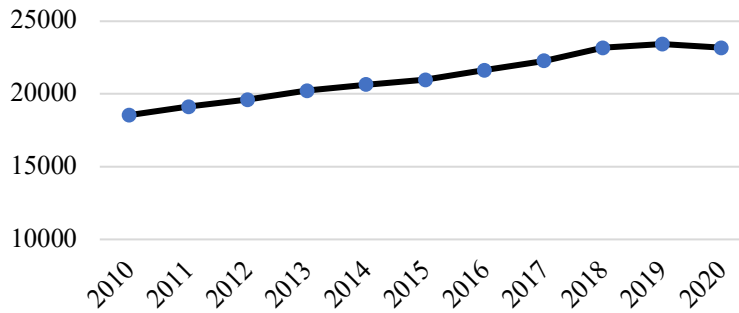
Abstract

Due to rapidly developing technology, growth in the world population and electrification studies, demand for electrical energy is increasing. Ensuring the energy needs of the new residential and industrial zones are met using existing networks is one of the major challenges for electric distribution companies. Distributors need to expand the grid and increase grid capacity with a proper investment plan to deal with this challenge. Finding the most appropriate plan is a strategic design issue for electricity distributors. In addition to meeting the increasing demand, the designed distribution networks are expected to be reliable, cost-effective and use clean energy. To achieve these goals, networks with distributed generation structure has gained prominence in recent years. The distribution network expansion problem with distributed generation (DNEP_DG) involves reinforcement of the existing grid or installing new grid components such as lines, substations, and distributed generation sources. The tree-structured radial network is the most commonly used structure in distribution systems. When distribution networks are expanded with distributed generation, they require additional constraints to maintain the radial structure, complicating the problem. In this study, a new formulation was developed based on spanning tree sub-tour elimination to provide radiality in the DNEP_DG. A mixed-integer mathematical model has been developed to determine a multi-stage expansion plan that minimizes investment, maintenance, production, and emission costs. The proposed model with radiality constraints found the same results reported in the literature in a shorter time. In the two applications, the solution time was reduced by %45.09 and %31.6, respectively.

1. Giriş

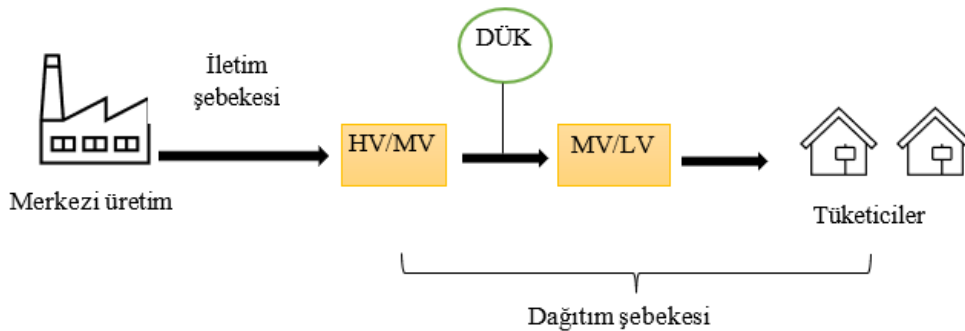
Elektrik enerjisi, ekonomik kalkınmanın ve sosyal gelişmenin temel girdisi olup günlük yaşamımızda önemli bir yere sahiptir. Teknolojik gelişmeler, nüfusun artması ve elektrifikasyon çalışmalarına bağlı olarak tüketicilerin elektrik enerjisine olan talebi de artış göstermektedir.

Dünya genelinde son on yıllık elektrik tüketimi Şekil 1’de gösterilmiştir. 2020 yılında toplam elektrik tüketiminde artan trend grafiğinden beklenenin aksine pandeminin güçlü etkisinden (fabrikaların üretime ara vermesi vb.) kaynaklı olarak ufak bir düşüş yaşanmıştır. Bu düşüş olağandışı bir durumdan kaynaklanmış olmakla birlikte Türkiye ve Çin gibi bazı ülkelerde görülmemiştir. Türkiye’de 2010 yılında elektrik tüketimi 172 TWh iken 2019 yılında 257 TWh, 2020 yılında ise 259 TWh olarak gerçekleşmiştir (Enerdata, 2021). 2030 yılı için yapılan tahmin çalışmalarına göre ise düşük talep senaryosunda bile elektrik tüketiminin 421 TWh’e ulaşması beklenmektedir (Shura, 2020). Gelecek yıllar için bakıldığında, artışın hızı farklılık gösterse de elektrik tüketiminin artış eğiliminde olacağı ve mevcut dağıtım şebekesinin yetersiz kalacağı açıktır.



Şekil 1. Dünya genelinde son 10 yıllık elektrik tüketimi (Enerdata, 2021)

Artan enerji gereksinimi karşısında tüketicilere sürekli güç sağlayabilmek ancak mevcut elektrik şebekesinin kapasitesinin artırılması ve şebekenin uygun yatırım planıyla düzenli olarak genişletilmesiyle mümkündür. Son yıllarda küresel çapta oldukça yaygınlaşan dağıtık üretim kaynaklarının dağıtım şebekesine entegre edilmesi sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme kolay entegrasyonu, güvenilirliğin ve sistemin esnekliğinin artırılması, kayıpların azaltılması gibi birçok önemli fayda elde edilmektedir. Dağıtık üretim (DG), doğrudan dağıtım ağına veya sayacın müşteri kısmına bağlı bir elektrik güç kaynağıdır (Ackermann, Andersson ve Söder, 2001). Merkezi üretimden farklı olarak dağıtık üretimde elektrik son kullanıcılara yakın bir yerde üretilmektedir. Dağıtık üretimde enerji kaynağı olarak hem fosil yakıt bazlı teknolojiler hem de rüzgâr, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Şekil 2’de dağıtık üretim kaynağı (DÜK) içeren dağıtım şebekesine sahip bir güç sistemi örnek olarak verilmiştir.



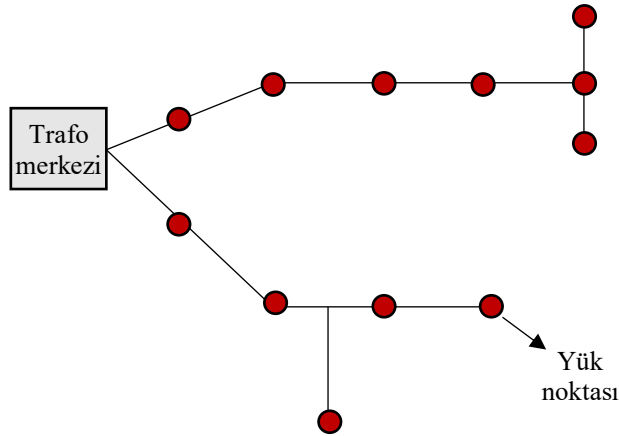
Şekil 2. Dağıtık üretim içeren elektrik güç sistemi (HV: yüksek voltaj, MV: orta voltaj, LV: düşük voltaj)

Ülkemizde dağıtık üretimin enerji sektörüne adaptasyonu henüz yeni olmakla birlikte mevcut elektrik şebekesinin dağıtık üretim sistemine dönüştürülmesi gerektiği konusu enerjiye dair stratejik planlarda yer almaktadır. Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi Raporunda (TAŞ, 2018) dağıtık üretim somut hedefler arasında değerlendirilmiştir. Dağıtık üretim sistemi elektrik güç sisteminin genişletilmesinin ve uzak bölgelerin elektrikleştirilmesinin sürdürülebilir bir yolu olarak önem kazanmaktadır (Theo, Lim, Ho, Hashim ve Lee, 2017).

Son kullanıcıya yüksek kaliteli ve sürdürülebilir güç sağlamak için bir güç sistemindeki en önemli varlıklardan birisi dağıtım şebekesi olup, sürekli artan yük talebiyle başa çıkmak için en önemli araç dağıtım sisteminin genişleme planlamasıdır (Ugranlı, 2019; Malee, Jain, Gupta ve Dharampal, 2016). Dağıtım şebekesi genişleme problemi (DNEP), temelde mevcut hatların ve trafo merkezlerinin güçlendirilmesi ya da teknik ve operasyonel kısıtları sağlayacak minimum genişleme maliyetine yol açan yeni hat ve trafo merkezlerinin kurulmasını içerir (Bagheri, Monsef ve Lesani, 2015a). Dağıtık üretim içeren dağıtım şebekesi genişleme probleminde (DNEP_DG) ise kapasite artırma seçeneği olarak dağıtık üretim kaynakları da değerlendirilmekte ve ek olarak bazı değişken ve kısıtlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Mevcut dağıtım ağının genişletilmesi; yeni hatlar eklenmeli mi, mevcut hatların değiştirilmesi gerekli mi, yeni trafo ihtiyacı var mı, varsa yeni trafolar nerelere kurulmalı, trafoların kapasitesi ne olmalı, eski trafoların güçlendirilmesi gerekli mi, hangi tip dağıtık üretim kaynağı hangi noktalara kurulmalı, hangi tüketim noktasına hangi kaynaklardan ne kadar elektrik verilmeli gibi pek çok stratejik kararın verilmesini gerektiren kapsamlı bir problemdir. DNEP, NP-Zor yapıda bir problem olup dağıtık üretim entegrasyonu problemi daha da karmaşık hale getirmektedir (Xing, Cheng, Zhang, Zhang ve Zhang, 2015). Dolayısıyla, en iyi (optimal) sonuca daha kısa sürede ulaşmak için etkin matematiksel modeller geliştirilmesi önemlidir.

Dağıtım şebekelerinde en sık kullanılan şebeke yapısı ise radyal şebekedir (Prakash, Lallu, Islam ve Mamun, 2016). Radyal şebeke yapısına ilişkin bir örnek Şekil 3'te verilmiştir. Dalı şebeke olarak da adlandırılan radyal şebekeler ağaç yapısında olup bu şebekelerde kapalı döngülere izin verilmemektedir. Burada müşteriler, tek bir dağıtım merkezinden ve hattan enerji almaktadır. Radyal şebeke yapısı, ucuz ve basit olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir.



Şekil 3. Radyal şebeke örneği

Bu çalışmada, DNEP_DG'de radyal yapının sağlanması için yayılan ağaç alt tur eleme kısıtlarına dayalı yeni bir formülasyon geliştirilmiştir. Önerilen radyallik kısıtları literatürdeki yapı ile kıyaslanarak aynı sonuçlara daha kısa sürede ulaşıldığı görülmüştür. Yatırım, bakım, üretim ve emisyon maliyetlerini en küçükleyen çok dönemli genişleme planının bulunması için önerilen radyallik kısıtlarını da içeren karma-tamsayı bir matematiksel model geliştirilmiş ve 14 düğümlü test sistemi üzerinde uygulanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde DNEP_DG ve radyallığın sağlanmasına ilişkin literatürdeki bazı çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde, geliştirilen matematiksel model verilmiş ve önerilen radyallik kısıtı açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, ilk olarak geliştirilen radyallik kısıtları literatürdeki yapı ile kıyaslanarak sonuçlar verilmiş, ardından matematiksel model 14 düğümlü test sistemine uygulanarak sonuçlar analiz edilmiştir. Son olarak beşinci bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş ve konuya ilişkin gelecekte yapılabilecek çalışmalara değinilmiştir.

2. Alan yazın incelemesi

Çevresel farkındalığın artması, akıllı şebekelere geçişin hızlanması ve enerji kaybı, güvenilirlik gibi konularda müşteri beklentilerinin değişmesi, dağıtık üretim için itici bir güç oluşturmuştur. Dağıtık üretimin yaygınlaşmasıyla birlikte DNEP_DG, son yıllarda araştırmacıların sıklıkla çalıştığı ve alan yazında oldukça geniş yer tutan bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Problem farklı amaç fonksiyonları dikkate alınarak çözülsün de temelde en yaygın kullanımı maliyetin en küçüklenmesidir. Maliyet bileşenleri içerisinde ise yatırım, bakım ve üretim maliyetleri sıklıkla ele alınmakla birlikte artan çevresel farkındalık ve ülkelerin temiz enerji hedefleri doğrultusunda emisyon maliyetleri de son yıllarda dikkate alınmaya başlamıştır (Haffner, Pereira, Pereira ve Barreto, 2008 ; Siahi, Porkar, Abbaspour-Tehrani-Fard, Poure ve Saadate, 2010 ; Asensio, Quevedo, Muñoz-Delgado ve Contreras, 2018; Jahromi, Ehsan, Meyabadi, 2012). Planlama dönemi açısından ise statik ve dinamik planlama olmak üzere literatürde iki tür planlama yaklaşımı mevcuttur. Statik planlamada, planlama döneminin sonundaki yükü karşılayacak şekilde tüm yatırımlar planlama ufku başında yapılacak şekilde tasarlanır (Jahromi ve diğ., 2012). Dinamik planlamada ise planlama ufku bazı zaman aralıklarına bölünür. Her aralıktaki yatırım, zaman aralığının sonundaki yükü karşılamak için aralığın başında yapılacak şekilde tasarlanır (Jahromi ve diğ., 2012). Böylece, tüm yatırımların ilk planlama yılında yapılması gerekmez ve planlama ufkuna ulaşmak için zaman aralıkları optimize edilebilir. İki yaklaşımı karşılaştıran çalışmalar incelendiğinde dinamik planlamanın daha iyi sonuç verdiği görülmektedir (Soroudi, Ehsan ve Zareipour, 2011). Bu çalışmada dinamik planlama yaklaşımıyla yatırım, bakım, üretim ve emisyon maliyetlerini en küçükleyen bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Dağıtık üretim içeren şebekelerde radyalliğin sağlanmasına ilişkin literatürde farklı yaklaşımlar mevcuttur. Hemmati, Hooshmand ve Taheri, (2015) ve Malee ve diğ. (2018), önerdikleri planda ağın radyal durumunu önerdikleri sezgisel algoritma içerisinde kontrol ederek, uygun olmayan planları dikkate almamışlardır. Gholizadeh-Roshanagh, Najafi-Ravadanegh ve Hosseinian (2018), her karar değişkeni kümesinden elde edilen şebekeyi bağlantı açısından kontrol etmiş ve uygun çözümler üzerinden maliyet hesaplamışlardır. Kanwar, Gupta, Niazi, Swarnkar ve Bansal (2017) uygun olmayan çözümleri belirlemek ve düzeltmek için üç kurallı bir yöntem benimsemişlerdir. Seta, Oliveira ve Oliveira (2020), radyallik kısıtı ve aday çözümlerin bağlılık durumunun sezgisel içerisinde sağlandığı bir algoritma kullanmışlardır.

Huang, Alvehag ve Söder (2014), Santos, Fitiwi, Shafie-khah, Bizuayehu ve Catalão (2017), Alotaibi ve Salama (2018) ve Lima, Tabares, Arias ve Franco (2021) çalışmalarında ağaç yapısının oluşmasını sağlayan kısıtlar kullanmış fakat bağlantı durumunu (alt turların engellenmesi) dikkate almamışlardır. Bu yaklaşımı benimseyen çalışmaların bir kısmında şebekenin bağlı olup olmadığı eniyileme işleminin sonrasında kontrol edilmiştir. Bu şekilde modelin karmaşık yapısının basitleştirilmesi amaçlanmıştır. Bagheri ve diğ. (2015a), ağın radyalliğini sağlamak için ağın komşuluk matrisini kullanmışlardır. Radyalliğin sağlanması için dağıtım ağının A komşuluk matrisinin rank değerinin talep düğümü sayısı (n_n)-trafo merkezi sayısı (n_s)'na eşit olması gerekmektedir. Ayrıca, A matrisinin karesinin oluşturduğu matrisin köşegen toplamının ($trace(A^2)$), $2 \times$ (talep düğümü sayısı- trafo merkezi)'ne eşit olması gerekmektedir (Bagheri, Monsef ve Lesani, 2015c). Matematiksel model içerisinde matris rankının hesaplanması oldukça zor bir işlem olup, Bagheri ve diğ. (2015c) bu yöntemi önerdikleri sezgisel yöntemde radyalliği kontrol etmek için kullanmışlardır. Bazı çalışmalarda ise tam bağlı bir ağdan dal-değişimi, evrimsel algoritma gibi çeşitli algoritmalarla radyal ağ oluşturma yoluna gidilmiştir (Bagheri ve diğ., 2015a).

$$Rank(A) = n_n - n_s \quad (1)$$

$$trace(A^2) = 2(n_n - n_s) \quad (2)$$

Bunun dışında literatürde hem ağaç yapısı hem de ağın bağlantılı olma durumunu matematiksel model içerisinde dikkate alan bazı çalışmalar da mevcuttur. Matematiksel model içerisinde ağaç yapısı ve bağlantılı olma durumunu bazı çalışmalar DG birimleri tarafından oluşturulan izole bölümleri, DG kurulabilecek aday düğümlere hayali talepler atayarak önlemiştir (Muñoz -Delgado, Contreras ve Arroyo 2015; Asensio ve diğ., 2018; Kabirifar, Fotuhi-Firuzabad, Moeini-Aghtaie ve Pourghaderia 2019; Karimi-Arpanahi, Jooshaki, Moeini-Aghtaie, Abbaspour ve Fotuhi-Firuzabad, 2019; Sun, Liu, He, Wang ve Sun, 2018; Ugranlı, 2019; Wu, Liu, Gu, Zhou, Li ve Liu, 2018; Sun, Wu, Gu, Zhu, Zhong ve Gao, 2021). Bu yaklaşımda, trafo düğümlerinin hayali talepleri karşılaması gerektiğinden, trafoya bağlantı sağlanacaktır (Karimi-Arpanahi ve diğ., 2019). Bu çalışmada ise dağıtım ağının ağaç yapısının ve bağlantılı olma durumunun matematiksel model içerisinde sağlanması için yayılan ağaç alt tur eleme kısıtlarına dayalı yeni bir formülasyon geliştirilmiştir.

3. Geliştirilen matematiksel model

Bu bölümde ilk olarak DNEP_DG için geliştirilen matematiksel model verilmiş, ardından önerilen radyallık kısıtı detaylandırılmıştır.

İndisler:

i, j, m : Düğüm indisleri

t, τ : Zaman indisleri

b : Yük seviye indisi

p : DG tipi indisi

tr : Transformatör tipi indisi

l : Hat tipi indisi

k, κ : Yatırım alternatifi indisleri

Kümeler:

T : Zaman periyotları kümesi

B : Yük seviyeleri kümesi

P : DG tipleri kümesi $P = \{C, W\}$ burada C : geleneksel (yenilenebilir enerjiden yararlanmayan küçük üretim birimleri) DG kaynağını W : rüzgâr DG kaynağını ifade eder.

TR : Transformatör tipleri kümesi $TR = \{ET, NT\}$ ET : mevcut transformatör NT : yeni transformatör

L : Hat tipleri kümesi $L = \{EFF, ERF, NRF, NAF\}$. Burada EFF : mevcut ve değiştirilmesi istenmeyen hatları, ERF : mevcut fakat değiştirilebilir hatları, NRF : değiştirilme sonucu yeni eklenen hatları, NAF : önceden olmayan yeni eklenen hatları göstermektedir.

K^l, K^p, K^{tr} : Hat, DG ve transformatör için yatırım alternatifleri kümesi

Ω^N : Sistem düğümleri kümesi

Ω^{SS} : Trafo merkezi düğümleri kümesi

Ω^{NewSS} : Trafo merkezi kurulabilecek potansiyel düğümler kümesi

Ω^P : DG kurulabilecek aday düğümler kümesi

Ω_t^{LN} : t zamanındaki talep içeren düğümler kümesi

$\gamma^{l(NRF,NAF)}$: NRF ve NAF tipi hat ile bağlı dallar kümesi

$\gamma^{l(EFF)}$: EFF tipi hat ile bağlı dallar kümesi

$\gamma^{l(ERF)}$: ERF tipi hat ile bağlı dallar kümesi

γ^l : l tipi hat ile bağlı dallar kümesi ($\gamma^l = \gamma^{l(NRF,NAF)} \cup \gamma^{l(EFF)} \cup \gamma^{l(ERF)}$)

Ω_i^l : l tipi hat ile i düğümüne bağlı düğümler kümesi

$E(U)$: Alt tur oluşturma potansiyeli olan U alt kümelerinin oluşturduğu küme

Parametreler:

l_{ij} : $i - j$ hattının uzunluğu (km .)

\check{F}_k^l : Hattaki akım için üst limit (MVA)

\check{G}_k^{tr} : Transformatörden gelen enerji için akım üst limiti (MVA)

μ_b : b yük seviyesindeki yük faktörü

D_{it} : i düğümünün pik talebi (MVA)

Z_k^l : Hat empedans şiddeti (Ω/km .)

$C_k^{l,l}, C_k^{l,NT}, C_k^{l,p}, C_s^{l,SS}$: Sırasıyla hat yatırım maliyeti ($\$/km$), transformatör yatırım maliyeti ($\$$), DG yatırım maliyeti ($\$/MW$) ve trafo merkezi için yatırım maliyeti ($\$$) katsayıları

$C_k^{M,l}, C_k^{M,p}, C_k^{M,tr}$: Hat, DG ve transformatör için bakım maliyeti katsayıları ($\$$)

\check{G}_k^p : DG birimleri kapasitesi (MVA)

Δ_b : b yük seviyesinin süresi

$C_k^{E,p}, C_b^{SS}$: DG'den alınan enerji maliyeti ($\$/MWh$) ve trafodan alınan enerji maliyeti ($\$/MWh$) için katsayılar

IB_t : t zamanındaki yatırım bütçesi ($\$$)

emc : Emisyon maliyeti (\$/ton)

GE : Şebekeden alınan yüke ilişkin emisyon katsayısı (ton/MWh)

DGE^p : DG'den alınan yüke ilişkin emisyon katsayısı (ton/MWh)

int : Faiz oranı

n_t : Zaman periyotları sayısı

pf : Güç faktörü

\underline{V}, \bar{V} : Düzgümlerdeki voltaj için alt ve üst sınırlar

$RR^l, RR^{SS}, RR^{NT}, RR^p$: Sırasıyla hat, trafo merkezi, transformatör ve DG için yatırım geri dönüş oranları

M : Yeterince büyük bir sayı

$\eta^l, \eta^{NT}, \eta^p, \eta^{SS}$: Hat, transformatör, DG ve trafo için yaşam süreleri

ε_{max} : Dağıtık üretim için maksimum nüfuz limiti

Karar değişkenleri:

c^{TPV} : Toplam maliyetin bugünkü değeri (\$)

c_t^l : t dönemindeki yatırım maliyeti (\$)

c_t^E : t dönemindeki üretim maliyeti (\$)

c_t^M : t dönemindeki bakım maliyeti (\$)

c_t^{EMS} : t dönemindeki emisyon maliyeti (\$)

x_{ijkt}^l : Hat için 0-1 yatırım değişkeni

x_{ikt}^{NT} : Yeni transformatör için 0-1 yatırım değişkeni

x_{ikt}^p : DG için 0-1 yatırım değişkeni

x_{it}^{SS} : Trafo merkezi için 0-1 yatırım değişkeni

g_{ikt}^p, g_{ikt}^{tr} : DG ve transformatörden gelen akım miktarı (MVA)

y_{ijkt}^l : Hat için 0-1 kullanım değişkeni

y_{ikt}^p : DG için 0-1 kullanım değişkeni

y_{ikt}^{tr} : Transformatör için 0-1 kullanım değişkeni

V_{itb} : Düzgüm voltaj şiddeti

f_{ijkt}^l : Hattaki akım akış miktarı

S_{it} : i düğümü t döneminde ağaçtaysa 1, dd 0.

Amaç fonksiyonu

$$c^{TPV} = \sum_{t \in T} \frac{(1+int)^{-t}}{int} c_t^l + \sum_{t \in T} [(1+int)^{-t} (c_t^E + c_t^M + c_t^{EMS})] + \frac{(1+int)^{-nt}}{int} (c_{n_t}^E + c_{n_t}^M + c_{n_t}^{EMS}) \quad (3)$$

Amaç fonksiyonundaki değişkenlere ilişkin hesaplamalar

$$c_t^l = \sum_{l \in \{NRF, NAF\}} RR^l \sum_{k \in K^l} \sum_{(i,j) \in \gamma^l(NRF, NAF)} C_k^{l,l} l_{ij} x_{ijkt}^l + RR^{SS} \sum_{i \in \Omega^{SS}} C_i^{l,SS} x_{it}^{SS} + RR^{NT} \sum_{k \in K^{NT}} \sum_{i \in \Omega^{SS}} C_k^{l,NT} x_{ikt}^{NT} + \sum_{p \in P} RR^p \sum_{k \in K^p} \sum_{i \in \Omega^p} C_k^{l,p} pf \check{G}_k^p x_{ikt}^p \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$c_t^E = \sum_{b \in B} \Delta_b pf \left(\sum_{tr \in TR} \sum_{k \in K^{tr}} \sum_{i \in \Omega^{SS}} C_b^{SS} g_{ikt}^{tr} + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K^p} \sum_{i \in \Omega^p} C_k^{E,p} g_{ikt}^p \right) \quad \forall t \in T \quad (5)$$

$$c_t^M = \sum_{l \in L} \sum_{k \in K^l} \sum_{(i,j) \in \gamma^l} C_k^{M,l} (y_{ijkt}^l + y_{jikt}^l) + \sum_{tr \in TR} \sum_{k \in K^{tr}} \sum_{i \in \Omega^{SS}} C_k^{M,tr} y_{ikt}^{tr} + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K^p} \sum_{i \in \Omega^p} C_k^{M,p} y_{ikt}^p \quad \forall t \in T \quad (6)$$

$$c_t^{EMS} = emc \left(\sum_{i \in \Omega^{SS}} \sum_{k \in K^{tr}} \sum_{tr \in TR} \sum_{b \in B} (g_{iktb}^{tr} \Delta_b pfGE) + \sum_{i \in \Omega^P} \sum_{k \in K^P} \sum_{p \in P} \sum_{b \in B} (g_{iktb}^p \Delta_b pfDGE^p) \right) \quad \forall t \in T \quad (7)$$

$$RR^l = \frac{int(1 + int)^{\eta^l}}{(1 + int)^{\eta^l} - 1} \quad \forall l \in \{NRF, NAF\} \quad (8)$$

$$RR^{NT} = \frac{int(1 + int)^{\eta^{NT}}}{(1 + int)^{\eta^{NT}} - 1} \quad (9)$$

$$RR^p = \frac{int(1 + int)^{\eta^p}}{(1 + int)^{\eta^p} - 1} \quad \forall p \in P \quad (10)$$

$$RR^{SS} = \frac{int(1 + int)^{\eta^{SS}}}{(1 + int)^{\eta^{SS}} - 1} \quad (11)$$

(3) numaralı denklem toplam maliyetin bugünkü değerini hesaplamaktadır. (4) numaralı denklem yatırım maliyetini, (5) numaralı denklem elektrik üretim maliyetini, (6) numaralı denklem bakım maliyetini, (7) numaralı denklem ise emisyon maliyetini oluşturmaktadır. [8-11] numaralı eşitlikler ise sırasıyla hat, transformatör, dağıtık üretim kaynağı ve trafo için getiri oranlarını hesaplamaktadır.

Kısıtlar

Kirchoff Kanunları ve Operasyonel Limitler

$$\underline{V} \leq v_{itb} \leq \bar{V} \quad \forall i \in \Omega^N, \forall t \in T, \forall b \in B \quad (12)$$

$$0 \leq f_{ijktb}^l \leq y_{ijkt}^l \check{F}_k^l \quad \forall l \in L, \forall i \in \Omega_j^l, \forall j \in \Omega^N, \forall k \in K^l, \forall t \in T, \forall b \in B \quad (13)$$

$$0 \leq g_{iktb}^{tr} \leq y_{ikt}^{tr} \check{G}_k^{tr} \quad \forall tr \in TR, \forall i \in \Omega^{SS}, \forall k \in K^{tr}, \forall t \in T, \forall b \in B \quad (14)$$

$$0 \leq g_{iktb}^p \leq y_{ikt}^p \check{G}_{iktb}^p \quad \forall p \in P, \forall i \in \Omega^P, \forall k \in K^p, \forall t \in T, \forall b \in B \quad (15)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K^p} \sum_{i \in \Omega^P} g_{iktb}^p \leq \varepsilon_{max} \sum_{i \in \Omega_t^{LN}} \mu_b D_{it} \quad \forall t \in T, \forall b \in B \quad (16)$$

$$y_{ijkt}^l [Z_k^l l_{ij} f_{ijktb}^l - (v_{itb} - v_{jtb})] = 0 \quad \forall l \in L, \forall i \in \Omega_j^l, \forall j \in \Omega^N, \forall k \in K^l, \forall t \in T, \forall b \in B \quad (17)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{k \in K^l} \sum_{j \in \Omega_j^l} (f_{ijktb}^l - f_{jiktb}^l) = \sum_{tr \in TR} \sum_{k \in K^{tr}} g_{iktb}^{tr} + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K^p} g_{iktb}^p - \mu_b D_{it} \quad \forall i \in \Omega^N, \forall t \in T, \forall b \in B \quad (18)$$

(17) numaralı denklemin doğrusal formu aşağıdaki gibidir.

$$-M(1 - y_{ijkt}^l) \leq Z_k^l l_{ij} f_{ijktb}^l - (v_{itb} - v_{jtb}) \leq M(1 - y_{ijkt}^l) \quad \forall l \in L, \forall i \in \Omega_j^l, \forall j \in \Omega^N, \forall k \in K^l, \forall t \in T, \forall b \in B \quad (19)$$

(12) numaralı denklem düğümlerdeki voltajın belirlenen sınırlar içerisinde olmasını garanti etmektedir. (13) numaralı denklem sistemde bulunan hatlardaki akışın 0'dan büyük ve o hat kullanılıyorsa hattın kapasitesinden küçük olmasını sağlar. (14) numaralı denklem trafolardan transformatlara gelen akımın 0'dan büyük ve kullanılan transformatörün üst limitinden düşük olmasını sağlar. (15) numaralı denklem DG'den gelen akımın 0'dan büyük ve kullanılan DG'nin kapasitesinden küçük olmasını sağlar. (16) numaralı denklem DG için maksimum bir nüfuz seviyesini ifade etmektedir. (17) numaralı denklem Kirchoff voltaj ve akım kanunlarına ilişkin kısıt olup (19) numaralı denklemde bu kısıtın doğrusallaştırılmış hali verilmiştir. (18) numaralı denklem şebekedeki akışın korunumuna ilişkin kısıtı ifade etmektedir.

Yatırım, Bütçe ve Mantıksal Şebeke Kısıtları

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K^l} x_{ijkt}^l \leq 1 \quad \forall l \in \{NRF, NAF\}, \forall (i, j) \in \gamma^{l(NRF, NAF)} \quad (20)$$

$$\sum_{t \in T} x_{it}^{SS} \leq 1 \quad \forall i \in \Omega^{SS} \quad (21)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K^{NT}} x_{ikt}^{NT} \leq 1 \quad \forall i \in \Omega^{SS} \quad (22)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K^p} x_{ikt}^p \leq 1 \quad \forall p \in P, \quad \forall i \in \Omega^p \quad (23)$$

$$x_{ikt}^{NT} \leq \sum_{\tau=1}^t x_{i\tau}^{SS} \quad \forall i \in \Omega^{SS}, \forall k \in K^{NT}, \forall t \in T \quad (24)$$

$$y_{ijkt}^{EFF} + y_{jikl}^{EFF} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in \gamma^{l(EFF)}, \forall k \in K^{EFF}, \forall t \in T \quad (25)$$

$$y_{ijkt}^l + y_{jikl}^l \leq \sum_{\tau=1}^t x_{ijkt}^l \quad \forall l \in \{NRF, NAF\}, \forall (i, j) \in \gamma^{l(NRF, NAF)}, \forall k \in K^l, \forall t \in T \quad (26)$$

$$y_{ijkt}^{ERF} + y_{jikl}^{ERF} \leq 1 - \sum_{\tau=1}^t \sum_{k \in K^{NRF}} x_{ijkt}^{NRF} \quad \forall (i, j) \in \gamma^{l(ERF)}, \forall k \in K^{ERF}, \forall t \in T \quad (27)$$

$$y_{ikt}^{NT} \leq \sum_{\tau=1}^t x_{ikt}^{NT} \quad \forall i \in \Omega^{SS}, \forall k \in K^{NT}, \forall t \in T \quad (28)$$

$$y_{ikt}^p \leq \sum_{\tau=1}^t x_{ikt}^p \quad \forall p \in P, \forall i \in \Omega^p, \forall k \in K^p, \forall t \in T \quad (29)$$

$$\sum_{l \in \{NRF, NAF\}} \sum_{k \in K^l} \sum_{(i,j) \in \gamma^{l(NRF, NAF)}} C_k^{l,l} l_{ij} x_{ijkt}^l + \sum_{i \in \Omega^{SS}} C_i^{l,SS} x_{it}^{SS} + \sum_{k \in K^{NT}} \sum_{i \in \Omega^{SS}} C_k^{l,NT} x_{ikt}^{NT} + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K^p} \sum_{i \in \Omega^p} C_k^{l,p} p_f \check{G}_{kt}^p x_{ikt}^p \leq IB_t \quad \forall t \in T \quad (30)$$

$$\sum_{i \in \Omega^N / \Omega^{SS}} \sum_{tr \in TR} \sum_{k \in K^{tr}} \sum_{t \in T} \sum_{b \in B} g_{ikt b}^{tr} = 0 \quad (31)$$

$$\sum_{i \in \Omega^N / \Omega^p} \sum_{p \in P} \sum_{k \in K^p} \sum_{t \in T} \sum_{b \in B} g_{ikt b}^p = 0 \quad (32)$$

$$\sum_{i \in \Omega^{NewSS}} \sum_{k \in K^{NT}} \sum_{t \in T} y_{ikt}^{ET} = 0 \quad (33)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{k \in K^l} \sum_{j \in \Omega_i^l} f_{jikl}^l = 0 \quad \forall i \in \Omega^{SS}, \forall b \in B, \forall t \in T \quad (34)$$

[20-23] numaralı eşitsizlikler sırasıyla yeni hat, trafo, transformatör ve DG yatırım kararı kısıtlarıdır. (24) numaralı kısıt yeni transformatörlerin yalnızca o dönemde veya daha öncesinde yatırım yapılmış trafo merkezlerine eklenebileceğini garanti eder. (25) numaralı kısıt mevcut değiştirilmesi istenmeyen hatlarda tek yönlü akışı sağlar.

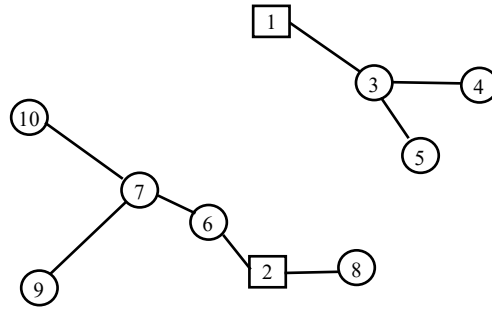
(26) numaralı kısıt yeni hat kurulmuşsa o dönem veya sonrasında akış meydana gelmesini ve tek yönlü akış meydana gelmesini sağlar. (27) numaralı kısıt hat değiştirilmişse eski hatta akış meydana gelmesini engeller. (28) numaralı kısıt herhangi bir t zamanında yeni transformatör kurulmuşsa bu transformatörün o zamanda veya daha sonra kullanılabilir olmasını sağlar. (29) numaralı kısıt herhangi bir t zamanında bir DG kurulmuşsa bu DG'nin o zamanda veya daha sonra kullanılabilir olmasını sağlar. (30) numaralı kısıt yapılacak yatırımın dönemin bütçesini aşmamasını garanti eder. (31) numaralı kısıt talep düğümlerine transformatörden gelen akımı, (32) numaralı kısıt DG kurulamayacak düğümlere DG'den gelen akımı 0'a eşitleyen mantıksal şebeke kısıtlarıdır. Benzer şekilde (33) numaralı kısıt potansiyel yeni bir trafo merkezi düğüme eski transformatör atanmasını, (34) numaralı kısıt ise trafo merkezine talep düğümlerinden akım gitmesini engellemektedir.

Radyalite Kısıtları izleyen alt başlık içinde [35-36] ve [42-47] numaralı eşitliklerde verilmektedir.

3.1 Önerilen radyalite kısıtı

Yayılan ağ yapısından yararlanılarak bu çalışmada geliştirilen radyalite kısıtının detayları aşağıda açıklanmaktadır.

Şebeke tasarımı yapılırken şebekenin radyal yapısının korunması gerekmektedir. Radyal şebeke yapısında her talep düğüme enerji bir trafo merkezinden ve bir hattan gelmelidir. Şebeke ağ yapısında olmalı ve kapalı döngülere izin verilmemelidir. Şekil 4'te kare ile gösterilen 2 trafo merkezi ve yuvarlak ile gösterilen 8 talep düğüme bulunan radyal bir şebeke verilmiştir.



Şekil 4. Bir radyal şebeke örneği

Radyal yapının sağlanabilmesi için her talep düğüme bir giriş olmalı, talep olmayan düğüme (eğer varsa) ise en fazla bir giriş olmalıdır.

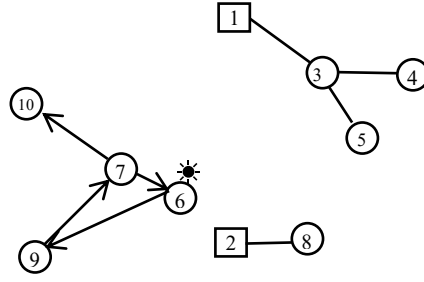
Bu duruma ilişkin kısıtlar aşağıdaki gibi yazılabilir (Munoz Delgado ve diğ., 2015).

$$\sum_{l \in L} \sum_{i \in \Omega_j^l} \sum_{k \in K^l} y_{ijkt}^l = 1 \quad \forall j \in \Omega_t^{LN}, \forall t \in T \quad (35)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{i \in \Omega_j^l} \sum_{k \in K^l} y_{ijkt}^l \leq 1 \quad \forall j \notin \Omega_t^{LN}, \forall t \in T \quad (36)$$

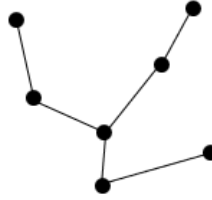
Bu kısıtlar, (18) numaralı şebeke akış kısıtıyla birlikte düşünüldüğünde klasik bir DNEP' de radyaliteyi sağlamak için yeterlidir. Akış kısıtı gereği düğümlere enerji girişi gerektiğinden, tek enerji noktası olan trafo merkezine bağlantı gerçekleşecektir.

Ancak DNEP_DG' de radyaliteyi sağlanması için bu kısıtlar yeterli değildir. Dağıtık üretim kaynağı kurulduğunda düğümler enerjiiyi o kaynaktan alacak şekilde şebekeden kopmuş bir tur oluşturabilir ve trafo merkezi bağlantısı gerçekleşmeyebilir. DNEP_DG' de, yalnızca (35) ve (36) numaralı kısıtlar kullanıldığında oluşabilecek bir şebeke örneği Şekil 5' de verilmiştir. Burada 6 numaralı düğüme bulunan DG, düğüme enerji vermektedir. Her düğüme 1 giriş kısıtı da sağlanmış ve trafo merkezinden kopmuş bir şebeke parçası oluşmuştur.



Şekil 5. Bağlılığının bozulduğu bir şebeke örneği

Trafo merkezinden kopmuş bir şebeke parçasının oluşmasını engellemek için bazı ek kısıtlar gerekmektedir. Bunun için yayılan ağaç probleminin yapısından faydalanabiliriz. Minimum yayılan ağaç problemi, şebeke eniyilenmesinde en iyi bilinen konulardan birisi olup burada ağdaki tüm düğümleri birbirine en az maliyetle bağlayan yolun bulunması amaçlanır (Çevik, Karaca ve Özkan, 2011). Şekil 6'da bir yayılan ağaç örneği verilmiştir.



Şekil 6. Yayılan ağaç örneği

Dağıtım ağı, trafo merkezinin kök düğüm olarak kabul edildiği yayılan ağaç olarak ifade edilebilir (Koutsoukis, Georgilakis ve Hatzigaryriou, 2018). Birden fazla trafo merkezi olduğunda ise bir orman yapısı oluşmaktadır.

Yayılan ağaç problemi alt tur formülasyonunun genelleştirilmesine ilişkin yapı [37-41] numaralı kısıtlarda verilmiştir (Ball, Magnanti, Monma ve Nemhouse, 1995).

G şebekesi, V düğümler ve E hatlar kümesinden oluşmaktadır ($G(V, E)$). Şebekede r kök düğümü, j ise diğer düğümleri ($j \in V \setminus \{r\}$) göstermektedir.

$$S_j = \begin{cases} 1, & j \text{ düğümü ağaçtaysa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$X_e = \begin{cases} 1, & e \text{ hattı ağaçtaysa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{e \in E(U)} X_e \leq \sum_{i \in U \setminus \{k\}} S_i \quad \text{tüm } U \subset V \text{ ve } k \in U \text{ için} \quad (37)$$

$$\sum_{e \in E} X_e = \sum_{i \in V \setminus \{r\}} S_i \quad (38)$$

$$S_r = 1 \quad (39)$$

$$X_e \in \{0,1\} \quad (40)$$

$$S_i \in \{0,1\} \quad (41)$$

(37) numaralı kısıt, ağaçta alt tur oluşmasını engellemektedir. (38) numaralı kısıt ağaç yapısını sağlar. (39) numaralı düğüm kök düğümlerin S değerini 1'e eşitler. (40) ve (41) numaralı kısıtlar ise değişkenlere ilişkin yapısal kısıtlardır.

Literatürde var olan bu yapıdan faydalanarak [37-41] kısıtlarını problemimize uyarlayalım. Kök düğümler, şebekemizdeki trafo merkezi düğümlerini (Ω^{ss}) ifade etmektedir

$$S_{jt} = \begin{cases} 1, & j \text{ düğümü } t \text{ döneminde ağaçtaysa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{l \in L} \sum_{k \in K^l} \sum_{(i,j) \in E(U)} (y_{ijkt}^l + y_{jikl}^l) \leq \sum_{i \in U \setminus \{m\}} S_{it} \quad \forall U \subset V, \forall t \in T \text{ ve } \forall m \in U \text{ için} \quad (42)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{k \in K^l} \sum_{(i,j) \in \gamma^l} (y_{ijkt}^l + y_{jikl}^l) = \sum_{j \in \Omega^N \setminus \Omega^{ss}} S_{jt} \quad \forall t \in T \quad (43)$$

$$S_{it} = 1 \quad \forall i \in \Omega^{ss}, \forall t \in T \quad (44)$$

$$S_{jt} = 1 \quad \forall j \in \Omega_t^{LN}, \forall t \in T \quad (45)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{i \in \Omega_j^l} \sum_{k \in K^l} (y_{ijkt}^l) \leq S_{jt} \quad \forall j \in \Omega^N \setminus (\Omega_t^{LN} \cup \Omega^{ss}), \forall t \in T \quad (46)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{k \in K^l} (y_{jikl}^l) \leq S_{jt} \quad \forall j \in \Omega^N \setminus (\Omega_t^{LN} \cup \Omega^{ss}), \quad \forall i \in \Omega^N, \forall t \in T \quad (47)$$

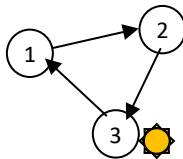
(42) numaralı kısıt ağaçta alt tur oluşmasını engelleyen alt tur eleme kısıtıdır. (43) numaralı kısıt ağaç yapısını sağlamaktadır. (44) numaralı denklem trafo merkezlerinde S değerini 1'e eşitler. (45) - (47) numaralı eşitlikler ise düğümün ağaçta olup olmadığını belirler. (42) numaralı kısıtın yalnızca önceden belirlenen $E(U)$ kümesi için yazılması önerildiğinden düğümün ağaçta olup olmadığını belirlenmesi için (45) - (47) numaralı kısıtlara ihtiyaç duyulmaktadır. Talepli düğümler ağaçtadır, talepsiz düğümde ise 1 giriş varsa ağaçtadır fakat giriş olma zorunluluğu olmadığından herhangi bir düğüme çıkış varsa kontrolünün de yapılması gerekir. Sonuç olarak radyalliğin sağlanması için (35) ve (36) numaralı kısıtlara ek olarak [42-47] numaralı kısıtlar da matematiksel model içerisinde kullanılmalıdır.

Problemimizde, şebekedeki tüm düğümlerin birbiriyle bağlantılı olma potansiyeli olmadığından $E(U)$ kümesi alt tur meydana getirebilecek hatlardan oluşacak şekilde seçilebilir. Çünkü ilgilendiğimiz şebekede mevcut ve kurulabilecek potansiyel hatlar önceden bilinmektedir. Dolayısıyla, asla oluşamayacak hatlar için gereksiz hesaplama yapılması önlenmektedir. $E(U)$ kümesinin doğru bir şekilde belirlenmesi doğru sonuca kısa sürede ulaşmak açısından oldukça önemlidir. Burada problemin ve modelin bazı özelliklerinin dikkate alınması $E(U)$ kümesinin belirlenmesini oldukça kolaylaştıracaktır.

1) Voltaj kısıtının alt tur elemesindeki rolü

(17) numaralı denklemde verilen voltaj kısıtı talepli düğümler arasında alt turların oluşumunu engelleme özelliğine sahiptir.

Aşağıda 3 adet talepli düğümden oluşan bir şebeke parçası örnek olarak verilmiştir.



Şekil 7. Voltaj kısıtının alt tur elemesindeki rolüne ilişkin bir örnek

Bu örnek Şebeke için voltaj kısıtı yazıldığında aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$Z_k^l l_{12} f_{12}^l = v_1 - v_2 \quad (48)$$

$$Z_k^l l_{23} f_{23}^l = v_2 - v_3 \quad (49)$$

$$Z_k^l l_{31} f_{31}^l = v_3 - v_1 \quad (50)$$

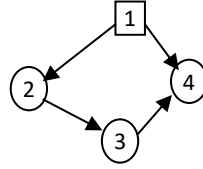
$$Z_k^l l_{12} f_{12}^l + Z_k^l l_{23} f_{23}^l + Z_k^l l_{31} f_{31}^l = 0 \quad (51)$$

DG'nin bağlandığı dđđüm hariç olmak üzere herhangi bir dđđümde talep varsa bu talebi karşılamak için akım oluŐacađından (f değer alacağından) dolayı eşitlik sifira eşit olamayacak ve voltaj kısıtı alt tur engellemeyi sağlayacaktır. Yani DG kurulamayacak en az bir talep içeren dđđüm varsa voltaj kısıtı zaten alt tur elemeyi sağlamaktadır.

KarŐılanamayan enerjiye izin verildiğinde bu kısıtın alt turu engellemeyebileceğine dikkat etmek gerekir. Çünkü talep olmasına rağmen karŐılanamayan enerjiye izin veriliyorsa $f = 0$ olabilir. Fakat kullanım deđiŐikeni (y_{srkt}^l) amaç fonksiyonuna maliyet yönlü bir katkı sağlamasına rağmen değer alıyorsa bđđük bir olasılıkla üzerinde bir akış gerçekleşmektedir. Bu modelde karŐılanamayan enerji dikkate alınmamaktadır.

2) Trafo merkezi dđđümünün alt tur elemedeki rolü

Trafo dđđümünün bulunduğu turların değerlendirilmesinde ise dđđümden trafo merkezine doğru bir akım gerçekleŐmeyeceđinden, talep dđđümlerine ise iki giriş olamayacağından dolayı alt tur oluŐmayacaktır.



Şekil 8. Trafo dđđümünün alt tur elemedeki rolüne ilişkin bir örnek

Algoritma 1: $E(U)$ kümesinin oluşturulması

Adım 1: BaŐla

Adım 2: Mđmkün alt turları listele

Adım 3: Mđmkün alt turlar kümesinden talep içeren aynı zamanda da DG kurulamayan dđđümlerin olduğu turları çıkar

Adım 4: Mđmkün alt turlar kümesinden trafo merkezi dđđümlerinin olduğu turları çıkar

Adım 5: Oluşan $E(U)$ kümesini raporla.

4. Uygulama

4.1 Uygulama 1

Bu bölümde, geliŐtirdiđimiz radyallik kısıtlarının katkısını göstermek için alan yazında hayali talep oluŐturmaya dayanan radyallik kısıt yapısı ile önerdiğimiz kısıt yapısı Munoz-Delgado ve diğ., (2015)'nin çalışmasında verilen model ve 24 dđđümlü test problemi üzerinden karŐılaŐtırılmıŐ olup sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Burada aynı koşullar altında karşılaştırma yapılabilmesi için ilk olarak Munoz-Delgado ve diğ., (2015)'nin çalışmasında verilen model kodlanmıŐ daha sonra aynı model önerdiğimiz radyallik kısıtları kullanılarak özölmüŐtür. Her iki model GAMS 23.3 programında CPLEX özücü ile Intel Core i5 2.4 GHz, 8GB RAM özelliklerine sahip bir bilgisayar kullanılarak çözölmüŐ ve aynı sonuçlara daha kısa sürede ulaşıldığı görölmüŐtür.

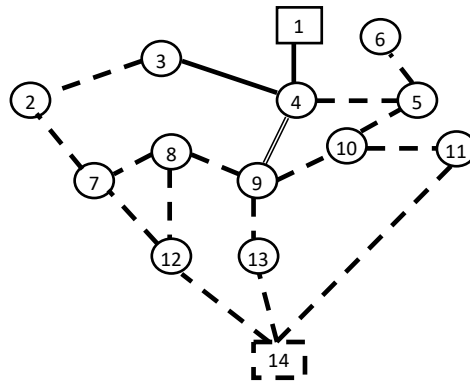
Tablo 1. Radyallik kısıtının etkisi

24 düğümlü test sistemi (Munoz Delgado ve diğ, 2015)		
	Munoz-Delgado ve diğ, 2015	Önerilen yeni radyallik kısıtları
Pozitif ek değişkenler	$f_{srktb}^l, g_{stb}^{SS}$	-
0-1 tamsayı ek değişkenler	-	S_{jt}
Ek parametre veya küme	D_{stb}	$E(U)$
Kısıt sayısı	1458	423
Çözüm süresi	126,03 sn.	69,20 sn.

Önerilen yeni radyallik kısıtı ile problemin çözüm süresinde **%45,09**'luk bir iyileşme sağlanmıştır. Kullanılan denklem sayısı ise 1035 adet azalmıştır.

4.2 Uygulama 2

Bölüm 4.1'de radyallik kısıtlarının etkinliğinin gösterilmesinin ardından geliştirilen matematiksel model, Şekil 9'da verilen şebekeye uygulanmış ve en küçük maliyetli yatırım planı Şekil 10'da verilmiştir.

**Şekil 9.** 14 düğümlü şebeke

Şekil 9'de verilen 14 düğümlü şebeke, IEEE veri setlerinden IEEE-13 test sisteminin probleme özgü şekilde uyarlanmasıyla oluşturulmuştur. Test sistemi 20 kV alınmıştır. Sistemde toplam 14 düğüm bulunmaktadır. Bunlardan, 1 numaralı düğüm mevcut trafo merkezi düğümünü, 14 numaralı düğüm ise kurulabilir trafo merkezi düğümünü göstermektedir. Kalan 12 adet düğüm ise talep düğümleridir. Tek düz çizgili gösterim, şebekede bulunan ve değiştirilmesi istenmeyen hatları, çift çizgili gösterim şu an şebekede var olan fakat değiştirilebilir hatları, kesik çizgiler ise kurulabilecek yeni hatları göstermektedir.

Geleneksel DG kurulabilecek düğümler: 3,5,6,7,9,10; rüzgâr tribünü kurulabilecek düğümler ise 8,9 ve 10 olarak seçilmiştir. Tablo 2'de verilen uzaklık değerleri IEEE 13 test sisteminin verileridir (Kersting, 1991). Modelin radyallik ve genişleme özelliklerini test etmek amacıyla 6 hat ve 1 trafo merkezi eklenmiş olup şebekedeki yeni uzaklıklar ise [0,1-1 km] aralığında rassal oluşturulmuştur.

Tablo 2. Dügümler arası uzaklık değerleri (Kersting, 1991)

Dügüm			Dügüm		
<i>i</i>	<i>j</i>	<i>l_{ij}</i> (km.)	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>l_{ij}</i> (km.)
4	3	0,1524	9	13	0,3048
4	5	0,1524	9	10	0,3048
5	6	0,3048	8	7	0,09144
3	2	0,09144	10	11	0,1524
1	4	0,6096	14	13	0,12192
8	12	0,24384	7	12	0,18288
4	9	0,6096	10	5	0,1524
9	8	0,09144	2	7	0,2286
14	12	0,30	14	11	0,02

Talep noktaları için talep oluğuğu ilk dönem için $U \sim (0,5)$ düzgün dağılımından üretilmiştir. Diğer yılların talebinin bir önceki yılın talebinden %15 fazla olacağı varsayılmıştır. Oluğuğturulan talepler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Dügümlerin talep verileri

Dügüm	Talep			Dügüm	Talep		
	<i>t</i> = 1	<i>t</i> = 2	<i>t</i> = 3		<i>t</i> = 1	<i>t</i> = 2	<i>t</i> = 3
2	4,52	5,20	5,98	8	0,52	0,60	0,69
3	2,26	2,60	2,99	9	1,23	1,41	1,62
4	4,03	4,63	5,32	10	0,00	3,05	3,51
5	1,00	1,15	1,32	11	0,00	3,80	4,37
6	0,14	0,16	0,18	12	0,00	0,00	3,78
7	4,02	4,62	5,31	13	0,00	0,00	1,04

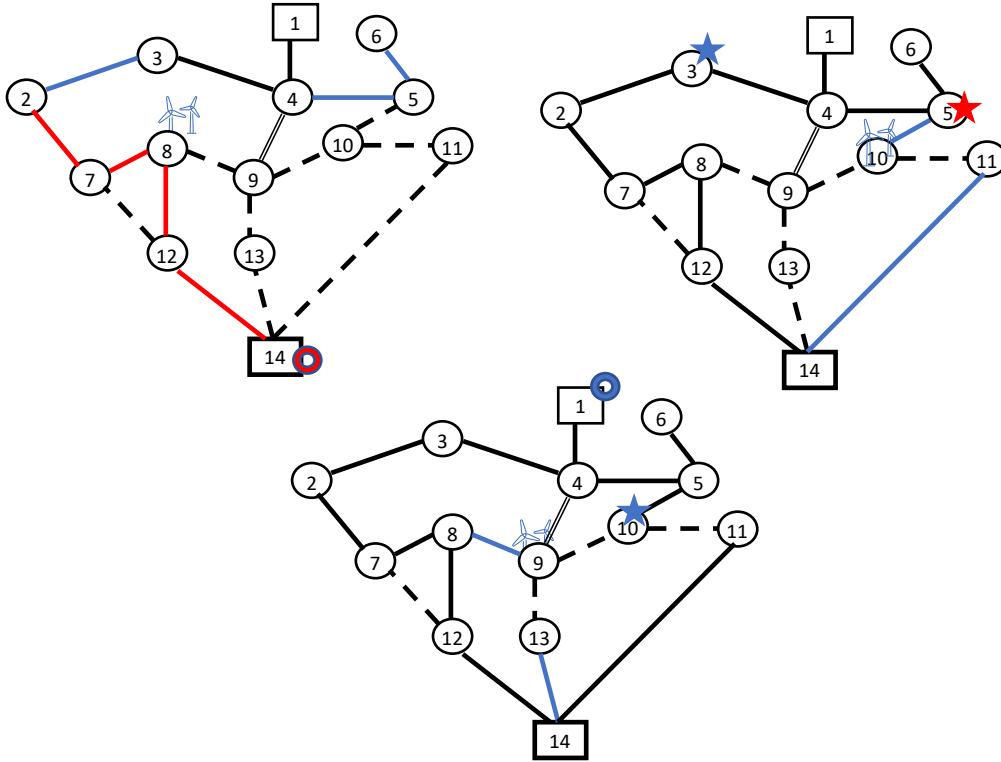
Maliyet verileri, şebeke bileşenlerinin yaşam ömürleri, voltaj parametreleri, sistem güç faktörü, faiz oranı, yük seviyeleri, yük süreleri ve DG entegrasyon seviyesi, Munoz-Delgado ve diğer, (2015)'nin makalesinden alınmıştır. Yıllık bütçe 3 milyon \$ olarak dikkate alınmıştır. Kapasite ve empedansa ilişkin veriler ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kapasite ve empedans ilişkin veriler (Munoz-Delgado ve diğer, 2015)

		Kapasite		Empedans	
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 1	Alternatif 2
Hat	NRF	16,55	20	0,557	0,478
	NAF	6,2	15,55	0,732	0,557
Transformatör	Yeni transformatör	12	15	-	-
DG	Geleneksel	1	2	-	-
	Rüzgâr	0,91	2,05	-	-

Mevcut trafo merkezinde 7,5 MVA'lık transformatör bulunmaktadır. Mevcut hatların kapasitesi 14,775 MVA ve empedansı 0,732 Ω /km'dir (Munoz-Delgado ve diğer, 2015). Emisyon maliyeti 40 \$, şebeke emisyon katsayısı 0.632, rüzgâr tribünleri için emisyon katsayısı 0.0276 ve geleneksel DG için emisyon katsayısı 0.365 olarak alınmıştır. (Bagheri, Monsef ve Lesani, 2015b)

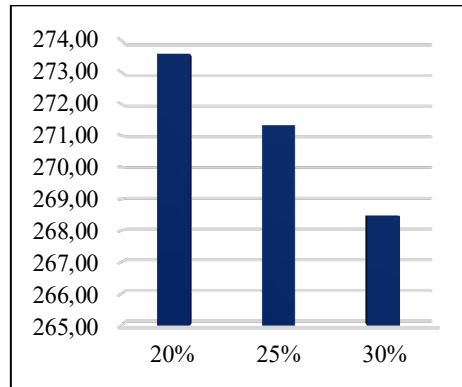
Burada mevcut problemde $t = 1$ döneminde 10,11,12 ve 13 numaralı düğümlerin, $t = 2$ döneminde ise 12 ve 13 numaralı düğümlerin talep içermediği görülmektedir. DG kurulabilir düğümler ise 3,5,6,7,8,9 ve 10 numaralı düğümlerdir.



Şekil 10. 14 düğümlü şebeke için genişleme planı

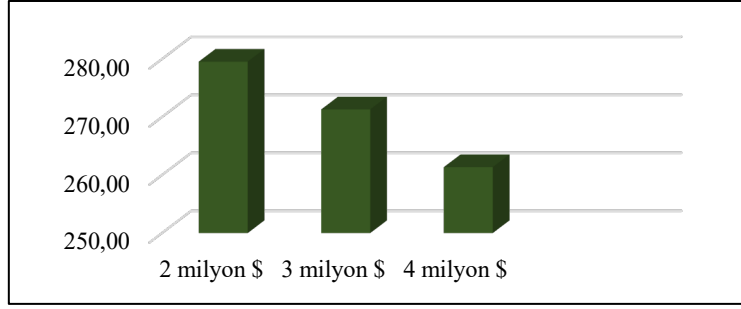
Şekil 10'da verilen üç dönemlik yatırım planında mavi renkler birinci alternatifi, kırmızı renkler ise ikinci alternatifi ifade etmektedir. Rüzgâr tribünü görseli rüzgâr DG kaynağını, yıldız görseli geleneksel DG kaynağını, halka görseli ise transformatör kurulumunu göstermektedir. Şekil 10'da verilen şebeke için toplam maliyetin bugünkü değeri 271.321.325,36 \$ bulunmuştur.

Toplam maliyetin bugünkü değeri açısından bakıldığında ise entegrasyon seviyesinin toplam maliyete etkisi Şekil 11'de, yıllık bütçenin etkisi ise Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Toplam maliyetin bugünkü değerinin DG entegrasyon seviyesine göre değişimi (x10⁶ \$)

Entegrasyon seviyesi arttıkça üretim ve emisyon maliyetlerine bağlı olarak toplam maliyetin azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde yıllık bütçe miktarı arttıkça daha fazla seçenek değerlendirilebildiğinden toplam maliyetin bugünkü değerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 12. Toplam maliyetin bugünkü değerinin yıllık bütçe miktarına göre değişimi (x10⁶ \$)

Önerilen matematiksel model bu çalışmada önerilen radyallik kısıtları ile çözüldüğünde 824,7 sn.'de, literatürdeki hayali ağ oluşturulan yaklaşım ile çözüldüğünde ise 1206,1 sn.'de en iyi çözüme ulaşmıştır. Dolayısıyla çözüm süresinde yine %31,6'lık bir iyileşme söz konusudur.

5. Sonuç ve öneriler

Dağıtım ağı genişleme planlaması, yüksek bütçeler gerektiren önemli bir yatırım problemidir. Yenilenebilir ve/veya yenilenebilir olmayan dağıtık üretim kaynaklarının planlamaya dahil edilmesi teknik, çevresel ve ekonomik bazı avantajlar getirdiği gibi problemin zorluğunu da artırmaktadır. Dolayısıyla en iyi çözümü kısa sürede bulmak için etkin matematiksel modeller geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, dağıtık üretim içeren dağıtım şebekesi genişleme problemi için yeni bir radyallik kısıtı geliştirilmiştir. Önerilen kısıt kümesi alan yazındaki mevcut yapı ile karşılaştırıldığında aynı sonuca %45,09 oranında daha kısa sürede ulaşıldığı görülmüştür. Matematiksel modelde yapılan bu iyileştirme en iyi çözüme daha hızlı ulaşabilme açısından özellikle büyük boyutlu problemlerin çözümü için önemlidir. Geliştirilen model, gerçek hayat problemlerinde karar vericilerin optimal çözüme daha kısa sürede ulaşmasını sağlayacaktır. Ayrıca, yatırım, bakım, üretim ve emisyon maliyetlerini en küçükleyen çok dönemli genişleme planının bulunması için önerilen radyallik kısıtlarının kullanıldığı karma tamsayı matematiksel bir model geliştirilmiştir. 14 düğümlü bir örnek problem için model uygulanmış ve sonuçlar verilmiştir. Geliştirilen radyallik kısıtlarının bu örnek problemde de en iyi çözüme ulaşma süresini %31,6 oranında azalttığı görülmüştür. Yıllık bütçe arttıkça daha fazla yatırım seçeneği değerlendirildiğinden toplam maliyetin azalmaktadır. Şebeke için izin verilen DG entegrasyon seviyesi arttıkça toplam maliyet yine azalmakta fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının aralıklı ve düzensiz kaynaklar olması, voltaj problemleri vb. gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının aralıklı ve düzensiz yapısı dikkate alınmamış olup bu durum gelecek çalışmalarda incelenebilir. Büyük boyutlu şebekelerde $E(U)$ kümesinin belirlenmesi zorlayıcı olabileceğinden bu kümeyi oluşturacak bir yapı araştırılabilir. İleriki çalışmalarda önerilen yaklaşımın farklı problem setleri üzerinde etkinliğinin araştırılması ve farklı tip DNEP_DG problemlerine (güvenilirliği, elektrikli araçları ve depolama sistemlerini vb. dikkate alan) uygulanması hedeflenmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Ayşenur Yurtsever, probleme ilişkin araştırmalar, literatür tarama, modelin geliştirilmesi ve makale yazımında; Berna Dengiz, şebeke modelleri teorik temelinde ve makale yazımında; Burçin Çakır, probleme ilişkin araştırmalar ve makale yazımında ve İsmail Karaoğlan, matematiksel modelin geliştirilmesi konusunda katkı sağlamıştır. Bu çalışma 1. yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

Teşekkür

Makalenin kalitesinin iyileştirilmesine yönelik katkılarından dolayı editöre ve anonim hakemlere teşekkürlerimizi sunarız. İlk yazar TÜBİTAK BİDEB programı tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Ackermann T., Andersson G. ve Söder L. (2001). Distributed generations: a definition. *Electric Power Systems Research*, 57, 195-204. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(01\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(01)00101-8)
- Alotaibi, M. A. ve Salama, M. M. (2018). An Incentive-Based Multistage Expansion Planning Model for Smart Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33(5), 5469-5485. doi: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2018.2805322>
- Asensio, M., de Quevedo, P. M., Muñoz-Delgado, G. ve Contreras, J. (2018). Joint distribution network and renewable energy expansion planning considering demand response and energy storage—Part I: Stochastic programming model. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(2), 655-666. doi: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2560339>
- Bagheri, A., Monsef, H. ve Lesani, H. (2015a). An approach for distribution network expansion planning considering reliability issues. In *2015 30th International Power System Conference*, 309-317. doi: <https://doi.org/10.1109/IPSC.2015.7827765>
- Bagheri, A., Monsef, H. ve Lesani, H. (2015b). Comprehensive distribution network expansion planning: A dynamic approach. *20th Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference*, 156-165. doi: <https://doi.org/10.1109/EPDC.2015.7330489>
- Bagheri, A., Monsef, H., & Lesani, H. (2015c). Renewable power generation employed in an integrated dynamic distribution network expansion planning. *Electric Power Systems Research*, 127, 280-296. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.06.004>
- Ball, M. O., Magnanti, T. L., Monma, C. L., and Nemhauser, G. L. (1995). *Network Models, Handbooks in OR and MS*, Vol. 7, North-Holland, Amsterdam. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/handbook/handbooks-in-operations-research-and-management-science/vol/7/suppl/C.htm>
- Çevik, O., Karaca, S. S., & Özkan, M. (2011). En küçük yayılma modeli ile İç Anadolu Bölgesinde bir kargo firmasının dağıtım güzergâhının belirlenmesi. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2011(2), 1-9. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/kmusekad/issue/10215/125548>
- Enerdata. (2021). World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2021. Erişim adresi: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>.
- Gholizadeh-Roshanagh, R., Najafi-Ravadanegh, S. ve Hosseinian, S. H. (2016). A framework for optimal coordinated primary-secondary planning of distribution systems considering MV distributed generation. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(2), 1408-1415. doi: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2590425>
- Haffner, S., Pereira, L. F. A., Pereira, L. A. ve Barreto, L. S. (2008). Multistage model for distribution expansion planning with distributed generation—Part I: Problem formulation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(2), 915-923. doi: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2008.917916>
- Hemmati, R., Hooshmand, R. A. ve Taheri, N. (2015). Distribution network expansion planning and DG placement in the presence of uncertainties. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73, 665-673. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.05.024>
- Huang, Y., Alvehag, K. ve Söder, L. (2014). Distribution network expansion planning considering distributed generation using probabilistic voltage constraints. In *2014 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, 1-6. doi: <https://doi.org/10.1109/PMAPS.2014.6960581>
- Jahromi, M. E., Ehsan, M. ve Meyabadi, A. F. (2012). A dynamic fuzzy interactive approach for DG expansion planning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43(1), 1094-1105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.06.017>

- Kabirifar, M., Fotuhi-Firuzabad, M., Moeini-Aghtaie, M. ve Pourghaderia, N. (2019). Joint Distributed Generation and Active Distribution Network Expansion Planning Considering Active Management of Network. *27th Iranian Conference on Electrical Engineering*, 702-708. doi: <https://doi.org/10.1109/IranianCEE.2019.8786665>
- Kanwar, N., Gupta, N., Niazi, K. R., Swarnkar, A. ve Bansal, R. C. (2017). Simultaneous allocation of distributed energy resource using improved particle swarm optimization. *Applied energy*, 185, 1684-1693. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.093>
- Karimi-Arpanahi, S., Jooshaki, M., Moeini-Aghtaie, M., Abbaspour, A. ve Fotuhi-Firuzabad, M. (2019). A Flexibility-Oriented Model for Distribution System Expansion Planning Studies. In *2019 27th Iranian Conference on Electrical Engineering*, 737-741. doi: <https://doi.org/10.1109/IranianCEE.2019.8786398>
- Kersting, W. H. (1991). Radial distribution test feeders. *IEEE Transactions on Power Systems*, 6(3), 975-985. doi: <https://doi.org/10.1109/59.119237>.
- Koutsoukis, N. C., Georgilakis, P. S. ve Hatziargyriou, N. D. (2017). Multistage coordinated planning of active distribution networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33(1), 32-44. doi: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2699696>
- Lima, T. D., Tabares, A., Arias, N. B., & Franco, J. F. (2021). Investment & generation costs vs CO2 emissions in the distribution system expansion planning: A multi-objective stochastic programming approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 131, 106925. doi: <https://doi.org/10.1016/J.IJEPES.2021.106925>
- Malee, R. K., Jain, P., Gupta, P. P., ve Dharampal, S. S. (2016). Distribution system expansion planning incorporating distributed generation. In *2016 IEEE 7th Power India International Conference*, 1-6. doi: <https://doi.org/10.1109/POWERI.2016.8077273>
- Muñoz-Delgado, G., Contreras, J. ve Arroyo, J. M. (2015). Joint expansion planning of distributed generation and distribution networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(5), 2579-2590. doi: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2014.2364960>
- Prakash, K., Lallu, A., Islam, F. R., ve Mamun, K. A. (2016). Review of power system distribution network architecture. In *2016 3rd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering*, 124-130. doi: <https://doi.org/10.1109/APWC-on-CSE.2016.030>
- Santos, S. F., Fitiwi, D. Z., Shafie-khah, M., Bizuayehu, A. W. ve Catalão, J. P. S. (2017). Optimal sizing and placement of smart-grid-enabling technologies for maximizing renewable integration. In *Smart Energy Grid Engineering*, 47-81. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805343-0.00003-6>
- Seta, F. D. S., de Oliveira, L. W. ve de Oliveira, E. J. (2020). Distribution System Planning with Representation of Uncertainties Based on Interval Analysis. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 31(2), 494-510. doi: <https://doi.org/10.1007/s40313-020-00573-0>
- SHURA (2020). 2030 Yılına Doğru Türkiye'nin Optimum Elektrik Üretim Kapasitesi. Erişim adresi: https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2020/09/rapor_TR_web_.pdf
- Siahi, M., Porkar, S., Abbaspour-Tehrani-fard, A., Poure, P. ve Saadate, S. (2010). Competitive distribution system planning model integration of DG, interruptible load and voltage regulator devices. *Iranian Journal of Science and Technology*, 34(B6), 619. Erişim adresi: https://ijste.shirazu.ac.ir/article_829.html
- Soroudi, A., Ehsan, M. ve Zareipour, H. (2011). A practical eco-environmental distribution network planning model including fuel cells and non-renewable distributed energy resources. *Renewable energy*, 36(1), 179-188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.06.019>
- Sun, K., Liu, Y., He, D., Wang, H., Wang, L. ve Sun, Z. (2018). Coordinated Planning of Distributed Generation and Distribution Networking Considering Network Reconfiguration. In *2018 International Conference on Power System Technology*, 2227-2232. doi: <https://doi.org/10.1109/POWERCON.2018.8601935>

Sun, Q., Wu, Z., Gu, W., Zhu, T., Zhong, L., & Gao, T. (2021). Flexible expansion planning of distribution system integrating multiple renewable energy sources: An approximate dynamic programming approach. *Energy*, 226, 120367. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120367>

TAS (2018). Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi Raporu. Erişim adresi: <http://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/TAS%20TR.pdf>.

Theo, W. L., Lim, J. S., Ho, W. S., Hashim, H. ve Lee, C. T. (2017). Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: Comparison of numerical and mathematical modelling methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 531-573. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.063>

Ugranlı, F. (2019). Analysis of renewable generation's integration using multi-objective fashion for multistage distribution network expansion planning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 106, 301-310. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.10.002>

Wu, Z., Liu, Y., Gu, W., Zhou, J., Li, J. ve Liu, P. (2018). Decomposition method for coordinated planning of distributed generation and distribution network. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(20), 4482-4491. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.2050>

Xing, H., Cheng, H., Zhang, L., Zhang, S. ve Zhang, Y. (2015). Second-order cone model for active distribution network expansion planning. In *2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 1-5. doi: <https://doi.org/10.1109/PESGM.2015.7286204>