

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

CİLT/VOL

04

SAYI/ISSUE

02

YIL/YEAR

20

20





ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

YEAR: 2020

VOLUME: 4

NUMBER: 2



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Owner / Sahibi

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

metegundogan@ybu.edu.tr

General Publication Management / Genel Yayın Yönetimi

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

eraslan@ybu.edu.tr

Editor-in-Chief / Editör

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

babek.erdebili2015@gmail.com or berdebili@ybu.edu.tr

Associate Editors / Yardımcı Editörler

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

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

Editorial Board / Editör Kurulu

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Küçükkoç Asst. Prof. Dr. Mahdi Fathi	University, Turkey Department of Information Technology and Decision Sciences, University of North Texas, USA	mahdi.fathi@unt.edu
Asst. Prof. Dr. Borzou Rostami	Lazaridis School of Business and Economics at Wilfrid Laurier University, Canada	brostami@wlu.ca
Asst. Prof. Dr. Mojtaba Ghiyasi	Faculty of Industrial and Management, Shahrood University, Iran	mog@shahroodut.ac.ir
Asst. Prof. Dr. Mohsen Afsharian	Institute of Management Control and Business Accounting, Technische Universität Braunschweig, Germany	m.afsharian@tu-braunschweig.de
Asst. Prof. Dr. Hamidreza Ahady Dolatsara	School of Management, Clark University, USA	hahadydolatsara@clarku.edu
Asst. Prof. Dr. Farzad Sattari Ardebili	Department of Management, Azad Ardebil University, Iran	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. Burcu Özcan	Department of Industrial Engineering, Kocaeli University, Turkey	burcu.ozcan@kocaeli.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



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Inst. Nihan Çağlayan

Department of Management and Organization,
Ahi Evran University, Turkey

nihancaglayan@ahievran.edu.tr

Res. Asst. Selin Çabuk

Department of Industrial Engineering, Cukurova
University, Turkey

selincabuk@cu.edu.tr

Advisory Board / Danışma Kurulu

Prof. Dr. Mete
Gündoğan

Department of Industrial Engineering, Ankara
Yildirim Beyazıt University, Turkey

metegundogan@ybu.edu.tr

Prof. Dr. Ergün Eraslan

Department of Industrial Engineering, Ankara
Yildirim Beyazıt University, Turkey

eraslan@ybu.edu.tr

Prof. Dr. Emel Kızılkaya
Aydoğan

Department of Industrial Engineering, Erciyes
University, Turkey

ekaydogan@erciyes.edu.tr

Prof. Dr. Tahir
Hanalioglu

Department of Industrial Engineering, TOBB
ETU University, Turkey

tahirkhaniyev@etu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet Kabak

Department of Industrial Engineering, Gazi
University, Turkey

mkabak@gazi.edu.tr

Prof. Dr. Serpil Erol

Department of Industrial Engineering, Gazi
University, Turkey

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.



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

INDEXING DATABASES

	 World Catalogue of Scientific Journals	
EBSCO	WCOSJ	ASOS
		
Index of Copernicus	InfoBase Index	Root Indexing
		
Academic Journal Index	ResearchBib	Google Scholar
		
SOBIAD	ROAD	MIAR
		
ESJI	ERIHPLUS	DergiPark
		
Scholar Article Journal Index	DRJI	



CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Research Articles / Araştırma Makaleleri

- Entegre lojistik sistemler için yeni bir onarım ağı yapısı önerisi
İsmail Bıçakçı, Yusuf Tansel İç, Esra Karasakal, Berna Dengiz 409-423
- Investigating Covid 19 data for G20, EU and OECD countries via using time series analysis & cluster analysis
Mehmet Güray ÜNSAL, Reşat KASAP 424-432
- Ergonomic personnel-task scheduling problem: A medium voltage insurance production application
Hacı Mehmet ALAKAŞ, Mehmet PINARBAŞI, İsmet SÖNMEZ, Ahmet YÜKSEL 433-448
- Tedarikçi seçiminde kullanılan çok kriterli karar verme metotları
Adem PINAR 449-478
- Organizasyon firması için COVID-19 pandemi döneminde aylık personel atama ve çözelgeme probleminin çözümü: bir uygulama
Ahmet CÜREBAL, Serkan KOÇTEPE, Tamer EREN 479-493
- Türkiye'nin elektrik üretiminde doğalgaz talep tahminleri
Çetin Önder İNCEKARA 494-508
- Application of r-vine copula method in Istanbul stock market data: A case study for the construction sector
Hajar FARNOUDKIA, Vilda PURUTÇUOĞLU 509-518
- Bir Vakıf Üniversitesinin Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Öğrencilerine İlişkin Öznel İş Yükü ve Akademik Motivasyon Düzeyleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması
Pelin TOKTAŞ, Gülin Feryal CAN, Aysel GÜVEN 519-535
- Demir Çelik Sektöründe Yatırım Kararının Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ile Analizi
Burcu ÖZCAN, Elif YILMAZER 536-548
- Araç rotalama probleminin sezgisel algoritmalar ile çözülmesi: Bir boya fabrikasında uygulama
Harun Reşit YAZGAN, Serap ERCAN CÖMERT, Ecem Nükte KILIÇ 549-563



Journal of Turkish Operations Management

Entegre lojistik sistemler için yeni bir onarım ağı yapısı önerisi

İsmail BIÇAKÇI¹, Yusuf Tansel İÇ^{2*}, Esra KARASAKAL³, Berna DENGİZ⁴

¹ARTEC GMBH, Munich, Germany

e-mail: ismailbicakci@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1934-5071>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: yustanic@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9274-7467>

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: koktener@metu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-4095-1858>

⁴Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye

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

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 07.06.2020

Revize: 09.08.2020

Kabul: 21.08.2020

Anahtar Kelimeler:

Onarım seviyesi analizi,
Entegre lojistik destek,
Bakım-onarım faaliyetleri,
Onarım ağı yapıları

Özet

Askeri silah sistemleri gibi ilk yatırım maliyeti yüksek olan sistemlerde onarım seviyesi analizi son yıllarda kritik ve karmaşık bir karar verme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Onarım seviyesi analizinde, onarım faaliyetleriyle ilgili kararlarının verilmesinde onarım ağı yapılarından faydalanılmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle literatürde yer alan onarım ağı yapıları gözden geçirilmiştir. Ardından onarım seviyesi analizi için daha elverişli olabilecek bir ağı yapısına ilişkin öneriler sunulmuştur.

A new repair network structure proposal for integrated logistics systems

Article Info

Article History:

Received: 07.06.2020

Revised: 09.08.2020

Accepted: 21.08.2020

Abstract

In recent years, the level of repair analysis has become critical and complex decision making problem especially in systems with high initial investment costs such as military weapons systems. In the level of repair analysis, repair network structures are used to decide repair activities. In this study, repair network structures are reviewed from the extant literature. Then, suggestions for repair network structures that could be more convenient for level of repair analysis are presented.

Keywords:

Level of repair analysis,
Integrated logistics support,
Maintenance and repair activities,
Repair network structures

1. Giriş

Düşük maliyetli ürünler arızalandığında çoğu durumda onarımlarını yapmak yerine yenisini almak daha maliyet etkin olabilmektedir. Ancak; uçak, gemi, enerji santralleri gibi ürün yapısı karmaşık ve yüksek ilk yatırım maliyetli sistemler arızalandığında, arızanın giderilmesinden başka seçenek bulunmamaktadır. Bunun yanında arıza ile karşılaşma sayısı arttıkça sistemlerin hem işletme ve idame maliyetleri artmakta, hem de arızalı kaldıkları sürelerde sistemlerin kullanımı mümkün olmamaktadır.

Bu tip karmaşık yapı ve yüksek maliyetli sistemler, ömür devri boyunca kavramsal tasarım, tasarım, geliştirme, üretim, işletme ve envantere çıkarılma gibi farklı süreçlerinden geçerler (ALP-10, 2011). Örneğin savunma sanayi ürünlerinde projelerin özelliklerine göre değişkenlik göstermekle birlikte, genel olarak silah sistemleri ortalama 30-40 yıllık bir kullanım süresi düşünülerek tasarlanır ve üretilir. Bu süre içerisinde hem kapsadığı süre, hem de maliyet açısından en büyük payı alan süreç işletme ve lojistik destek sürecidir (Berkowitz, Gupta, Simpson ve McWilliams, 2005).

Sistemlerinin tam kapasite hizmet verebilmesi için ömür devri sürelerince bakımlarının düzenli olarak yapılıyor olması gerekmektedir. Uygulanan bakımlar, (1) Planlı/Önleyici Bakımlar ve (2) Düzeltici Bakımlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (S3000L, 2014). Planlı/Önleyici Bakımlar sistemin görev/operasyon başarısını ve sistemin güvenilirlik seviyesini idame ettirmek için yapılmaktadır (S4000P, 2018). Plansız Bakımlar ise sistemde beklenmedik bir arıza olduğunda arızanın giderilmesi için yapılan faaliyetlerin toplamıdır. Sistemlerin hizmet dışı kalması genelde beklenmedik zamanlarda karşılaşılan arızalar nedeniyle gerçekleşir. Bu gibi hizmet dışında kalma durumunda kullanıcıların katlandıkları maliyetler de oldukça büyük olmaktadır.

Yüksek maliyetlere karşılık gelmesi nedeniyle bu tip sistemlerin ömür devri maliyetleri kullanıcılar için büyük önem taşımaktadır. Satın alma ile ilgili verilen kararlarda ilk edinim maliyetinin yanında, ömür devri maliyeti her geçen gün daha da fazla dikkate alınmaktadır (Ferrin ve Plank, 2002). Amerika Birleşik Devletleri (MIL-STD-1388-1A) ve İngiltere Savunma Bakanlığı tarafından yayımlanmış (DEF STAN 00-60 (Part 0), 2002) askeri standartlarda silah sistemlerinin tedariklerine ilişkin olarak, ilk edinim maliyetleri yerine toplam ömür devri maliyetinin değerlendirilmesi hususuna yer verilmektedir (Basten, Schutten ve Van der Heijden, 2009).

Ömür devri maliyetlerinin her geçen gün önem kazanması gerçeği sistem üreticilerini daha düşük ömür devri maliyetli üretim yapmaya yöneltmekte ve bunu başaran sistem üreticileri rakiplerine göre büyük avantajlar elde etmektedir. Bir sistemin düşük ömür devri maliyetine sahip olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla sistem üreticileri ömür devri maliyet analizi çalışmaları yapmaktadırlar. Bu çalışmalar hem sözleşme gereksinimi olarak kullanıcılar ile paylaşılır, hem de kullanım dönemi lojistik destek kapsamında ihtiyaç sahibi ve üretici arasında yapılabilecek sözleşmeler için belirli bir alt yapıyı oluşturur.

Ömür devri maliyet analizinin en erken safhalarda yapılması çok önemlidir. Örneğin, kavram tasarım çalışmalarına kadar verilen tasarım ve lojistik kararların sistemin ömür devri maliyetinin %85'ini taahhüt altına alındığı bilinmektedir (ALP-10, 2011). Bunun yanında, ömür devri maliyet analizi (1) sistemin performans ve kullanılabilirlik gereksinimlerinin karşılanabilmesi için üretim programına uyulabilmesi amacıyla geliştirilen alternatiflerin maliyetlerinin belirlenmesi, (2) farklı tasarım ve destek seçeneklerinin toplam ömür devri maliyetine etkisinin tahmin edilebilmesi ve (3) seçilen tasarımın maliyet tahmininin ömür devrinde ilerledikçe iyileştirilebilmesi için de kullanılmaktadır (ALP-10, 2011).

Bu makaleye konu olan sistemler çok yüksek ömür devri maliyetlerine sahiptirler. Yapıları ve üstlendikleri sorumluluklar nedeniyle sistemlerin en üst seviyede hazır bulunma oranına sahip olmaları büyük önem arz etmektedir. Herhangi bir nedenden dolayı hizmet dışı kalmaları durumu ile karşılaşıldığında ise sonuçlar çok ciddi boyutlara ulaşabilmektedir. Örnek vermek gerekirse; bir hidro-elektrik enerji santralinde jeneratör arızası ile karşılaşılması durumunda elektrik üretimi olumsuz bir şekilde etkilenecek ve çok yüksek kurulum maliyetine sahip sistemin tam kapasiteli kullanımı mümkün olmayacaktır. Diğer bir örnek olarak, sahil güvenlik helikopterinin arama kurtarma vincinin arızalanması, sorumlu olduğu bölgede yapılacak bir arama kurtarma faaliyetinde etkin görev alamamasına neden olacak ve hayati tehlikesi olan kazazedelere ihtiyaç duyduğu desteği sağlayamayacaktır. Yine başka bir örnek olarak, firkateyn sınıfı bir savaş gemisinin ana makinesinde yer alan bir alt sistemin arıza yapması tüm gemiyi atıl hale getirebilecek ve yüzlerce kişinin üzerinde görev yaptığı, milyonlarca dolar değerindeki platformun kullanılmamasına neden olacaktır.

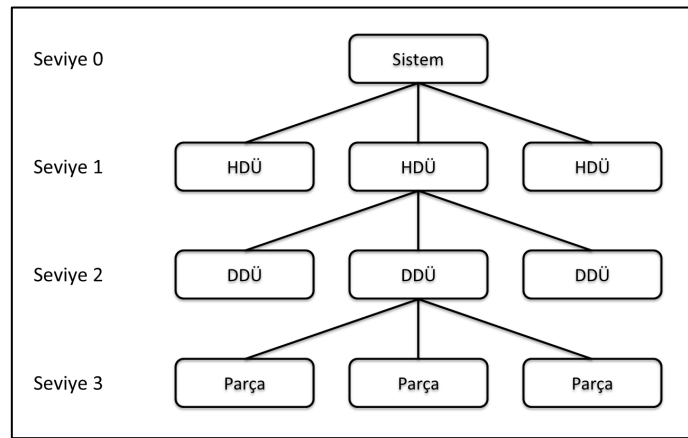
Diğer taraftan, teknoloji alanında her geçen gün yaşanan gelişmeler ile birlikte tasarlanan ürünlerin yapısı daha da karmaşık bir hale gelmektedir. Kaynakların etkin bir şekilde kullanılması ve aynı zamanda sistemlerin yüksek güvenilirlik ve hazır bulunma oranlarına sahip olmaları için ihtiyaç sahibi makamlar ile üretici firmaların çeşitli mühendislik çalışmaları yapması gerekmektedir. Bu kapsamda, sistemlerin lojistik destek gereksinimlerinin en etkin bir şekilde planlanıp geliştirilebilmesi için sistem üreticileri tarafından Entegre Lojistik Destek (ELD) çalışmaları yürütülmüştür.

ABD Savunma Bakanlığının 5000.39 sayılı direktifi ELD'yi şu şekilde tanımlamaktadır: “Entegre Lojistik Destek, tasarlanmış bir sistemin ömür devrinin kullanım aşamasında asgari bir maliyetle desteklenebilmesi için sistemin desteğini etkilemek için kullanılan yönetsel ve teknik yaklaşımdır” (Blanchard ve Fabrycky, 1998).

Yapılan ELD çalışmaları, sistemlerin güvenilirlik, kullanılabilirlik, bakım, desteklenebilirlik ve test edilebilirlik açısından kalitesini arttırmak amacıyla yapılır (ALP-10, 2011). ELD faaliyetleri kapsamında üretici tarafından Lojistik Destek Analizi Kayıtları, Teknik Dokümantasyon, Yedek Parça Desteği, Yer Destek ve Test Ekipmanı Desteği, Kullanıcı ve Bakım Eğitimleri vb. ürün ve hizmetler hazırlanır ve kullanıcıların hizmetine sunulur.

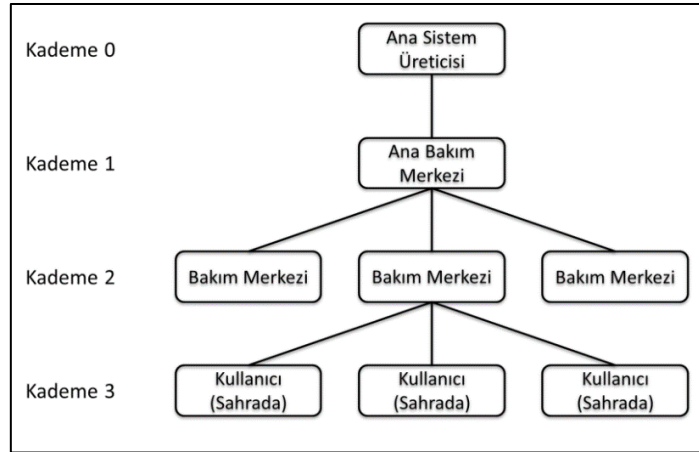
Kullanıcılar, ELD kapsamında sunulan ürün ve hizmetler sayesinde kazandıkları yetenekler ile garanti dönemi sonrasında sistemlerin idamesini kendi imkânları ile gidermeyi tercih edebilir. İdame ihtiyacını kendi imkânları ile gidermek yerine kullanıcı bu ihtiyacı üreticiden aldığı bakım onarım hizmeti ile de giderebilir. Çoğu zaman hizmet satışının mal satışından daha karlı olduğu bilinmektedir (Koudal, 2006; Murthy, Solem ve Roren, 2004; Oliva ve Kallenberg, 2003). Bu nedenle, üretici firmalar bu tip hizmet sözleşmeleri iyi birer gelir kaynağı olarak görmektedirler. Bu doğrultuda değerlendirildiğinde, karlılığın artırılabilmesi için bir sistemin ömür devri boyunca maruz kalacağı bakım-onarımlara ait maliyetler, tasarım aşamasından itibaren değerlendirilmesi gereken önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karmaşık alt bileşenlere sahip olan sistemler, ürün ağacı yapısıyla modellenen birçok bileşenden oluşmaktadır. Sistemler, Şekil 1’de belirtildiği şekilde baba-oğul ilişkisine sahip çok kademeli ürün ağacı yapısına sahiptirler. Her bir sistem bir veya birden fazla “Hatta Değiştirilebilir Ünite (HDÜ)”den, her HDÜ de bir veya birden fazla “Depoda Değiştirilebilir Ünite (DDÜ)”den oluşmaktadır. Bu kavramların her biri ürün ağacında bir seviyeye karşılık gelmektedir. Sistemlerde meydana gelen arızalar genellikle arızalı HDÜ’nün sökülmesi ve çalışan bir yedeği ile değiştirilmesi ile giderilir. Sökülen arızalı HDÜ onarılmakta ya da hurdaya ayrılmaktadır. HDÜ hurdaya ayrılacaksa yerine yenisinin tedarik edilmesi gerekmektedir. Eğer onarımı yapılacak ise HDÜ’nün arızalı DDÜ’sünün çalışan bir yedeğiyle değiştirilmesi gerekir. Bu durumda da DDÜ’nün de onarımı ya da hurdaya ayrılması söz konusu olur.



Şekil 1. Ürün ağacı yapısı

Gündeme gelen diğer bir konu ise bu onarımların nerede yapılacağıdır. Karşılaşılan arızaların onarımları veya yedek parçaların stoklanması sistem için tanımlanmış bir onarım ağında bulunan bakım noktalarında yapılmaktadır. Bu tip çok aşamalı onarım kademesi ağ yapısının örnek gösterimi Şekil 2’de verilmiştir. Onarımın belirli bir yerde yapılması kararı, katlanılması gereken sabit ve değişken maliyetleri gündeme getirmektedir. Ulaşım maliyetleri, yedek parça maliyetleri, işçilik maliyetleri gibi maliyetler değişken maliyetlere; özel test ekipmanları, tesis maliyetleri, yedek parça tutma maliyetleri gibi maliyetler de sabit maliyetlere örnek olarak verilebilir.



Şekil 2. Onarım ağ yapısı

Yukarıda yapılan açıklamalardan anlaşılacağı gibi hem kullanıcılar, hem de üreticiler açısından bir sistemin ömür devri maliyetinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Ömür devri maliyeti ve hazır bulunma oranı üzerinde en büyük payı beklenmedik anlarda karşılaşılan arızalara ait onarımlar almaktadır (Basten, 2010). Para ve zaman açısından değerlendirildiğinde bu tip arızaların en düşük maliyetle giderilmesi için sistem tasarım aşamasından başlayarak bazı kararların alınması gerekmektedir.

Askeri uygulamalardaki entegre sistemlerde ise, çalışır durumdaki bir sistemin arızalanması durumunda ilk olarak bu sistemin tekrar nasıl çalışır duruma getirileceğinin belirlenmesi gerekir. Bir arıza ile karşılaşıldığında arızanın çeşidine ya da ihtiyaç duyulacak yedek parça vb. ihtiyaçlara bakılmaksızın ilk olarak arızalı HDÜ sistemden sökülür ve mevcut ise çalışan bir yedeği ile değiştirilir. Eğer yedekte çalışır durumda bir HDÜ yok ise o zaman sistem arıza giderilene kadar hizmet dışı kalır. Hizmet dışı kaldığı sürede operasyonda aktif kullanılmamasından kaynaklanan maliyetler ortaya çıkacaktır. Bu nedenle sistemin uzun süre hizmet dışı kalması istenmez. Arızanın en kısa zamanda giderilebilmesi için arızalanan HDÜ'nün neden arızalandığı tespit edilir ve onarım için ya HDÜ'nün kendisi ya da arızalı HDÜ/DDÜ'sü ilgili onarım kademesine sevk edilir.

Arızalı alt bileşenin onarılıp onarılmaması ile ilgili kararın verilmesi ve bu işlemlerin hangi onarım kademesinde yapılacağı sorularının cevabı yapılan "Onarım Seviyesi Analizi" ile belirlenir. Onarım Seviyesi Analizi, sistemin ömür devri süresince en düşük potansiyel ömür devri maliyetine sahip olmasını hedefler (Basten, Van der Heijden ve Schutten, 2011a). ABD Savunma Bakanlığı tarafından Onarım Seviyesi Analizi şu şekilde tanımlanmaktadır: "Ekonomik, ekonomik olmayan ve duyarlılık değerlendirmelerinin yanı sıra harekât hazırlık gereklilikleri ile elde edilen kısıtlamalara dayanarak, bakım konseptlerinin geliştirilmesinde, tasarımın etkilenmesinde ve arızalı bileşenlerin onarılacağı veya elden çıkarılacağı bakım seviyesini belirlenmesinde kullanılan analitik bir metodolojidir." (MIL-HDBK-1390, 2015).

Bu çalışmada, onarım seviyesi analizinde kullanılan ağ yapıları ele alınmaktadır. İkinci bölümde literatürdeki onarım seviyesi analizinde kullanılan ağ yapıları tanıtılmakta ve çalışmalarda yer verilen ağ yapılarının işleyiş şekilleri detaylandırılmaktadır. Üçüncü bölümde, günümüzdeki karmaşık entegre lojistik sistemlerinde literatürdeki ağ yapılarına nazaran daha kullanışlı olacağı düşünülen ağ yapısının nasıl olması gerektiğine dair öneriler getirilmektedir. Dördüncü bölümde ise çalışmada ulaşılan sonuçlar sunulmaktadır.

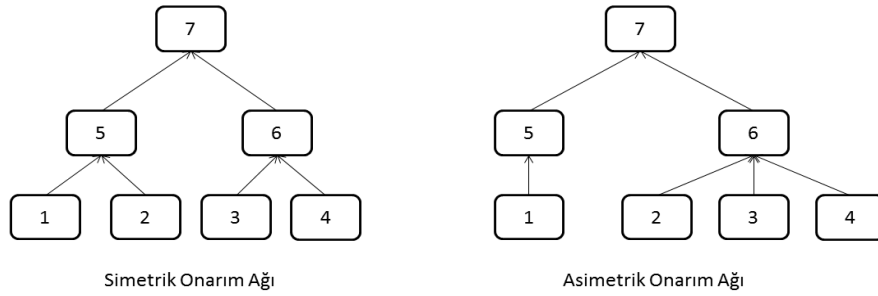
2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde onarım seviyesi analizi problemine ilişkin kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. İlk onarım seviyesi analizi modeli Barros (1998, 2001) tarafından önerilmiştir. Bu modelde aynı kademede onarılan alt sistemlerin aynı kaynakları kullandıkları varsayılmıştır. Saranga ve Dinesh Kumar (2006), Barros tarafından önerilen modelden farklı olarak her alt parçanın kendi maliyetlerinin göz önüne alınarak değerlendirildiği ağ yapısını kullanmışlardır. Çalışmada, üç seviyeli yapıya sahip bir sistem ve üç kademeli bir onarım ağı ele alınmıştır. Basten ve diğ. (2009), Barros (1998) ve Saranga ve Dinesh Kumar (2006) tarafından önerilen ağ yapısını geliştirerek yeni bir ağ yapısı geliştirmişlerdir. Basten ve diğ. (2011a), Basten ve diğ. (2009)'nin önerdiği yapıyı, aynı kademe seviyesinde yer alan farklı noktalarda farklı kararların verilebileceği şekilde genişletmiş ve problemi enküçük akış problemi olarak yeniden tasarlamıştır. Basten, Van Der Heijden ve Schutten (2011b), Basten ve diğ. (2009)'nin geliştirdiği modele yönelik başarısız onarım olasılığı, hata bulunmama olasılığı, sonlu kaynak kapasitesi, aynı alt sisteme ait birden fazla hata modu ve onarım hizmetinin dış kaynaktan tedariki gibi

bazı faktörleri tartışmışlar ve ilk üç eklentiye test etmişlerdir. Brick ve Uchoa (2009), onarım seviyesi analizi probleminde iki seviyeli yapıya sahip bir sistem ve iki kademeli bir onarım ağı ele almışlar.

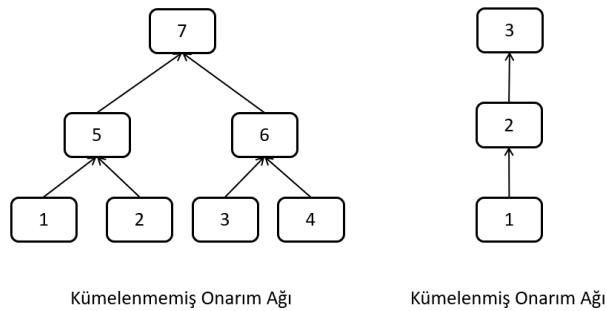
Literatürde yer alan çalışmalar onarım seviyesi analizi problemini farklı açılardan ele almaktadır. Çalışmalarda ele alınan ağ yapısı özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

- **Asimetrik onarım ağı:** Bir onarım ağı simetrik yapıya sahip olmayabilir. Operasyonel gereklilikler nedeniyle onarım tesisleri farklı sayıda sistemi desteklemek durumunda kalabilir. Örneğin; yasa dışı göçün daha yoğun olduğu bölgede konuşlandırılacak sahil güvenlik botunun sayısı diğer bölgelere nazaran daha fazla olacak ve dolayısı ile aynı bölgede yer alan onarım tesisi daha fazla bota destek sağlayacaktır. Simetrik ve asimetrik onarım ağı arasındaki fark şematik olarak Şekil 3'de gösterilmektedir. Basten ve diğ. (2011a, 2011b) çalışmalarında asimetrik onarım ağını ele almışlar ve asimetrik yapıli onarım ağlarının kullanılması ile %7'nin üzerinde maliyet avantajının sağlandığını göstermişlerdir (Basten ve diğ., 2011a). Bu nedenden dolayı, onarım seviyesi analizi için geliştirilecek modellerin asimetrik onarım ağını dikkate alabilmesi büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3. Simetrik ve asimetrik onarım ağı

- **Kümelenmiş onarım ağı:** Ağ yapısını basitleştirmek için aynı onarım seviyesinde yer alan tüm tesisler için verilerin toplanması ve alınan bir kararın o seviyede yer alan tüm tesisler için aynı şekilde kullanılması durumudur. Kümelenmiş onarım ağının simgesel gösterimi Şekil 4'de gösterilmiştir. Kaynaklarda yaygın olarak kümelenmiş onarım ağı kullanılmaktadır ancak, bu durum geliştirilen modellerin gerçek hayat problemlerine tam olarak cevap verememesine neden olmaktadır. Brick ve Uchoa (2009) tarafından önerilen modelde arızalı bileşenler onarım ağında belirli bir hiyerarşik yapı benimsenmeden tüm lokasyonlara gönderilebilmektedir. Bu sayede onarım ağında yer alan her bir onarım tesisi için ayrı kararların alınması mümkün hale gelmekte ve daha maliyet etkin çözümler elde edilebilmektedir. Bunun yanında, Basten ve diğ. (2011a, 2011b) de çalışmalarında kümelenmemiş onarım ağını kullanmaktadırlar.



Şekil 4. Kümelenmemiş ve kümelenmiş onarım ağı

- **Ürün kırılımı:** Sistemlerin ürün ağaç yapısı baba-oğul ilişkisine sahip çok kademeli ürün kırılımı şeklinde tasarlanmaktadır. Tasarlanan sistemin yapısı karmaşıklaştıkça ağaç yapısında yer alan ürün kırılım seviyesi de aynı şekilde artmaktadır. Ürün kırılım seviyesinin artması onarım seviyesi analizi probleminin yapısını daha karmaşık bir hale getirmesi nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Genelde silah sistemleri gibi karmaşık sistemler çok seviyeli ürün kırılımına sahiptir. Bu gibi sistemler için yapılacak onarım seviyesi analizinde çok seviyeli ürün kırılımı ağ yapısının dikkate alınması gerekir. Aksi şekilde geliştirilen modeller gerçek hayat problemlerine tam olarak yanıt veremeyecektir. Baros (1998), Baros ve Riley (2001) ve Brick ve Uchoa (2009) tarafından yapılan çalışmalarda iki seviyeli

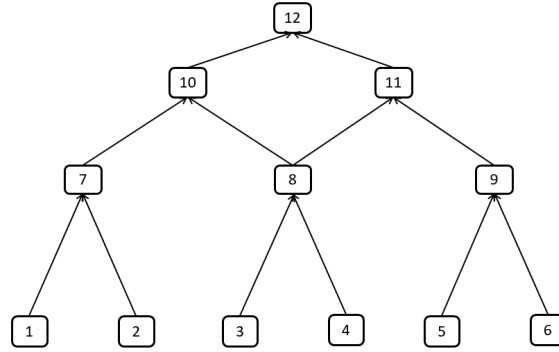
ürün kırılımı kullanılmıştır. Saranga ve Kumar (2006) çalışmalarında üçlü ürün kırılımını ele alırken Basten ve diğ. (2009, 2011a, 2011b) ise çoklu ürün kırılımını modellemişlerdir.

- **Onarım kademe seviyesi:** Onarım ağı birden fazla kademe seviyesinden oluşmaktadır. Örnek bir onarım ağının gösterimi Şekil 2’de verilmiştir. Amerikan ordusunda yapılan bakım onarım faaliyetleri genel olarak kullanıcı (organizational level), birlik (intermediate level) ve depo (depot level) seviyesi olmak üzere üç seviyeden oluşmaktadır (MIL-HDBK-1390, 2015). İngiltere ordusunda ise onarım ağı dört farklı kademe seviyesinden (JSP-886, 2014) oluşmaktadır. Onarım kademe seviyelerinde icra edilecek bakım faaliyetlerinin kapsamı ihtiyaç duyulan özel ekipmanın, tesislerin, personelin, teknik verilerin vb. özelliklerine göre belirlenmektedir. Kaynaklarda, Brick ve Uchoa (2009), Baros (1998) ve Baros ve Riley (2001), Saranga ve Kumar (2006) onarım kademe seviyesi olarak sırasıyla bir, iki ve üç seviyelerini ele almışlardır. İdeal bir onarım seviyesi analizinin çoklu onarım kademe seviyesine sahip olan onarım ağlarını da kapsayabilmesi gerekir. Bu nedenle onarım ağında yer alan kademe seviye sayısı onarım seviyesi problemi açısından büyük önem taşımaktadır. Çoklu onarım kademesini ele alan çalışmalara Basten ve diğ. (2009, 2011a, 2011b) tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir.
- **Onarım seçenekleri:** Onarım Seviyesi Analizi, ürünün arızalanması durumunda, onarılması ile ilgili kararın verilmesi ve bu işlemlerin hangi onarım kademesinde yapılması gerektiğini belirler. Onarım seviyesi analizi kapsamında verilen kararlar aşağıda belirtilmiştir.
 - **Hurda (Discard):** Arızalı bileşen hurdaya ayrılır ve yenisi tedarik edilir.
 - **Onarım (Repair):** Arızalı bileşen kendisi ya da arızalı bir alt bileşeni yenisi ile değiştirilmek suretiyle onarılır.
 - **Sevk (Move):** Arızalı bileşen onarım ağında bir üst kademeye sevk edilir. Sevk edilen bileşen için bir üst kademede de onarım seçeneğinin seçilmesi gerekmektedir. Onarım ağında yer alan en üst seviye için bir üst seviyeye sevk seçeneği bulunmamaktadır (Basten ve diğ., 2011a).

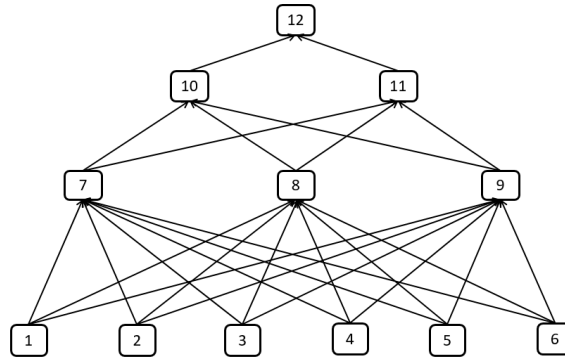
Brick ve Uchoa (2009) tarafından yapılan çalışmada hurda ve onarım seçenekleri olmak üzere iki onarım seçeneği ele alınmıştır. Kaynaklarda bunun haricinde kalan çalışmalarda her üç onarım seçeneği de kullanılmaktadır.

- **Kapasite kısıtı:** Gerçek hayat problemlerinde kapasite her zaman zorlayıcı bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Onarım ağında yer alan tesislerin de belirli bir kapasitesi vardır. Kapasite kısıtlarını göz ardı etmek, gerçek hayat problemlerine cevap vermeyen basitleştirici bir yaklaşımdır. Onarım seviyesi analizinin amaçlarından biri de onarım için kullanılacak gerekli kaynağın nerede konuşlanacağına belirlenmesidir. Gerçek hayat problemlerine cevap verebilmek için onarım seviyesi analizi çalışmalarında kaynak kısıtlamaları dikkate alınmalıdır. Brick ve Uchoa (2009) ile Basten ve diğ. (2011a, 2011b) tarafından yapılan çalışmalarda kapasite kısıtı bulunmaktadır.
- **Onarım ağının esnekliği:** Sistemler görev şartları ve tasarım özelliklerine göre farklı onarım ağlarına tabi olabilirler. Yukarıda da bahsedildiği gibi bazı onarım ağlarının yapısı asimetrik olabilir. Bu gibi durumlarda onarım ağının zorunlu değişikliklere müsaade edebilecek bir esneklikte olması gerekir. Onarım ağının esnekliği Şekil 3’de belirtilen simetrik ve asimetrik ağlar arasındaki hareket serbestisi açısından sağlanabilen avantajın kullanılabilmesini sağlar. Kaynaklarda yer alan çalışmalar arasında Brick ve Uchoa (2009) ve Basten ve diğ. (2011a, 2011b) tarafından önerilen modeller asimetrik onarım ağının kullanımına olanak sağlayabilmektedir.
- **Hurda seçeneği için sabit maliyet:** Hurdaya ayırma kararı verilen bir bileşenin hurda işlemlerinin yapılabilmesi için çeşitli maliyetlere katlanması gerekebilir. Özellikle, askeri amaçlar için tasarlanmış ekipmanların elden çıkarılma aşamasında, çevre güvenliğinin sağlanması, doğanın korunması ve ekipmanların askeri yönlerinin kaldırılması gibi hususlar için sabit maliyet gerektiren ilave önlemler alınır. Ömür devri süreçlerinde bu durum genelde ihmal edilir (ALP-10, 2011). Onarım seviyesi analizi çalışmalarında hurda işlemleri için yapılan ve sabit maliyet gerektiren bu gibi durumların dikkate alınması gerekir. Kaynaklarda Baros (1998) ve Baros ve Riley (2001) haricinde kalan tüm çalışmalarda hurda seçeneği için sabit maliyet öngörülmektedir.
- **Tek / Çoklu yukarı akış seçeneği:** Onarım ağında yer alan tesisler, kademe seviyelerine göre bir üst seviyedeki onarım tesislerine malzeme sevki yapabilmektedirler. Bir onarım ağında, alt kademe seviyesindeki bir tesis üst kademe seviyesinden sadece tek bir tesise malzeme sevki yapabiliyorsa bu onarım ağı “tekli yukarı akış (single upstream)” seçenekli onarım ağı şeklinde tanımlanır. Bu durum aynı onarım kademe seviyesinde yer alan farklı tesisler için mükerrer yatırım harcamalarının yapılmasına neden olabilmektedir. Arızalanan parçaların birden fazla üst kademe onarım tesisine (multiple upstream) sevk edilebilmesi seçeneğinin bulunduğu durumdaki onarım ağlarına ise “çoklu

yukarı akış (multiple upstream)” seçenekli onarım ağı denmektedir. Tekli ve çoklu yukarı akış seçenekli onarım ağlarının simgesel gösterimi sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir. Kaynaklarda yer alan çalışmalarda önerilen modellerin tümü sadece tekli yukarı akış seçenekli onarım ağları için çözüm sağlayabilmektedirler.



Şekil 5. Tek yukarı akış seçenekli onarım ağı



Şekil 6. Çoklu yukarı akış seçenekli onarım ağı

Onarım ağındaki tesisler, özellikle de aynı kademe seviyesinde yer alan tesisler, benzer özelliklere sahip olduğundan çoklu yukarı akış seçeneğine sahip onarım ağlarının büyük maliyet avantajı getireceği görülebilmektedir. Bilindiği gibi malzeme sevk işlemleri yatırım maliyetlerine oranla çok daha düşük bütçeler ile gerçekleşir. Normal şartlarda onarım ağındaki tesislerde kapasite sıkıntısı yaşanmamasına rağmen, onarım ağının sadece tek yukarı akış seçeneğine müsaade ediyor olması nedeniyle, aynı sabit maliyetin farklı tesislerde de yapılması durumu ile sıkça karşılaşılır. Bununla birlikte, çoklu yukarı akışa izin verildiği durumlarda ise örneğin belirli bir makine için yapılacak yatırımın birden fazla tesiste yapılması yerine bir tesis için yapılması yeterli olabilecektir. Öte yandan, çoklu yukarı akış seçeneğine sahip onarım ağlarının toplam malzeme sevk maliyetini arttıracakları öngörülebilmektedir ancak, değişken maliyetlerden çok daha önemli bir maliyet kalemi olan sabit maliyetlerde ise önemli ölçüde tasarrufa olanak sağlayacaktır. Bu yaklaşımın kullanılması ile aynı veya farklı kademe seviyesinde yer alan tesisler için yapılacak yatırımların yetersiz kullanımından kaçınılacak ve daha uygun maliyetli çözümler sağlanabilecektir.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaların karşılaştırılması

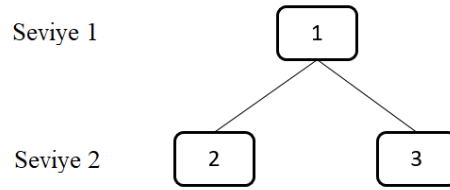
#	Problem Özellikleri	Barros (1998), Barros ve Riley (2001)	Saranga ve Kumar (2006)	Brick ve Uchoa (2009)	Basten vd. (2009)	Basten vd. (2011a, b)
1	Asimetrik Onarım Ağı	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet
2	Kümelenmiş Onarım Ağı	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır
3	Ürün Kırılımı	İki	Üç	İki	Çoklu	Çoklu
4	Onarım Kademe Seviyesi	İki	Üç	Bir	Çoklu	Çoklu
5	Onarım Seçenekleri	S, O, H	S, O, H	O, H	S, O, H	S, O, H
6	Kapasite Kısıtı	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Evet
7	Onarım Ağına Esnekliği	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Evet
8	Farklı Hata Türlerini Dikkate Alma	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Hayır
9	Hurda Seçeneği için Sabit Maliyet	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet

10	Tek/Çoklu Yukarı Akış Seçeneği	Tek	Tek	Tek	Tek	Tek
----	--------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----

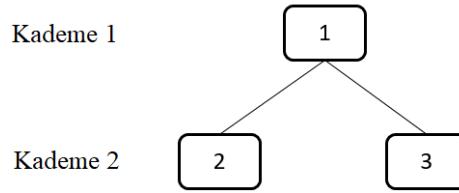
Onarım seviyesi analizinde kullanılacak modelin çoklu yukarı akış seçenekli onarım ağlarına çözüm getirebilmesi daha düşük maliyetli çözümler ortaya çıkarabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Yukarıda yapılan açıklamalar kapsamında, literatürde yer alan çalışmaların ele aldıkları özelliklere göre karşılaştırmalı gösterimi Tablo 1’de verilmiştir.

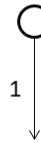
Onarım seviyesi analizi için literatürde yer alan çalışmalar arasında sadece Basten ve diğ. (2011a) tarafından önerilen model asimetrik onarım ağını ele alabilmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi gerçek hayatta karşılaşılan durumlarda onarım ağı her zaman simetrik bir yapıya sahip değildir. Bu nedenle, önerilen modelin asimetrik onarım ağı için de çözüm getirebilmesi büyük önem taşımaktadır. Basten ve diğ. (2011a) tarafından önerilen modelin detaylı anlatımına yönelik örnek ağ yapısı ve ürün yapısının şematik gösterimi Şekil 7 ve 8’de verilmiştir. Onarım ağında yer alan düğümler Şekil 9-13’te verilmektedir. Basten ve diğ. (2011a) çalışmasında önerilen modelin anlatımı için, Şekil 7’de verilen 2 seviyeli ve toplam 3 bileşenli bir ürün yapısı ile Şekil 8’de verilen 2 seviyeli ve toplam 3 onarım tesisinin bulunduğu bir onarım ağı yapıları kullanılmıştır.



Şekil 7. Örnek ürün yapısı

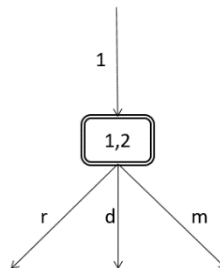


Şekil 8. Örnek onarım ağı



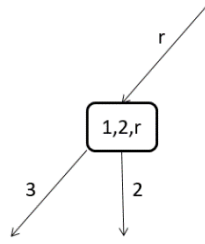
Bileşen 1’de karşılaşılan arızayı temsil etmektedir

Şekil 9. Kaynak düğümü



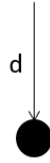
Bileşen 1’in 2 numaralı onarım tesisinde alacağı kararı temsil etmektedir. “r” onarım kararını, “d” hurda kararını ve “m” bir üst kademeye sevk kararını temsil etmektedir.)

Şekil 10. Karar düğümü



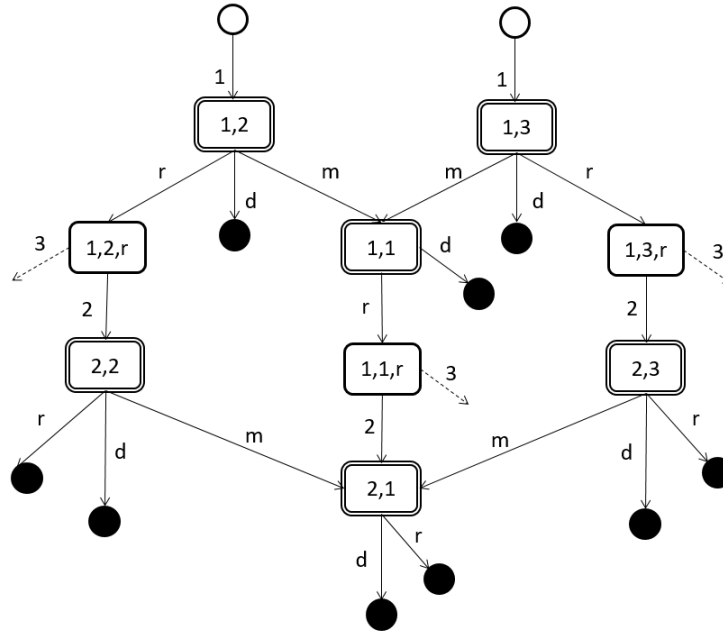
Bileşen 1'in 2 numaralı onarım tesisinde onarım kararına ilişkin gösterimdir. 3 ve 2 sırasıyla 1 numaralı bileşenin alt bileşenlerini temsil etmektedir.

Şekil 11. Dönüşüm düğümü



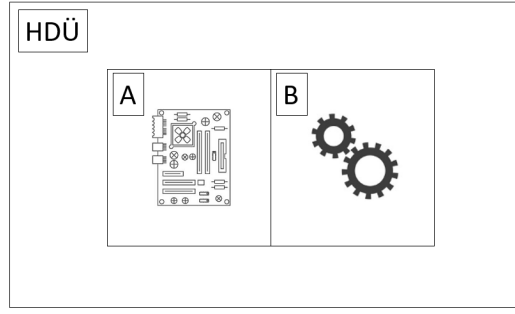
Bileşenin hurdaya ayrıldığını temsil etmektedir

Şekil 12. Bitiş düğümü



Şekil 13. Ağ yapısı

Basten ve diğ. (2011a)'nin çalışmasında ele alınan asimetrik onarım ağında yer alan tesisler bir üst onarım kademesinde sadece tek bir yukarı akış seçeneğine sahiptirler ve bir üst kademeğe sevk edilmesi ihtiyacı doğduğunda arızalı bileşenler sadece bağlı oldukları bu üst kademedeki tesise sevk edilebilmektedir. Ancak, bu özellik gerçek hayatta karşılaşılan problemlere çözüm getirmesi açısından yetersiz kalmaktadır. Gerçek hayatta onarım tesisleri, yatırım maliyetlerinin yüksek olması, fiziki alan yetersizliği, personel sayısının ve niteliğinin yetersiz olması gibi kısıtlardan dolayı belirli konularda uzmanlık geliştirmek durumunda kalırlar. Örnek vermek gerekirse; doğası gereği bir silah sisteminde hem mekanik hem de elektronik parçalar bulunmaktadır. Sistemin bir HDÜ'sü içerisinde (A) DDÜ'sü elektronik bir ekipman, (B) DDÜ'sü de ile mekanik bir ekipman olsun.



Şekil 14. Örnek HDÜ

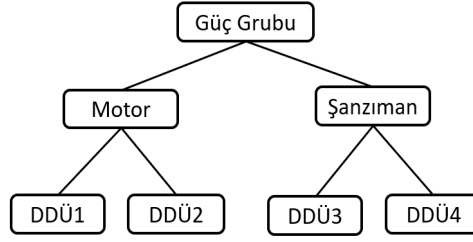
(A) elektronik ekipmanı ile (B) mekanik ekipmanının onarımı için farklı ham maddeye, farklı tezgahlara ve farklı iş gücü niteliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Zaman içerisinde kısıtlı kaynakların etkin bir şekilde kullanılması maksadıyla onarım aşında yer alan onarım tesislerinden (X) onarım tesisi elektronik ekipmanlar konusunda uzmanlaşırken, (Y) onarım tesisi mekanik konularda uzmanlaşmış olsun. Sevk maliyetlerinin yatırım maliyetlerine oranla çok düşük olduğu göz önüne alındığında arızalı parçaların uzmanlık alanlarına uygun tesislere sevk edilmesinin, yatırım maliyetlerini ve dolayısıyla onarım maliyetlerini azaltacağı ortadadır. Bu durumda (A) parçası elektronik ekipmanlar konusunda uzman olan (X) onarım tesisine sevk edilirken, (B) ekipmanı mekanik konularda uzman olan (Y) tesisine sevk edilecektir. Benzer bir durum Türk Silahlı Kuvvetleri'nde de yaşanmaktadır. Örneğin; füze sistemleri karşı saldırılardan korunmak için hareketli özelliğe sahip olmalıdırlar. Bu da füze sistemlerinin tekerlekli araçların üzerine monte edilmesini gerektirmektedirler. Sistemin bütününe dikkate aldığımızda sistemde yer alan atış kontrol sisteminin hassas bir elektronik kartı onarımı ile kamyon süspansiyon sisteminin onarımı farklı uzmanlıklar gerektirmektedir. Bu nedenle elektronik ekipmanlar farklı onarım tesislerine, mekanik parçalar ise farklı onarım tesislerine gönderilmektedir.

Bir diğer örnek de sahil güvenlik botlarından verilebilir. Sert hava şartlarının ve yasa dışı göçün nispeten düşük olduğu (ABC) bölgesinde çelik yapıli sahil güvenlik botları tercih edilmektedir. Hem hava ve deniz şartlarının nispeten daha iyi olduğu hem de yüksek oranda yasa dışı göçle mücadele edilen (DEF) bölgesinde ise fiber tekneler tercih edilmektedir. Bu durum çelik botların tercih edildiği (ABC) bölgesinde fiber, fiber botların tercih edildiği (DEF) bölgesinde çelik botların kullanılmadığı anlamına gelmemektedir. Sayıca az da olsa bu bölgelerde diğer sınıf botlar da kullanılır. Mesafe açısından değerlendirildiğinde bot sayıları ile orantılı olarak (ABC) bölgesinde yer alan onarım tesisinin çelik botlar üzerinde, (DEF) bölgesinde yer alan onarım tesisinin fiber botlar üzerinde uzmanlaşması; (ABC) bölgesinde bulunan fiber teknelerin (DEF) bölgesinde bulunan onarım tesisine, (DEF) bölgesinde yer alan çelik botların da (ABC) bölgesine sevk edilmesi daha maliyet etkin olabilir.

Basten ve diğ. (2011a)'nin kullanmış olduğu ağ yapısında yukarıda bahsedilen husus dikkate alınmamıştır. Gerekli yatırımların yapılması ile tüm onarım tesislerinin aynı kabiliyetlere sahip olabilecektir. Şekil 14'de verilen örnek üzerinden gidilecek olursa Basten ve diğ. (2011a)'nin önerdiği modele göre (A) ve (B) ekipmanı tek bir onarım tesisine gönderilebilmektedir. Ancak, sevk maliyetlerinin yatırım maliyetlerine oranla çok düşük olduğu göz önüne alındığında, arızalı parçaların uzmanlık alanlarına uygun tesislere sevk edilmesinin, yatırım maliyetlerini, onarım maliyetlerini ve dolayısıyla sistemlerin ömür devri maliyetlerini azaltacağı değerlendirilmektedir. Dolayısıyla yeni bir ağ yapısına ihtiyaç ortaya çıkmaktadır. Bu yeni ağ yapısının, arızalı bileşenlerin bir üst kademe seviyesinde farklı onarım tesislerine sevk edilebilme seçeneklerini sunabilmesi gerekir. Bu şekildeki yeni bir ağ yapısı modeli sonraki bölümde bir örnekle açıklanmaktadır.

3. Çoklu yukarı akışlı onarım ağı

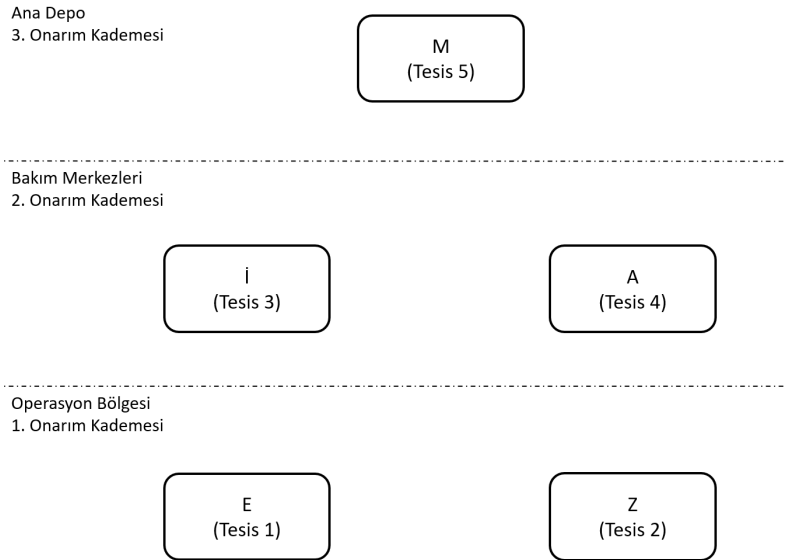
Farklı lokasyonlarda konuşlanmış olan zırhlı bir muhabere aracına ait güç grubu, motor ve şanzıman olmak üzere iki farklı HDÜ'den oluşan bir sistemi ele alalım. Her bir HDÜ ikişer adet DDÜ'den oluştuğunu ve güç grubuna ait ürün ağacının Şekil 15'de gösterildiği gibi olduğunu varsayalım.



Şekil 15. Güç grubu ürün ağacı

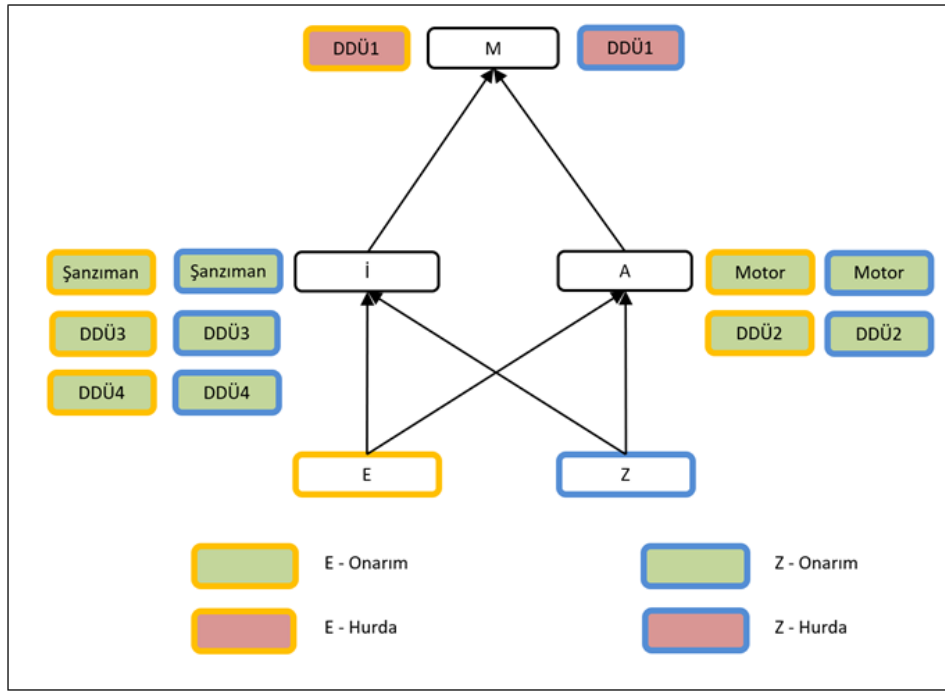
Söz konusu zırhlı araçlar (E) ve (Z) olmak üzere iki farklı şehirde konuşlanmış durumda olsun. Araçların bulunduğu tesislerde mevcut imkanlar dahilinde güç grubunun sökme takma işlemleri yapılabilir olsun.

Zırhlı araçların tabi olduğu onarım ağı üç kademededen oluşacaktır. Araçların konuşlu olduğu (E) ve (Z) bölgesindeki tesisler 1. Onarım Kademesini (Kullanıcı Seviyesi - Operator Level), (İ) ve (A) bölgesinde yer alan Bakım Merkezleri 2. Onarım Kademesini (Birlik Seviyesi - Intermediate Level) ve (M) bölgesinde yer alan Ana Bakım Merkezi 3. Onarım Kademesini (Depo Seviyesi - Depod Level) oluşturacaktır. Buna göre onarım ağının yapısı Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Örnek onarım ağı

Yapılan onarımlara ilişkin değişken ve sabit olmak üzere iki çeşit maliyet oluşacak ve bu maliyetler onarım kademelerine göre değişiklik gösterecektir. Buna göre Basten ve diğ.'nin (2011a) ağ yapısı kullanılarak oluşturulan tek yukarı akış seçenekli onarım ağı yapısı Şekil 17'de gösterilmiştir. Söz konusu gösterimde (E) bölgesinde konuşlu sisteme ait bileşenler sarı, (Z) bölgesinde konuşlu sisteme ait bileşenler ise mavi çerçeve ile işaretlenerek belirtilmiştir. Dolgu rengi olarak belirlenen yeşil ve kırmızı sırasıyla onarım ve hurda onarım seçeneklerini ifade etmektedir.



Şekil 18. Çoklu yukarı akış seçenekli onarım ağı modeli

İki farklı ağ yapısı örneği karşılaştırıldığında “tek yukarı akış seçenekli” onarım ağından farklı olarak bu çalışmada önerilen “çoklu yukarı akış seçenekli” onarım ağında (E) bölgesinde yer alan bileşenlerin (A) bölgesine, (Z) bölgesinde yer alan bileşenlerin (İ) bölgesine sevk edilebildiği görülmektedir.

Çalışmamızda önerilen “çoklu yukarı akış seçenekli” onarım ağı temel alınarak modellenecek onarım seviyesi analizi problemlerinin çözülebilmesi için yeni matematiksel modellerin önerilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Önerilecek yeni matematiksel modellerden (çoklu yukarı akış seçenekli onarım ağı temel alınarak tanımlanmış) elde edilecek sonuçlarının Basten ve diğ.’nin (2011a) önerdiği modele (tekli yukarı akış seçenekli onarım ağı temel alınarak tanımlanmış) göre daha etkin sonuçlar sunması beklenmelidir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, “çoklu yukarı akış seçenekli” onarım ağının temel alındığı, onarım seviyesi analizlerinde kullanılmak üzere yeni matematiksel modellerin geliştirilmesi gelecek dönem çalışma konusu olarak önerilebilir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. Sonuçlar

Yüksek maliyetlere karşılık gelmesi nedeniyle karmaşık ürün ağ yapısına sahip sistemlerin ömür devri maliyetleri kullanıcılar için büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, bir sistemin ömür devri boyunca maruz kalacağı maliyetler tasarım aşamasından itibaren değerlendirilmesi gereken önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında üstlendikleri sorumluluklar nedeniyle de bu tip sistemlerin en üst seviyede hazır bulunma oranına sahip olmaları büyük önem arz etmektedir.

Arızalı alt bileşenin onarılıp onarılmaması ile ilgili kararın verilmesi ve bu işlemlerin hangi onarım kademesinde yapılacağı sorularının cevabı onarım seviyesi analizi sonucunda ile verilebilir. Bu çalışma kapsamında verilen örnekte çoklu ürün kırılımına sahip bir sistem ve çoklu onarım kademe seviyesine sahip bir onarım ağı dikkate alınmıştır. Örnek problem kapsamında verilen sisteme ait onarım seviyesi analizi tekli ve çoklu yukarı akış seçenekli olmak üzere iki farklı yapıya sahip onarım ağı için ayrı ayrı gösterilmiştir. Verilen örnekten görüleceği gibi çoklu yukarı akış seçenekli onarım ağı dikkate alındığında onarım kararları daha gerçekçi bir şekilde verilebilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde ömür devri süresince katlanılacak maliyetlerin de daha düşük olması beklenmektedir. Dolayısıyla onarım seviyesi analizine ilişkin önerilecek modellerin çoklu yukarı akış seçeneğini dikkate alacak şekilde kurgulanmasının ömür devri maliyetlerinin en küçüklenmesi açısından büyük katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

İlerleyen dönemki çalışmalarda çoklu yukarı akış seçenekli matematiksel modeller geliştirilip farklı örnekler üzerinde uygulanarak Basten ve diğ.’nin (2011a) önerdiği tek yönlü yukarı akış seçenekli modelin çözümü ile

karşılaştırılabilir. Yazarlar, çoklu yukarı akış seçenekli matematiksel modellerin gerçek hayat problemleri için daha kullanışlı çözümler üretebileceğini değerlendirmektedirler.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; İsmail Bıçakçı, problemin ortaya konması, literatür taraması ve makalenin oluşturulmasında, Yusuf Tansel İç, Esra Karasakal ve Berna Dengiz ise kavramsal çerçevenin oluşturulması, makalenin sunumu ve makale yazım kontrolünün yapılarak düzenlenmesinde katkı sağlamışlardır.

Teşekkür

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

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

ALP-10 - NATO Guidance on Integrated Logistics Support for Multinational Armament Programmes (2011). NATO Standardization Agency (NSA).

Barros L. L. (1998). The optimization of repair decisions using life-cycle cost parameters, *IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry* 9, 403–413. doi:<https://doi.org/10.1093/imaman/9.4.403>

Barros, L., Riley, M. (2001). A combinatorial approach to level of repair analysis, *European Journal of Operational Research* 129, 242–251. doi:[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00221-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00221-6)

Basten, R. (2010). *Designing logistics support systems - Level of repair analysis and spare parts inventories* (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://research.utwente.nl/en/publications/designing-logistics-support-systems-level-of-repair-analysis-and->

Basten, R.J.I., Schutten, J.M.J & Van der Heijden, M.C. (2009). An efficient model formulation for level of repair analysis, *Annals of Operations Research* 172, 119–142. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-009-0516-5>

Basten, R.J.I., Van der Heijden, M.C. & Schutten, J.M.J. (2011a). A minimum cost flow model for level of repair analysis. *International Journal of Production Economics* 133 (1), 233–242. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.03.025>

Basten, R.J.I., Van der Heijden, M.C. & Schutten, J.M.J. (2011b). Practical extensions to a minimum cost flow model for level of repair analysis. *European Journal of Operational Research* 211, 333-342. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.015>

Berkowitz, G. D., Gupta, J. N., Simpson, J. T. & McWilliams, J. B. (2005). Defining and implementing performance based logistics in government. *Defence Acquisition Review Journal*, 255-267. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/235158342_Defining_and_Implementing_Performance-Based_Logistics_in_Government

Blanchard, B. S. & Fabrycky, W. J. (1998). *Systems Engineering and Analysis. Third edition.* United States: Prentice Hall.

Bouachera,, T., Kishk, M. & Power, L. (2010). Level of Repair Analysis based on Genetic Algorithm with Tabu Search. *World Congress on Engineering*, London, U.K.

Brick, E. S. & Uchoa, E. (2009). A facility location and installation or resources model for level of repair analysis. *European Journal of Operational Research, Issue 192(2)*, 479–486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.08.043>

DEF STAN 00-60 (Part 0) Application of Integrated Logistics Support (2002). Ministry of Defence – United Kingdom. Erişim adresi: <ftp://ftp.iks-jena.de/pub/mitarb/lutz/standards/dstan/00/060/00000500.pdf>

Ferrin, B. G. & Plank, R. E. (2002). Total cost of ownership models: An exploratory study. *Journal of Supply Chain Management*, 18-29. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2002.tb00132.x>

Gutin, G., Rafiey, A., Yeo, A. & Tso, M. (2006). Level of repair analysis and minimum cost homomorphisms of graphs. *Discrete Applied Mathematics 154*, 881–889. doi: https://doi.org/10.1007/11496199_46

JSP 886 - Defence Logistics Support Chain Manual - Volume 7 Supportability Engineering (2014). United Kingdom Ministry of Defence.

Koudal, P. (2006). The Service Revolution in Global Manufacturing Industries. Deloitte Services LP. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/267268075_The_Service_Revolution_in_Global_Manufacturing_Industries

MIL-HDBK-1390 Level of Repair Analysis (2015). Department of Defence - United States of America. Erişim adresi: http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-1300-1499/MIL-HDBK-1390_52260/

MIL-STD-1388-1A Logistics Support Analysis (1983). Department of Defence - United States of America. Erişim adresi: http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1300-1399/MIL_STD_1388_1A_552/

Murthy, D. N. P., Murthy, D. N. P., Solem, O. & Roren, T. (2004). Product warranty logistics: Issues and challenges. *European Journal of Operational Research, 156(1)*, 110-126.

doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00912-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00912-8)

Oliva, R. & Kallenberg, R. (2003). Managing the transition from products to services. *International Journal of Service Industry Management*, 160–172. doi: <https://doi.org/10.1108/09564230310474138>

S3000L - International Procedure Specification for Logistics Support Analysis (2014). AeroSpace and Defense Industries Association of Europe. Erişim adresi: <https://www.s3000l.org/>

S4000P - International Specification for Developing and Continuously Improving Preventive Maintenance (2018). AeroSpace and Defense Industries Association of Europe.

Erişim adresi: http://www.s4000p.org/docs/S4000P_Issue_2.0.pdf

Saranga, H. & Dinesh Kumar, U. (2006). Optimization of aircraft maintenance/support infrastructure using genetic algorithms - Level of repair. *Annals of Operations Research*, 91-106. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-006-7374-1>

Shields, M. D. & Young, S. M. (1991). Managing product life cycle costs: an organizational model. *Journal of cost management*, 39-52. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/313724559_Managing_product_life_cycle_costs_an_organizational_model



Journal of Turkish Operations Management

Investigating Covid 19 data for G20, EU and OECD countries via using time series analysis & cluster analysis

Mehmet Güray ÜNSAL^{1*}, Reşat KASAP²

¹Department of Statistics, Faculty of Art and Science, Uşak University, Uşak, Turkey
e-mail: mgunsal@gazi.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-7081-9060>

²Department of Statistics, Faculty of Science, Gazi University, Ankara, Turkey
e-mail: rkasap@gazi.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9306-3101>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 02.11.2020
Revised: 21.11.2020
Accepted: 22.11.2020

Keywords

Covid 19,
G20,
EU,
OECD,
Statistical analysis

Abstract

Shortly after Covid 19 virus first appeared, it turned into an epidemic that threatened the health of the world. Many countries have difficulties to control the spread of the virus. It causes many casualties and also affects the countries from a socio-economic aspect. Therefore, it is an important issue that needs to be examined in detail. In this study, the detailed research for the Covid 19 data of G20 (Group of 20), EU (European Union) and OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) countries is carried out by using different statistical methods. It is aimed to present different perspectives for researchers by discussing important findings and results.

1. Introduction

2019 novel coronavirus (Covid 19) is officially appeared at the end of 2019 and spread to Europe, Asia, America, Africa and the other continents in a short time. It is a kind of virus that settles in the lungs and shows signs of difficulty in breathing, it is also highly contagious (Medica News Today, 2020). In a short time, it becomes one of the major health problems in the world. Many developed and developing countries have been adversely affected by this disease. Member countries of Group of 20 (G20), European Union (EU) or Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) consisted a large part of the world economy and population have a hard time struggling with Covid 19 pandemic.

Because of being a pandemic worldwide, Covid 19 became a very important issue that attracted researchers in multi-disciplinary fields. One of these fields is Statistical Science which let the researchers work on the data of the novel coronavirus infections. It is clear that Covid 19 causes both health problems and socio-economic effects for many developed and developing countries in Asia, Europe, America and Africa. From this aspect, Covid 19 has several effects on the organizations such as G20, EU and OECD. Economical developments, social developments, and health care systems of the world countries will be obviously affected at the end of this pandemic. Because of these reasons, it is important to classify the affected countries. Furthermore, making comments on their time series data structure is very crucial issue to understand the spreading of the virus and this kind of analysis has a vital role for forecasting its final effects.

In this study, the member countries of G20, EU or OECD are investigated in terms of Covid 19 effect by using important statistical indicators (total number of cases, total number of recovered cases and total number of deaths) of the pandemic. Different statistical methods such as time series analysis and cluster analysis are used separately to provide different perspectives for the researchers who work related to the pandemic.

The paper is structured by the following sections: Section 2 investigates the statistical methods (time series analysis and cluster analysis, respectively) used in this study. The results of both time series analysis and cluster analysis are given in Section 3. Section 4 implies the results and makes comments on them to evaluate different perspectives for the researchers worked on the pandemic.

2. Methodology

In this section, the statistical methods used in the study are presented. The methods investigated in the analysis part of the study are time series analysis and cluster analysis, respectively. The part of time series analysis contains both linear and non-linear models such as Box-Jenkins, Holt and Brown. The part of cluster analysis contains both hierarchical and non-hierarchical clustering methods such as linkage method and K-means, respectively. Research and publication ethics were followed in this study.

2.1. Time Series Analysis

The time series is a collection of random variables, which are measurements of variables with data obtained in chronological order over time. A time series is generally shown in the format $Z_t, t = 1, 2, \dots, n$ with n sample sizes. Thus, t^{th} observed data over time is expressed by Z_t (Box, 1994; Ünsal and Kasap, 2014).

Box-Jenkins modeling process include three different stages. The first one of these stages is model selection which is based on consideration of sequence graphs. The second one is the parameter estimation process which includes the maximum likelihood estimation method in Statistical Theory. The last one is model diagnostic checking which includes statistical F test for considering whether the model is appropriate or not. The degree of the model is determined by past observation values (p) and past error values (q). Time series which is an encounter in real life are often not stable or nonstationary which is the model of the degree of the autoregressive parameter is p , the degree of the moving average parameter is q and d is the number of differences received, this model is called the autoregressive integrated moving average model and is called $ARIMA(p, d, q)$. The model is $\phi_p(B)(1-B)^d Z_t = \theta_q(B) + A_t$. Where $\phi(B)$ and $\theta(B)$ are polynomials of p and q degrees, respectively (Box, 1994).

Finding the best model by using the AIC (Akaike's Information Criterion). The AIC is formally defined as below (Box, 1994): (M is the number of the estimated parameters in the model)

$$AIC(M) = n \ln \hat{\sigma}_A^2 + 2 M \quad (1)$$

In this paper, also used exponential smoothing methods for model identification. is a procedure for continually revising an estimate in the light of more recent experiences. Exponential smoothing method is a methodology that uses the average (smoothing) past values of the data of time series in a decreasing (exponential) manner (Montgomery, 2015):

Simple exponential smoothing has the following equations:

$$L(t) = \alpha Y(t) + (1-\alpha)L(t-1) \quad (2)$$

$$\hat{Y}(k) = L(t)$$

Brown's exponential smoothing has the following equations:

$$L(t) = \alpha Y(t) + (1-\alpha)L(t-1) \quad (3)$$

$$T(t) = \alpha(L(t) - L(t-1)) + (1-\alpha)T(t-1)$$

$$\hat{Y}_t(k) = L(t) + ((k-1) + \alpha^{-1})T(t)$$

Holt's exponential smoothing has the following equations:

$$L(t) = \alpha Y(t) + (1 - \alpha)(L(t-1) + T(t-1)) \quad (4)$$

$$T(t) = \gamma(L(t) - L(t-1)) + (1 - \gamma)T(t-1)$$

$$\hat{Y}(k) = L(t) + kT(t)$$

Then the best model has the smallest Mean Absolute Error (MAE) (Montgomery, 2015).

$$MAE = \frac{1}{F} \sum_{l=1}^F |e_l| \quad (5)$$

2.2. Cluster Analysis

Cluster analysis is a multivariate statistical method that is used for grouping the units by considering the variables representing important properties of them. The units that are similar in terms of related variables are assigned to the same group. The measure of similarity is calculated by a distance function such as Euclidean, Mahalanobis, Manhattan, Minkowski distance functions etc. (Johnson and Wichern, 2007). One of the most popularly used distance function, Euclidean can be calculated as following:

$$d_{AB} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{Ai} - x_{Bi})^2} \quad (6)$$

Here, d_{AB} is Euclidean distance value between unit A and unit B, n is the number of variables in the analysis, x_{Ai} and x_{Bi} are the values of i th variable of unit A and unit B, respectively (Johnson and Wichern, 2007). K-means and hierarchical clustering approaches used in this study are important methods in cluster analysis. Now, we discuss basic definitions of these two popular methods.

2.2.1. K-means

K-means is a non-hierarchical clustering method proposed by MacQueen (1967). K-means describe an algorithm to assign each unit to the cluster having the nearest centroid (Johnson and Wichern, 2007). This algorithm can be explained in a few steps. Firstly, the optimum value of the number of clusters (K) is determined. K number of units randomly chosen and each of them are assigned for each cluster. Secondly, the remaining units are assigned to the relevant clusters by considering the minimum distance function value (usually by using Euclidean distance), and after each assignment, the new cluster centers are updated. Then, repeat the second step until no more reassignments for units take place. (Johnson and Wichern, 2007).

2.2.2. Linkage Method

In this sub-section, the linkage methods (agglomerative hierarchical procedures) are considered. The linkage methods can be categorized into three main types as single-linkage (based on minimum distance), complete-linkage (based on maximum distance), and average linkage (based on average distance) (Johnson and Wichern, 2007). The agglomerative hierarchical procedures for a group of items can be described in the following steps: Firstly, each item is considered as a separate clusters (in other words, for N items, we start with N clusters), secondly, the distance matrix (start with the dimensions NxN) is calculated to consider the nearest pair of clusters, and these clusters are merged. Thirdly, update the distance matrix by considering the distance between new clusters. Then, repeat the second and third steps for N-1 times to finalize the algorithm. (Johnson and Wichern, 2007). In this study, the average linkage method is used to evaluate hierarchical clustering results. In average linkage methodology, the distance between two clusters is calculated as the average distance between all pairs of items (Johnson and Wichern, 2007).

3. Results

The data used in this study are obtained in DataHub (2020) which is frequently updated and used as an official data source by researchers during the pandemic. The data source is public and does not require any permission.

The first part of this section is about the results of time series analysis and the second part has the results of cluster analysis. The daily data in April and May are used for time series analysis. The data used for cluster analysis is collected on the 20th days of April and May, respectively.

3.1. Results of Time Series Analysis

In this section, we try to find out the model structure of each country and consider the variability of the model structure from April to May. To see this, the modeling processes for each country are considered by using the time series models mentioned in Section 2. Time series models obtained for the data of April and May in terms of daily number of confirmed cases, recovered cases and deaths of the fifty member countries can be seen in Table 1.

When the time series models obtained for each of April and May in terms of three variables (confirmed, recovered, deaths) given in the table are carefully examined, it is observed that the majority of countries have the models Holt, Brown and Simple in terms of these three variables in April. However, it can be said that the majority of countries have ARIMA (p, d, q) models in terms of these three variables in May.

Table 1. Time series models of the countries for the daily data obtained in April and May

Countries	April Confirmed	April Recovered	April Deaths	May Confirmed	May Recovered	May Deaths
Argentina	Holt	ARIMA(0,1,0)	Holt	ARIMA(0,2,0)	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Australia	Holt	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	Simple
Austria	Brown	Brown	Brown	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	Holt
Belgium	ARIMA(0,2,1)	ARIMA(0,1,0)	Brown	Brown	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Brazil	ARIMA(1,1,0)	Brown	Brown	Brown	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Bulgaria	ARIMA(0,1,0)	Brown	Holt	Brown	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Canada	Holt	Brown	Holt	Brown	ARIMA(0,1,0)	Holt
Chile	Brown	ARIMA(0,1,0)	Holt	Brown	Brown	Brown
China	Simple	Simple	Simple	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,0,0)	ARIMA(0,0,0)
Colombia	Brown	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Croatia	Holt	Brown	Holt	Brown	Holt	ARIMA(0,1,0)
Cyprus S.	Brown	Holt	ARIMA(0,1,0)	D. Trend	Holt	ARIMA(0,1,0)
Czechia	Holt	Brown	Holt	ARIMA(0,1,0)	Holt	ARIMA(0,1,0)
Denmark	Holt	ARIMA(0,1,0)	Brown	Holt	ARIMA(0,1,0)	Holt
Estonia	Holt	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Finland	Holt	ARIMA(0,1,0)	Brown	Holt	ARIMA(0,1,0)	Holt
France	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	Holt	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Germany	Brown	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Geece	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	Holt	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Hungry	Holt	ARIMA(0,1,0)	Brown	ARIMA(0,1,0)	Brown	Holt
Iceland	D. Trend	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	Holt	ARIMA(0,1,0)
Indonesia	Holt	Brown	Brown	ARIMA(0,1,0)	Holt	ARIMA(0,1,0)
India	Holt	Holt	Holt	ARIMA(0,2,1)	Brown	Holt
Ireland	Brown	Simple	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	Brown
Isreal	Holt	Brown	ARIMA(0,2,0)	Holt	Holt	Brown
Italy	Brown	Brown	D. Trend	Brown	Holt	Brown
Japan	Holt	ARIMA(0,1,0)	Brown	ARIMA(0,2,0)	Holt	Holt
Latvia	Holt	Brown	Holt	Brown	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Lithuania	Holt	Brown	Holt	ARIMA(0,1,0)	Holt	ARIMA(0,1,0)
Luxembourg	ARIMA(0,2,1)	Simple	Brown	Holt	Brown	ARIMA(0,1,0)
Malta	Holt	ARIMA(0,1,0)	Holt	Brown	Holt	ARIMA(0,1,0)
Mexico	Brown	ARIMA(0,1,0)	Brown	Brown	ARIMA(0,1,0)	Brown
Netherland	Brown	ARIMA(0,0,0)	Holt	Holt	ARIMA(0,0,0)	Holt
New Zeland	Brown	Brown	Brown	ARIMA(0,1,0)	Brown	Simple
Norway	D. Trend	ARIMA(0,0,0)	Holt	Brown	Brown	ARIMA(0,1,0)
Poland	Holt	Brown	Brown	ARIMA(0,1,0)	Holt	Brown
Portugal	Holt	Holt	Holt	Brown	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Romania	ARIMA(0,1,0)	Brown	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	Holt
Russia	Brown	ARIMA(0,1,0)	Brown	Holt	Brown	Brown
SaudiArabia	Brown	ARIMA(0,1,0)	Holt	Brown	Brown	Brown
Slovakia	Brown	Brown	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	Holt	Holt
Slovenia	Brown	Holt	Holt	Holt	Simple	Holt
SouthAfrica	Brown	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	Holt	ARIMA(0,1,0)

SouthKorea	ARIMA(0,2,0)	ARIMA(1,2,0)	Holt	Brown	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Spain	Holt	Holt	D. Trend	ARIMA(0,1,0)	Holt	ARIMA(0,1,0)
Sweden	Brown	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
Switzerland	Brown	Holt	D. Trend	Brown	Holt	ARIMA(0,1,0)
Turkey	Brown	ARIMA(0,1,0)	Brown	Brown	ARIMA(0,2,0)	ARIMA(0,2,0)
UK	Holt	Simple	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,0)
USA	ARIMA(0,1,1)	ARIMA(0,1,0)	Holt	Holt	ARIMA(0,1,0)	ARIMA(0,1,1)

3.2. Results of Cluster Analysis

In this section, the data of April and May (collected on the 20th of April and May, respectively) are considered. The same three variables (confirmed, recovered, deaths) are used in cluster analysis, as well. According to K-means results, the total within clusters sum of squares stop the decreasing rapidly, after the value of 3 as seen in Figure 1 and 2. Thus, the optimum value of the number of clusters can be determined as 3 in April and May.

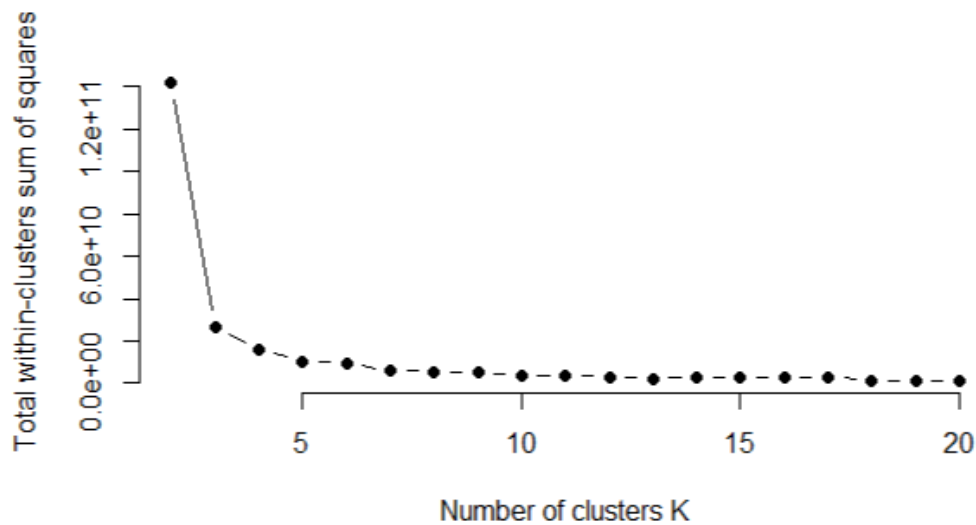


Figure 1. Total Within Clusters Sum of Squares in April

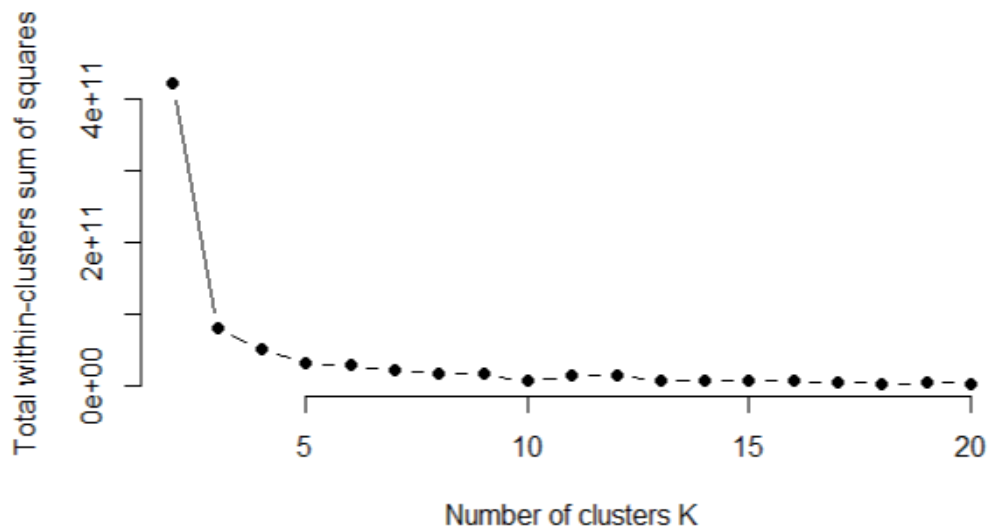


Figure 2. Total Within Clusters Sum of Squares in May

Table 2 shows clusters of the countries for April and May. Here, we list the clusters of the countries ascending order. In other words, USA stands out in the third cluster as the country which is most affected by the pandemic. The countries affected in the second degree are in the second cluster and the least affected countries are in the first cluster. According to the K-means results in April, China, France, Germany, Italy, Spain, Turkey and United Kingdom (UK) form a cluster. United States of America (USA) creates a separate cluster, individually. The other remaining countries are in the same cluster. In May, Russia and Brazil change their cluster and move to the cluster which contains France, Germany, Italy, Spain, Turkey and United Kingdom (UK). Furthermore, China moves to

the first cluster which consist of the least affected countries. All the other countries stay in the same clusters. K-means results for three clusters can be seen visually in Figure 3 (results in April) and 4 (results in May).

Table 2. Clusters for the countries in April and May

No	Countries	Cluster in April	Cluster in May	No	Countries	Cluster in April	Cluster in May
1	Argentina	1	1	26	Italy	2	2
2	Australia	1	1	27	Japan	1	1
3	Austria	1	1	28	Latvia	1	1
4	Belgium	1	1	29	Lithuania	1	1
5	Brazil	1	2	30	Luxembourg	1	1
6	Bulgaria	1	1	31	Malta	1	1
7	Canada	1	1	32	Mexico	1	1
8	Chile	1	1	33	Netherland	1	1
9	China	2	1	34	New Zeland	1	1
10	Colombia	1	1	35	Norway	1	1
11	Croatia	1	1	36	Poland	1	1
12	Cyprus S.	1	1	37	Portugal	1	1
13	Czechia	1	1	38	Russia	1	2
14	Denmark	1	1	39	SaudiArabia	1	1
15	Estonia	1	1	40	Slovakia	1	1
16	Finland	1	1	41	Slovenia	1	1
17	France	2	2	42	SouthAfrica	1	1
18	Germany	2	2	43	SouthKorea	1	1
19	Greece	1	1	44	Spain	2	2
20	Hungry	1	1	45	Sweden	1	1
21	Iceland	1	1	46	Switzerland	1	1
22	Indenosia	1	1	47	Turkey	2	2
23	India	1	1	48	USA	3	3
24	Ireland	1	1	49	UK	2	2
25	Isreal	1	1	50	Romania	1	1

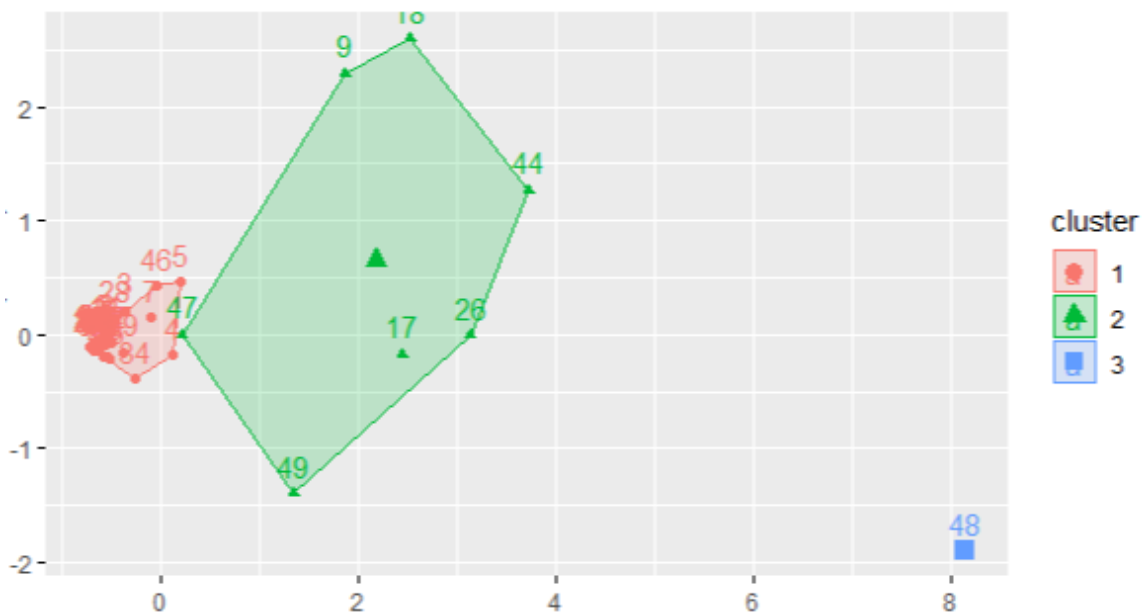


Figure 3. Cluster Plot in April

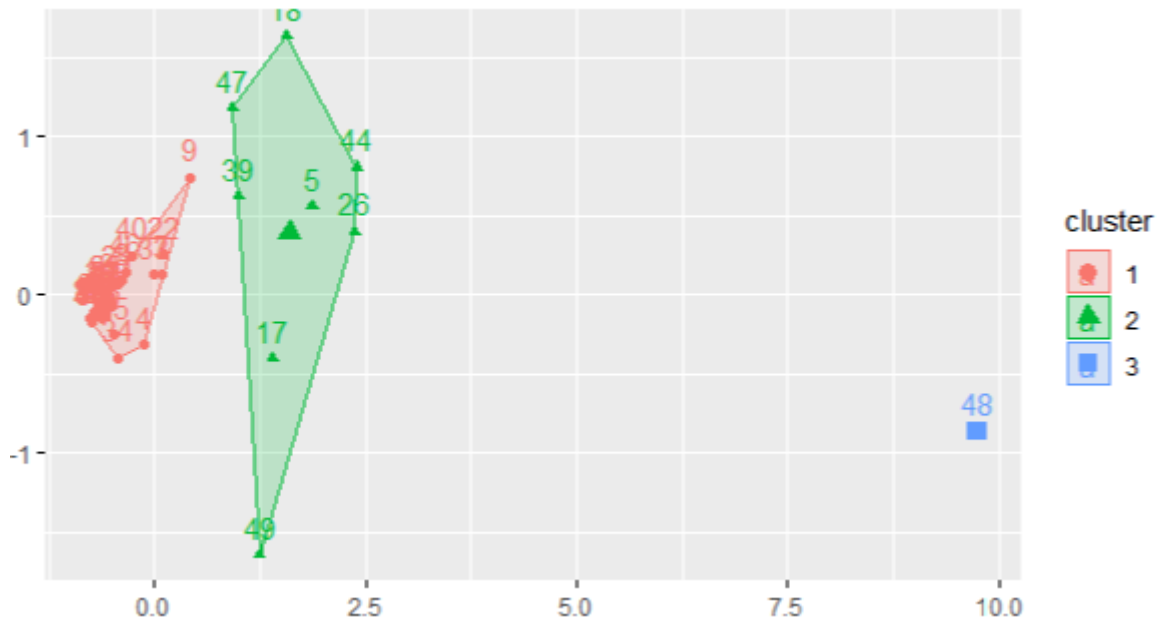


Figure 4. Cluster Plot in May

Secondly, the hierarchical clustering method is investigated for the countries. The results for April and May can be seen visually in Figure 5 and 6, respectively.

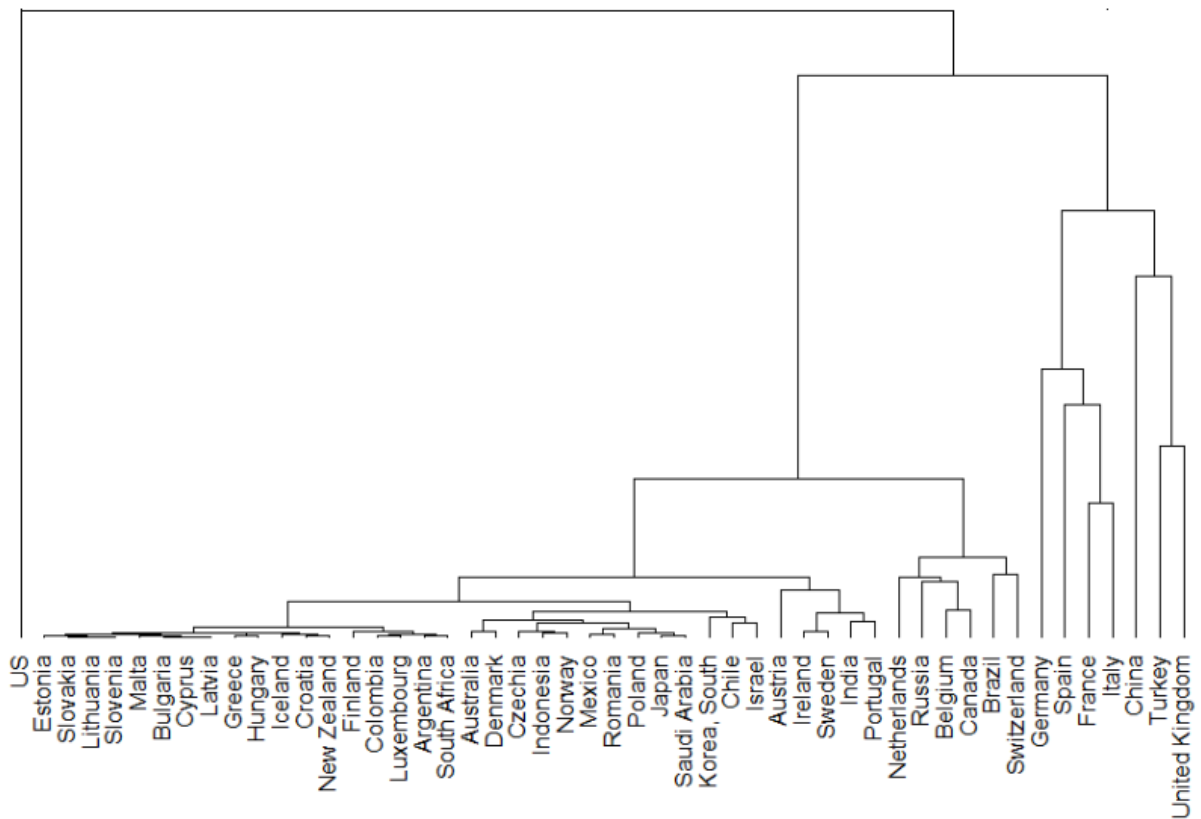


Figure 5. Dendrogram in April

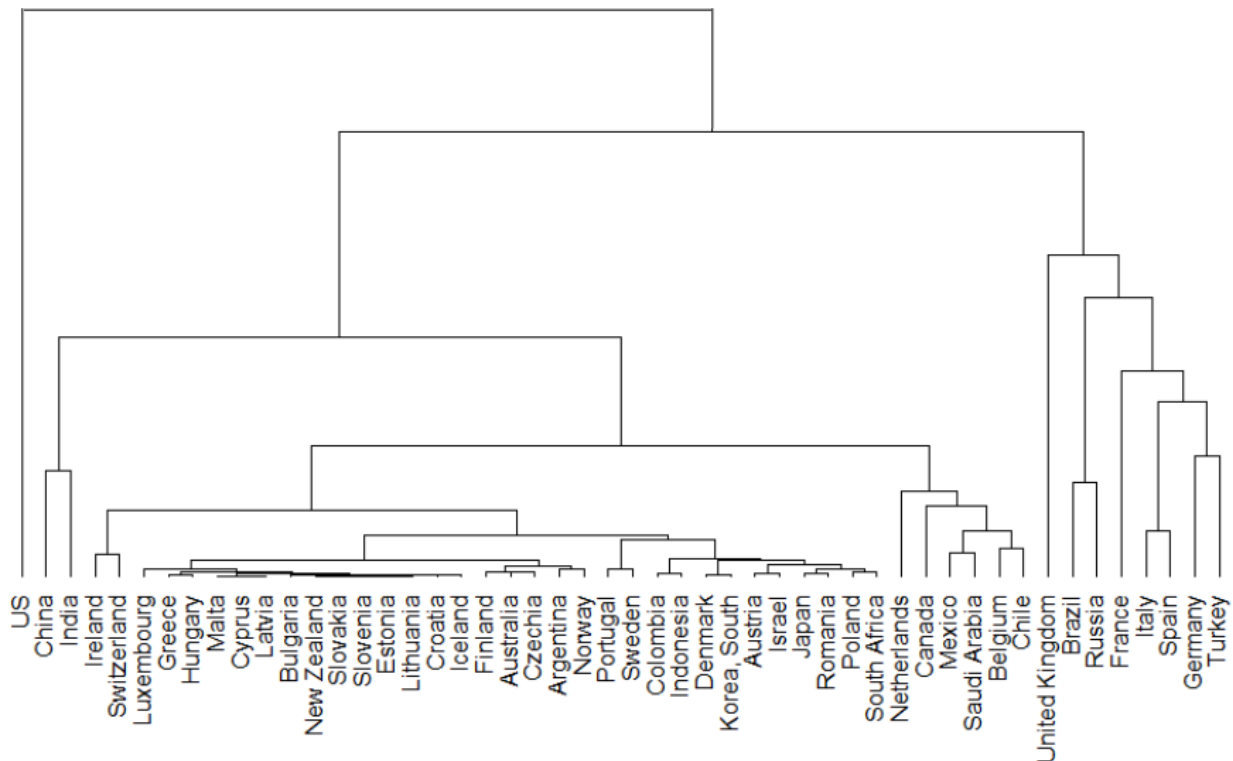


Figure 6. Dendrogram in May

According to the dendrograms, in April, France and Italy are linked together, then Spain and Germany are joined them. On the other hand, Turkey and the UK are linked together and China is linked with Turkey and the UK. Finally, all these countries construct the second cluster which consist the second degree affected countries. USA forms a cluster individually, which is most affected country. In May, in the second cluster, Italy and France are linked firstly. Then Russia and Brazil are linked together, Germany and Turkey show similar features according to the dendrogram. Afterward, Germany and Turkey are linked with Italy and Spain, then France is joined to these four countries. Russia, Brazil and the UK are joined to Turkey, Germany, Italy, Spain and France. In May, these eight countries construct the second cluster. All the linkages can be seen in Figure 5 and 6 for April and May, respectively.

4. Discussions and Conclusions

According to the results of the time series analysis, the time series models for fifty countries are obtained in terms of the daily number of cases, recovered cases and deaths for April and May. According to the time series models obtained in April in terms of these three variables given, most of the countries are according to the Holt, Brown and Simple models. However, in May, it can be said that most of the countries have ARIMA (p, d, q) models in terms of these three variables. This can be said that the processes of the series included different variability in April and May.

In the results of cluster analysis, the clusters are obtained in terms of the total number of cases, recovered cases and deaths for April and May. USA shows different positions from the other countries in the analysis in both April and May. Because, USA is the most affected country from Covid 19 disease. In April, China, France, Germany, Italy, Spain, Turkey and the UK show similar features and take part in the same cluster (the second one) as the other affected countries in the world. It is a very interesting point that while Brazil and Russia are in the first cluster. Then, they move to the second cluster which contains more affected countries. This indicates that the pandemic process for Brazil and Russia in May deteriorate, considerably. Additionally, China move to the first cluster from the second cluster in May. It shows that China improves its status from April to May. The other countries do not change their clusters. It is clear that Covid 19 deeply effects the world economy and health system. The countries in the 3rd and 2nd clusters have a large part of the world economy and population. As mentioned above, Russia and Brazil join the countries in the second group in May, this group consists of the negatively affected countries.

Briefly, while the time series data of the countries give mostly non-linear form based models in April, the data in May are generally modeled on the linear form. Furthermore, according to the results in cluster analysis, the countries in the third and the second clusters have a significant portion of the world economy and population, and the countries in these clusters are negatively affected countries in the pandemic.

Contribution of Researchers

Mehmet Güray ÜNSAL designed Introduction and Conclusion parts, analyzed cluster analysis part of the paper, and gave contribution on collection of the data. Reşat KASAP designed time series analysis part of the paper and gave contribution on collection of the data.

Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

Medical News Today (2020) Retrieved May 2020, from <https://medicalnewstoday.com/articles/COVID-19#incubation-period>

Box, G. E. P., (1994) *Time series analysis : forecasting and control*, Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall.

Ünsal, M.G., & Kasap, R., (2014) Cases of Residual Types in Diagnostic Checking for ARMA Model. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics* 43(3):1-10. <http://hjms.hacettepe.edu.tr/uploads/7cc26d6d-b394-4c77-933e-24fd1b92796e.pdf>

Montgomery, D.C., (2015) *Introduction to time series analysis and forecasting*, New Jersey Wiley.

Johnson, R.A., & Wichern, D.W., (2007) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6th Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.

MacQueen, J.B., (1967) Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. *In: Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Volume 1: Statistics, University of California Press, Berkeley, 281-297.

Data Hub (2020) Retrieved May 2020, from <https://datahub.io/core/covid-19#data>



Journal of Turkish Operations Management

Ergonomic personnel-task scheduling problem: A medium voltage insurance production application

Hacı Mehmet ALAKAŞ^{1*}, Mehmet PINARBAŞI², İsmet SÖNMEZ³, Ahmet YÜKSEL⁴

¹Industrial Engineering Department, Kırıkkale University, Kırıkkale

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

²Industrial Engineering Department, Ph.D., Çorum

e-mail: mehmetpinarbası71@hotmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-3424-2967>

³Industrial Engineering Department, Kırıkkale University, Kırıkkale

e-mail: ismetsonmezz@hotmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-8708-8508>

⁴Industrial Engineering Department, Kırıkkale University, Kırıkkale

e-mail: ahmt.yksl51@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-3538-3833>

* Corresponding author

Article Info

Article History:

Received: 27.04.2020

Revised: 14.07.2020

Accepted: 11.08.2020

Keywords:

Ergonomics,
REBA,
Personnel scheduling,
Goal programming

Abstract

Companies tend to use their labor force more effectively and balanced with the effect of increasing labor costs. Companies want to use their personnel as efficiently as possible to minimize costs. Ergonomics is a crucial method proposed to increase the productivity of employees. Therefore, ergonomically regulating the working conditions of workers is more than a necessity for companies. The problem of assigning workers to the tasks is defined as ergonomic personnel scheduling problems according to the objectives such as reducing the ergonomic risk of the worker, reducing the cycle time, and considering the technological constraints of the tasks. In this study, the ergonomic personnel scheduling problem for a medium voltage fuse manufacturing company is discussed. According to the firm's data, it is aimed to balance the ergonomic risks of the workers. REBA method was used to measure the ergonomic risks of tasks, and the goal programming method was used to solve the problem. With the proposed model, in addition to more effective and efficient use of the firm's workforce, ergonomic personnel scheduling has ensured that the ergonomic risks of the tasks assigned to the workers are as equal as possible.

1. Introduction

The goal of each producer is to make a maximum profit at minimum cost. Manufacturers are trying to increase their profits by reducing both material costs and process costs in this competitive market environment (Kaçmaz et al., 2019). One of the production planning activities for this purpose is labor planning. In labor planning, parameters such as duration of work, shift times, and ergonomic elements are taken into consideration to reduce the damage and difficulty of the worker due to the work (Bedir et al., 2017).

Production planning is the organization of activities to use the resources and labor required for meeting the demands with maximum efficiency and minimum cost. Production planning includes demand forecasts, capacity planning, material, and stock management. Worker and machine capacities are an important constraint in the formation of the main production plan and schedules. Another significant limitation is ergonomics (Otto and Scholl, 2013).

Ergonomics is the process of natural and technical research and development of humans' harmony with machines and the environment by examining human physical and psychological characteristics (Polat et al., 2017). The values obtained through observations and measurements reveal the ergonomic risk factor. Tasks with a high-risk factor are organized ergonomically. The physical structures of the worker and the work must be compatible. Work rotation to improve work compliance is an organizational strategy that is increasingly used in production systems. Work rotation prevents musculoskeletal disorders, relieves stress, increases job satisfaction and morale. As a result, productivity and employee engagement increases in the production system (Otto and Scholl, 2013). At the same time, the company gains a qualified and motivated workforce. In order to prevent musculoskeletal disorders caused by fatigue accumulation, personnel should be assigned to appropriate tasks, i.e., personnel-task scheduling should be made taking into account ergonomic factors (Wongwien and Nanthavanij, 2012a).

When decision-makers want to address many decision problems, they want more than one goal to be accomplished. For the solution of such multi-objective problems, methods to solve the problem are used to optimize more than one objective (Louly, 2013). Multi-criteria decision-making methods are frequently used in solving multi-objective problems. The goal programming method is also a powerful method developed by Charnes and Cooper (1977). In goal programming, target values are determined for the aims to be achieved, and deviation variables are added to the relevant constraints. In the objective function, more than one objective is combined by optimizing these deviation variables. Which goal is more important varies according to the problems addressed. The solution method in goal programming differs according to the importance level and priority of the goals.

In this study, the ergonomic personnel-task scheduling problem is discussed. In a factory that produces medium voltage fuse, the REBA method is used to determine the ergonomic risk of tasks. A goal programming model was proposed to minimize the total ergonomic risk scores of the personnel in the problem. In the model, considering the fatigue and loss of motivation of the workers, the maximum number of tasks that can be assigned to personnel is limited. A more efficient, more ergonomic, and minimum vacancy assignment was achieved than the current assignment schedule.

This paper is organized as follows. After the introduction, the literature reviews about the problem and solution method are given. In Section 3, the personnel-task scheduling problem is described, and the proposed goal programming model is given. The REBA method is presented in Section 4. A case study relating medium voltage fuse production and the suggested model results for the case study are given in Section 5. Finally, conclusion and future researches are carried in the last section.

2. Literature Review

The Personnel-task scheduling problem has been addressed with different names in the literature. These problems can be listed as follows: employee scheduling (Ağralı et al., 2017; Al-Yakoob and Sherali, 2007; Brezilianu et al., 2009; Drezet and Billaut, 2008; Parisio and Jones, 2015), shift scheduling (Al-Yakoob and Sherali, 2007), (Bhulai et al., 2008; Boyer et al., 2014; Brunner et al., 2007; Omar et al., 2015; Salvagnin and Walsh, 2012; Solos et al., 2016; Topaloğlu, 2009), personnel-task scheduling (Hojati, 2018; Krishnamoorthy et al., 2012; Lapègue et al., 2013; Omar et al., 2015; Prot et al., 2015; Smet et al., 2014) workforce scheduling (Cuevas et al., 2016; Firat and Hurkens, 2012; Günther and Nissen, 2010; Laesanklang et al., 2015; Liao et al., 2013; Valls et al., 2009), staff scheduling (Cuevas et al., 2016; Günther and Nissen, 2010; Laesanklang et al., 2015; Rocha et al., 2014; Soukour et al., 2012). Table 1 summarizes the literature studies for the personnel-task scheduling problem. In addition to the use of exact methods such as mathematical programming and branch and bound algorithm, many heuristic methods (genetic algorithm, tabu search, particle swarm, etc.) are used to solve the personnel-task scheduling problem. According to the task area of the personnel in the problem, the personnel-task scheduling problem has found various application areas. These can be listed as many service systems such as health systems, shopping centers, call centers, and many production systems such as vehicle production, glass production, and telecommunication sector. In this study, a company operated in the electric and electronic industry is considered as a case study to demonstrate the proposed model.

In the literature, they considered the ergonomic constraints, Wongwien and Nanthavanij (2012a) study aimed at not exceeding the allowed ergonomic risk limit by assigning heterogeneous workers to the jobs according to the personnel requirements of the tasks to be performed. In their study, Wongwien and Nanthavanij (2012b) assigned workstations to keep workers' daily noise risk within a permitted limit. Otto and Scholl (2013) established effective

work rotation programs that offset ergonomic risks for workers in the automobile industry. In their study, Bektur and Hasgül (2013) formed a restaurant chart by taking into consideration seniority levels, skills, personal preferences, and business demands of the employees. Dewi and Septiana (2015) discussed the problem of assigning workers to a logistics company. They measured their physical and mental workloads. Polat et al. (2018) established a balancing model for ergonomic constraints for Type 2 simple assembly lines. They used the REBA method to calculate the physical workload at the stations. Mengoni et al. (2017) presented a methodology that evaluates ergonomic factors and safety factors. They also considered efficiency. They used the simulation method. Polat et al. (2017) discussed workers in a furniture factory in Denizli. They examined the image records of thirty-two workers and made measurements. They used the REBA method. As a result, it was determined that approximately 60% of workers were working at risk for the musculoskeletal system. In this study, the REBA method is used to take into account the ergonomic risks in the personnel task scheduling problem.

Table 1. Literature review studies for personnel-task scheduling

Problem	Literature	Solution Method	Application Area
Employee scheduling	Al-Yakoob and Sherali (2007)	KT	Gas Station
	Parisio and Jones (2015)	SP	Retail Outlet
	Brezulianu et.al (2009)	GA	Shopping Center
	Ağralı et.el. (2017)	MIP	Service Industries
	Drezet and Billaut (2008)	TS	Intelligence Technology
Shift Scheduling	Al-Yakoob and Sherali(2007)	MIP	Work Center
	Bhulaiet.al. (2008)	İM	Call Center
	Brunner et.al. (2009)	IP	Healthcare System
	Topaloglu (2009)	MOP	Healthcare System
	Salvagnin and Walsh (2012)	MP/CP	-
	Solos et.al. (2016)	HS	Truck Production
	Boyer et.al. (2014)	BPA	-
Personnel-task Scheduling	Omar et.al. (2015)	SP	Emergency Departments
	Smet et.al. (2014)	HS	-
	Krishnamoorthy et.al. (2012)	LR	-
	Lapègue et.al. (2013)	CP	-
	Protet.al. (2015)	TPM	-
	Hojati (2018)	GH	-
	Workforce Scheduling	Valls et.al. (2009)	GA
Firat and Hurkens (2012)		MIP	-
Liao et.al. (2013)		SP	Call Center
Laesanklang et.al. (2015)		DC	-
Cuevas et.al. (2016)		MIP	-
Staff Scheduling	Zolfaghariet.al. (2009)	GA	Retail Sector
	Louly (2013)	GP	Call Centers
	Günther and Nissen (2010)	PS	-
	Rocha (2014)	CH	Glass Industry
	Soukour et.al. (2012)	HS	Security Service

MIP: Mixed Integer Programming, SP: Stochastic Programming, GA: Genetic Algorithm, TS: Tabu Search, IM: Iterative Method, IP: Integer Programming, MOP: Multi-Objective Programming, MP: Mathematical Programming, CP: Constraint Programming, HS: Heuristic Search, BPA:

Branch and Price Algorithm, LR: Lagrangian Relaxation, TPM: Two-phase Method, GH: Greedy Heuristic, DC: Decomposition, GP: Goal Programming, PS: Particle Swarm, CH: Constructive Heuristic

In the literature, the following studies that use goal programming in solving the personnel task scheduling problem can be given as an example. Eren and Varlı (2017) propose a model with goal programming to meet the number of employees needed for each shift and to make a distribution in a balanced and fair manner. In their model, five different goal constraints are considered. A goal programming model is developed by Ozcan et al. (2017) to increase the performance of employees and the worker requirements. A case study about a large-scale hydroelectric power plant is carried out by using real data. Azaiez and Sharif (2017) consider the solving of nurse scheduling problem by using goal programming. Their model objectives are related to unnecessary overtime costs while considering hospital specific goals and nurse preferences. A multi-objective goal programming model that optimizes seniority levels of staff in a restaurant is proposed by Bektur and Hasgul (2013). Ozder et al. (2017) develop a goal programming model to provide the best possible cleaning service for a university hospital. In order to assign the invigilator to the exams in the Faculty of Engineering of Kirikkale University, Varlı et al. (2017) use to goal programming, and 74 research assistants are assigned to 741 exams by considering the requirements of all departments. However, a goal programming model is proposed to optimize the REBA scores and to obtain the optimal personnel-task assignments in this study.

Based on the literature studies mentioned above, the contributions of this study to the literature can be given as follows: Although the personnel task scheduling problem is handled extensively in the literature, considering ergonomic risks was also considered for the first time in this study. Ergonomic risks are obtained by using the REBA method. A goal programming model is proposed to find the optimum personnel-task assignment, in which the obtained REBA scores are considered as goals. Also, the model is tested with real data collected from a company that produces a medium voltage fuse.

3. Personnel Task Scheduling Problem and Goal Programming Model

The personnel task scheduling problem determines which personnel will perform which task according to a particular purpose (Kaçmaz et al., 2019). Ergonomic personnel scheduling also takes into account the ergonomic risk conditions of the tasks and aims to minimize the risk level (Bedir et al., 2017).

In the proposed goal programming model, the aim is to minimize the deviations from the determined ergonomic risk level. The ergonomic risk levels of the tasks were also determined by the REBA method. Assumptions of the model are defined as the daily working time of the company is 510 minutes, the maximum number of tasks to be assigned is 6 to prevent the performance of the workers, each personnel qualified and can perform each job, task times are deterministic, tasks cannot be divided, technological constraints are taken into account, the number of staff required to perform a task is known, REBA scores are calculated for each task and REBA scores are known. The proposed goal programming model for the personnel scheduling problem is as follows.

Indices

i : Personnel

j : Task

Parameters

P : Total number of personnel

T : Total number of tasks

R_j : REBA score of the task j

A_j : REBA A score of the task j

B_j : REBA B score of the task j

W : Daily working hours

\bar{T} : The maximum number of tasks that can be assigned to each personnel

P_j : Number of personnel required for the task j

t_j = Duration of task j .

Decision variables

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{staff } i \text{ assign to task } j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

d_{i1}^- : Negative deviation from the targeted REBA score

d_{i1}^+ : Positive deviation from the targeted REBA score

d_{i2}^- : Negative deviation from the targeted REBA A score

d_{i2}^+ : Positive deviation from the targeted REBA A score

d_{i3}^- : Negative deviation from the targeted REBA B score

d_{i3}^+ : Positive deviation from the targeted REBA B

score

The proposed goal programming model for solving the problem is as follows:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^P (d_{i1}^+ + d_{i2}^+ + d_{i3}^+) \quad (1)$$

Constraints:

$$\sum_{j=1}^T x_{ij} \leq \bar{T}i = 1, \dots, P \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^T x_{ij} \cdot t_j \leq Wi = 1, \dots, P \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^P x_{ij} \leq P_jj = 1, \dots, T \quad (4)$$

Goal Constraints:

$$\sum_{j=1}^T R_j \cdot t_j \cdot x_{ij} + d_{i1}^- - d_{i1}^+ = \sum_{j=1}^T 7 \cdot x_{ij} \cdot t_ji = 1, \dots, P \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^T A_j \cdot t_j \cdot x_{ij} + d_{i2}^- - d_{i2}^+ = \sum_{j=1}^T 5 \cdot x_{ij} \cdot t_ji = 1, \dots, P \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^T B_j \cdot t_j \cdot x_{ij} + d_{i3}^- - d_{i3}^+ = \sum_{j=1}^T 5 \cdot x_{ij} \cdot t_ji = 1, \dots, P \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, R_j, d_i^-, d_i^+ \geq i = 1, \dots, Pj = 1, \dots, T \quad (8)$$

In this model, Eq. (1) refers to the objective function that aims to minimize the REBA scores of tasks assigned to personnel. The maximum number of tasks that can be assigned to each staff expressed by Eq. (2). Eq. (3) ensures that no worker is assigned more than the daily working hours. The number of personnel required to perform each task is guaranteed by Eq. (4). Eq. (5) is a goal constraint, and each staff is expected to have 7 REBA scores. Eq. (6) is a goal constraint, and each staff is expected to have 5 REBA A score. Eq. (7) is a goal constraint, and each staff is expected to have 5 REBA B scores. Eq. (8) defines the type of decision variables.

4. REBA Method

The REBA method was developed by Hignett and McAtamney (2000) to assess body postures. It is an effective method for assessing risks in manual tasks. By using the REBA method, static movements can be evaluated as well as dynamic changes. Thus, risks related to the body posture of the employee can be widely evaluated by the REBA method. The calculation of a job's REBA score consists of 4 steps (Figure 1):

Step 1: Observing the Task

While the employee performs the task, body posture, equipment usage, the suitability of the equipment used for the employee, working environment, general workplace environment, etc. are observed.

Step 2: Select Posture

After the tasks have been evaluated, it is decided which REBA score will be calculated according to which posture for which task. In decision making, the most common and long-lasting posture that requires the most muscle activity or strength can be chosen. A posture is chosen by taking into account postures involving one or more of these situations.

Step 3: Posture Scoring

Group A score is obtained by evaluating the body, neck, and leg positions and is selected a score from Table A given in the Appendix section. Group B score is obtained by evaluating the positions of the upper arms, forearms, and wrists and is selected from Table B, given in the Appendix section.

Step 4: Processing Points

The score calculated for the load is added to the group A score. Score A is obtained from Table A. Grip score is added to Group B score, and Score B is obtained from Table B. Score A and score B are combined using the “General Scoring Matrix” and score C is obtained from Table C given in Appendix. Then, the REBA score is obtained by adding the movement score from Table D, if any, to Score C. Finally, the general REBA score is obtained, and we can evaluate the ergonomic risk by using the risk evaluation table (Table E) given in the appendix.

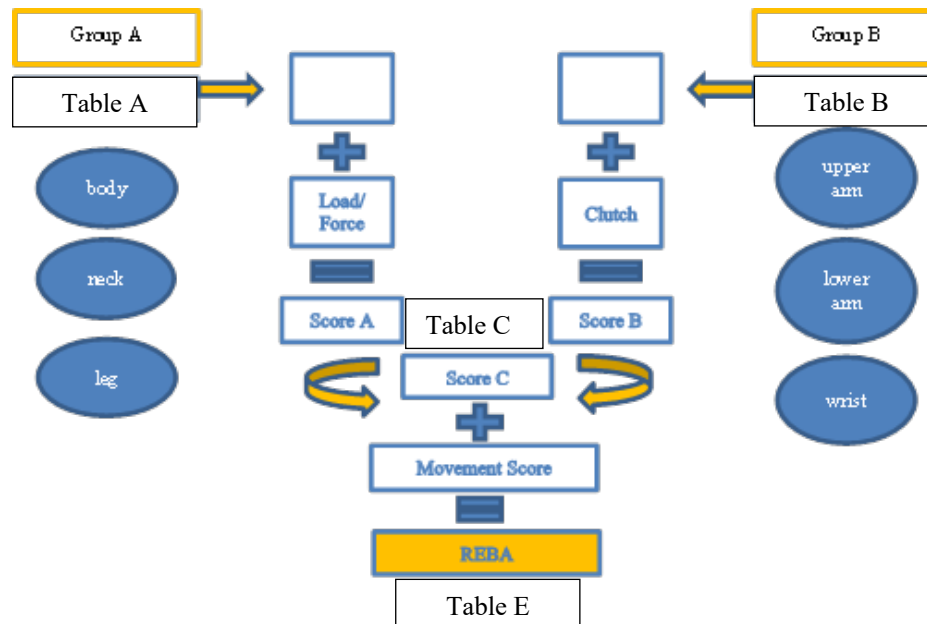


Figure 1. REBA Method Scoring Stages

In the REBA method, the score tables that will be used to calculate the score of a task are given in the appendix. In the REBA method, the score tables that will be used to calculate the score of a task are given in the appendix. More information and sample applications can be found in Hignett and McAtamney's (2000) study. Research and publication ethics were followed in this study.

5. Case Study

5.1 Medium Voltage Fuse Production

Current limiting fuses are the protection elements that melt the heat energy generated by the fault current and cut off the large short-circuit currents flowing from the fault circuit and at the same time prevent the re-jumps by separating. The function of the fuses is to protect the medium voltage switchgear from dynamic and thermal effects caused by short circuit currents greater than the minimum cut-off current of the fuse.



Figure 2. Medium voltage fuse production flow chart

There are five main processes in the production of medium voltage fuses (Figure 2). These processes consist of sludge preparation, firing, cutting, semi-finished product manufacturing, and assembly sections. There are a total of 12 workers and 43 jobs in the facility. The workers must be assigned to different departments in the production process to ensure the coordination of the works without interruption. At this stage, the determination of which work will be done by which worker appears to be a problem for the enterprise. For the distribution of these tasks to the personnel, the daily required labor force amounts for each task are calculated (Table 2).

Table 2. Durations of tasks and number of required personnel to perform the related task

	Task #	Tasks	Duration	# of required personnel
Mud preparation	1	Weighing mud raw material	90	2
	2	Mill Filling	30	4
	3	Mill water filling	30	1
	4	Mud sieving	120	1
	5	Mud into the tank	30	1
	6	Press unloading	30	2
	7	Weighing glaze raw material	15	1
	8	Glaze mill filling	15	2
	9	Glaze sieving	15	1
	10	Glaze standardization and coloring	60	2
	11	External body shaping	191	2
	12	Carrier Forming	202	2
Sintering	13	External body retouching	45	2
	14	External body glazing	45	2
	15	Kiln loading	55	3
	16	Kiln unloading	30	4
Cutting	17	External body cutting	195	1
	18	Carrier cutting	28	1
	19	External body grooving	155	1
	20	Carrier grooving	51	1
	21	External body quality control	155	1
	22	Carrier quality control	51	1
Intermediate Product	23	Contact head cutting	66	2
	24	Contact head forming	133	1
	25	Contact head grooving	133	1
	26	Bow Winding	166	1
	27	Comb pressing	33	2
	28	Perforated lid pressing	20	1
	29	Sand finisher pressing	20	1
	30	End cap pressing	20	1
	31	Inserting a comb	130	1
	32	Making display element	400	1
Assembly	33	Melting line winding	253	1
	34	Contact head plastering	253	1
	35	Carrier interlacing	166	1
	36	Display element assembly	253	1
	37	Comp interlacing	66	1
	38	Perforated lid plastering	100	1
	39	Sandblasting	33	1
	40	Sand cover assembly	66	1
	41	Final Cover Plastering	66	1
	42	Labeling and Packaging	233	1
	43	Packing and Stacking	19	1

5.2 Model Results

In this study, the REBA method was used to calculate the ergonomic risk scores of the tasks. The REBA method deals with the body movements of personnel. Each task was examined with the REBA method, and risk scores are calculated by utilizing the managers' experience. REBA A, REBA B, and total REBA scores for each task are given in Table 3.

Table 3. REBA scores of tasks

	Tasks	Group A			Group B			Load / Force	Grip	Movement	A score	B score	C score	REBA score
		Body	Neck	Leg	Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
Mud preparation	Weighing mud raw material	4	2	3	5	2	2	3	1	2	10	9	14	14
	Mill Filling	4	3	4	5	2	3	3	1	3	12	9	15	15
	Mill water filling	2	1	1	1	1	1	0	0	0	2	1	1	1
	Mud sieving	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
	Mud into the tank	1	1	1	1	1	1	2	0	0	3	1	2	2
	Press unloading	3	3	3	4	2	2	3	2	3	10	8	15	15
	Weighing glaze raw material	4	2	4	5	2	2	3	1	3	11	9	15	15
	Glaze mill filling	4	3	3	1	2	3	3	1	3	11	4	14	14
	Glaze sieving	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
	Glaze standardization and coloring	2	2	1	2	2	1	3	2	1	6	4	8	8
	External body shaping	3	3	1	4	2	2	2	3	3	7	9	13	13
Carrier Forming	3	3	1	4	2	2	2	3	3	7	9	13	13	
Sintering	External body retouching	2	2	1	3	2	3	2	0	3	5	5	9	9
	External body glazing	4	3	1	3	2	2	2	0	2	8	5	12	12
	Kiln loading	2	2	1	5	2	3	3	0	3	6	8	12	12
	Kiln unloading	2	2	1	5	2	3	3	0	3	6	8	12	12
Cutting	External body cutting	1	1	1	2	2	2	2	0	0	3	3	3	3
	Carrier cutting	1	1	1	2	2	2	2	0	0	3	3	3	3
	External body grooving	1	1	1	2	2	2	2	0	0	3	3	3	3
	Carrier grooving	1	1	1	2	2	2	2	0	0	3	3	3	3
	External body quality control	3	2	1	3	2	3	2	0	2	6	5	10	10
	Carrier quality control	3	2	1	3	2	3	2	0	2	6	5	10	10
Intermediate Product	Contact head cutting	4	2	1	2	2	2	0	0	1	5	3	5	5
	Contact head forming	2	2	1	2	1	2	0	0	0	3	2	3	3
	Contact head grooving	2	2	1	3	2	2	0	0	0	3	5	4	4
	Bow Winding	2	1	1	1	1	3	0	0	1	2	2	3	3
	Comb pressing	2	2	1	2	1	2	0	0	0	3	2	3	3
	Perforated lid pressing	2	2	1	2	1	2	0	0	0	3	2	3	3
	Sand finisher pressing	2	2	1	2	1	2	0	0	0	3	2	3	3
	End cap pressing	2	2	1	2	1	2	0	0	0	3	2	3	3
	Inserting a comb	2	1	1	1	2	3	0	0	1	2	3	3	3
	Making display element	1	3	1	1	2	2	0	0	0	3	2	3	3
Assembly	Melting line winding	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	4	5	5
	Contact head plastering	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	2	2	2
	Carrier interlacing	1	2	1	1	1	3	1	1	1	2	3	3	3
	Display element assembly	3	3	2	2	2	3	1	1	2	7	5	11	11
	Comp interlacing	1	2	2	1	1	3	1	1	1	3	3	4	4
	Perforated lid plastering	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	2	2	2
	Sandblasting	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	2	4	4
	Sand cover assembly	2	1	1	1	1	1	2	0	0	4	1	3	3
	Final Cover Plastering	1	1	1	1	1	1	2	0	0	3	1	2	2
	Labeling and Packaging	3	2	2	3	2	3	2	1	1	7	6	10	10
	Packing and Stacking	5	3	3	4	2	3	3	1	3	12	8	15	15

The firm currently does not pay attention to ergonomic conditions when assigning the tasks to the personnel. Therefore, it can be said that the staff has difficulty in terms of the ergonomic conditions while performing the tasks. The goal programming model was solved with the ILOG CPLEX Optimization program to optimize the ergonomic conditions and obtain the task assignment. The results are given in Table 4. According to the average REBA scores, there is a deviation from the target for only two of the workers (workers 9 and 12). Results have been achieved close to the targeted ergonomic risk value for other workers. In this way, personnel-task scheduling is obtained with lower ergonomic risk.

Furthermore, The total task times for each staff and complete assigned tasks to each person are reported in Table 4. According to the model results, a balanced task assignment is obtained between the idle time and the total number of tasks for each staff. Some of the staff (e.g., staff 2) performs more tasks in less full task time, while some of the staff (e.g., staff 5) performs fewer tasks in longer total task times. These are due to the balanced assignment of the REBA scores of the tasks by the model.

Table 5 shows the aggregate results obtained after the personnel task schedule has been prepared in all departments. According to the results, the total time spent on tasks is 5334 minutes. The average number of tasks assigned to

personnel is 5. The average REBA score for staff is 7.25. Also, the REBA score is assigned to tasks in a balanced manner according to their ergonomic risks. According to the results obtained, a more appropriate personnel-task assignment is obtained in terms of worker health.

When the results were evaluated, the productivity of the company is increased. The predetermined task assignments result that job motivation increases significantly. In the company, a basic procedure has been established for task assignment and scheduling. In addition, the flexible and predetermined number of personnel enables rapid response to sudden production changes. Considering these advantages, it can be said that the proposed model is a practical approach to solve the personnel task scheduling problem.

In addition to the numerical advantages of the proposed mathematical model and approach, it has many benefits in terms of implementation for the company. A new perspective is brought to the company in terms of scientific problem-solving. Thanks to the developed model, the company is provided to easily follow the model changes. The results obtained from the model could be presented periodically at management meetings, and archived by reporting. Company's interpretation and analysis possibilities have been developed with simple statistical analysis on model parameters and results.

Table 4. Personnel scheduling performance results

Personnel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Total tasks times	358	228	498	509	429	489	444	458	530	509	447	435
Total tasks number	5	6	4	6	3	4	6	5	5	5	6	6
Average REBA score	7.09	7.54	7.19	5.54	7.43	7.18	7.18	7.07	8.14	7.08	7.13	8.48

6. Conclusion and Discussion

In this study, personnel scheduling problem in a factory producing medium voltage fuse is discussed. In the solution of the problem, especially the ergonomic constraints, the number of products determined by the planning department, the working hours, and the maximum amount of work a person can perform are considered. Ergonomic conditions are taken into account in the proposed goal programming model, and tasks are assigned to the personnel. As a result of the model, both technical requirements were provided, and an ergonomic working schedule was prepared for the workers. It is possible to develop the proposed model and solution approach in various ways. A study in which the task times are considered stochastic will be remarkable. A model considered the personnel skills can be developed as a future study. Also, the heuristic or meta-heuristic approaches can be used in large-scale problems, especially in case studies where the number of staff and the number of tasks are high. The model solution becomes complicated and time-consuming.

Table 5. The final assignment of personnel task scheduling

	Task #	Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	REBA
Mud preparation	1	Weighing mud raw material							1	1					14
	2	Mill Filling	1			1				1			1		15
	3	Mill water filling												1	1
	4	Mud sieving										1			1
	5	Mud into the tank		1											2
	6	Press unloading	1			1									15
	7	Weighing glaze raw material				1									15
	8	Glaze mill filling			1	1									14
	9	Glaze sleving	1												1
	10	Glaze standardization and coloring		1								1			8
	11	External body shaping						1				1			13
	12	Carrier Forming										1		1	13
Sintering	13	External body retouching							1				1		9
	14	External body glazing									1	1			12
	15	Kiln loading		1					1	1					12
	16	Kiln unloading	1	1			1			1					12
Cutting	17	External body cutting									1				3
	18	Carrier cutting									1				3
	19	External body grooving							1						3
	20	Carrier grooving											1		3
	21	External body quality control											1		10
	22	Carrier quality control												1	10
Intermediate Product	23	Contact head cutting						1						1	5
	24	Contact head forming										1			3
	25	Contact head grooving											1		4
	26	Bow Winding						1							3
	27	Comb pressing		1									1		3
	28	Perforated lid pressing												1	3
	29	Sand finisher pressing										1			3
	30	End cap pressing		1											3
	31	Inserting a comb			1										3
	32	Making display element				1									3
	Assembly	33	Melting line winding	1											
34		Contact head plastering								1					2
35		Carrier interlacing					1								3
36		Display element assembly			1										11
37		Comp interlacing							1						4
38		Perforated lid plastering			1										2
39		Sandblasting							1						4
40		Sand cover assembly						1							3
41		Final Cover Plastering												1	2
42		Labeling and Packaging					1								10
43		Packing and Stacking				1									15

Appendix

In this section, the tables required to select the Group A (Table A) and Group B (Table B) scores of the REBA method given in Figure 1 are given. Table C shows the general scoring matrix by comparing Group A and Group B scores. Finally, the table where the general REBA score will be interpreted is also reported.

Table A. Scores for the body, neck and leg positions

Table A	Neck												
	1				2				3				
	Legs												
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Trunk Posture Score	1	1	2	3	4	1	2	3	5	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Table B. Scores for the upper arms, forearms and wrists

Table B	Lower Arm						
	1			2			
	Wrist						
		1	2	3	1	2	3
Upper Arm Score	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Table C. General scoring matrix

Score A (score form table A +load/force score)	Table C											
	Score B, (table B value + coupling score)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Table D. Movement scores

+1 1 or more body parts are held longer than a minute (static)
+1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
+1 Action causes rapid large range change in postures or unstable base

Table E. REBA general scoring

1 = Negligible risk
2 or 3 = low risk, change may be needed
4 to 7 = medium risk, further investigation, change soon
8 to 10 = high risk, investigate & implement change
11+ = very high risk, implement change

Legal/special permission

None was required as the current work system was established by the authors in a newly installed experimental facility.

Contribution of Researchers

Hacı Mehmet Alakaş contributed to establish the mathematical model, evaluate the ergonomic risk of tasks and write the manuscript draft. Mehmet Pınarbaşı contributed to the followings in the study: Collection of data and analysis of results. İsmet Sönmez prepared a literature review, obtaining the solution of the mathematical model and writing the manuscript. Ahmet Yüksel contributed to literature review, obtaining the solution of the mathematical model and writing the manuscript.

Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Ağralı, S, Taşkın, Z. C. & Ünal, A. T. (2017). Employee scheduling in service industries with flexible employee availability and demand. *Omega*, 66,159-169. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.03.001>
- Al-Yakoob, S. M. & Sherali, H. D. (2007). Mixed-integer programming models for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations. *Annals of Operations Research*, 155, 119–142. <https://doi.org/10.1007/s10479-007-0210-4>
- Azaiez, M. N. & Al Sharif, S. S. (2005). A 0-1 Goal Programming Model for Nurse Scheduling. *Comput. Oper. Res.*, 32, 491–507. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00249-1](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00249-1)
- Bedir, N., Eren, T. & Dizdar, E.N. (2017). Ergonomik personel çizelgeleme ve parekende sektöründe bir uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 5-10. <https://doi.org/10.21923/jesd.331259>
- Bektur G, Hasgül S (2013) Kıdem seviyelerine göre işgücü çizelgeleme problemi: Hizmet sektöründe bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi* 11(2):385-402
- Bhulai, S., Koole, G. & Pot, A. (2008). Simple methods for shift scheduling in multiskill call centers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(3), 411-420. <https://doi.org/10.1287/msom.1070.0172>

- Boyer, V., Gendron, B. & Rousseau, L. M. (2014). A branch-and-price algorithm for the multi-activity multi-task shift scheduling problem. *Journal of Scheduling*, 17(2), 185-197. <https://doi.org/10.1287/msom.1070.0172>
- Brezulianu, A., Fira, M. & Fira, L. (2009). A genetic algorithm approach for a constrained employee scheduling problem as applied to employees at mall type shops, *Proceedings of the 2009 International Conference on Hybrid Information Technology*, Dong Seoul University, Korea, ACM. <https://doi.org/10.1145/1644993.1645085>
- Brunner, J.O., Bard J. F. & Kolisch, R. (2009). Flexible shift scheduling of physicians. *Health Care Management Science*, 12(3), 285-305. <https://doi.org/10.1007/s10729-008-9095-2>
- Charnes, A. & Cooper, W. W. (1977). Goal programming and multiple objective optimizations: Part 1. *European journal of operational research*, 1(1), 39-54. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(77\)81007-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(77)81007-2)
- Çöl, G. (2013). *Goal Programming Approach to Workforce Scheduling Problem with Different Seniority Levels (Master's Thesis)*. Eskisehir Osmangazi University Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskisehir.
- Cuevas, R., Ferrer, J. C., Klapp, M. & Muñoz, J. C. (2016). A mixed integer programming approach to multi-skilled workforce scheduling. *Journal of Scheduling*, 19(1), 91-106. <https://doi.org/10.1007/s10951-015-0450-0>
- Dewi, D. S. & Septiana, T. (2015). Workforce Scheduling Considering Physical and Mental Workload: A Case Study of Domestic Freight Forwarding. *Procedia Manufacturing*, 4, 445-453. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.061>
- Drezet, L. E. & Billaut, J. C. (2008). Employee scheduling in an IT company. *Resource-Constrained Project Scheduling: Models, Algorithms, Extensions and Applications*, 243-255.
- Eren, T. & Varli, E. (2017). Shift Scheduling Problems and A Case Study. *Int. J. Inform. Technol*, 10, 185–197.
- Firat, M. & Hurkens, C. A. J. (2012). An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem. *Journal of Scheduling*, 15(3), 363-380. <https://doi.org/10.1007/s10951-011-0245-x>
- Günther, M. & Nissen, V. (2010). Particle swarm optimization and an agent-based algorithm for a problem of staff scheduling. *European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*, Springer-Heidelberg, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12242-2_46
- Hignett, S. & Mcatamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*, 31(2), 201-205. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- Hojati, M. (2018). A greedy heuristic for shift minimization personnel task scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 100, 66-76. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.07.010>
- Kaçmaz, S. Ö., Alakaş, H. M. & Eren, T. (2019). Shift Scheduling with the Goal Programming Method: A Case Study in the Glass Industry. *Mathematics*, 7(6), 561-583. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.07.010>
- Krishnamoorthy, M., Ernst, A. T. & Baatar, D. (2012). Algorithms for large scale shift minimisation personnel task scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 219(1), 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.034>
- Laesanklang, W., Pinheiro, R. L., Algethami, H. & Landa-Silva, D. (2015). Extended decomposition for mixed integer programming to solve a workforce scheduling and routing problem. *International Conference on Operations Research and Enterprise Systems*, Lisbon, Portugal. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27680-9_12
- Lapègue, T., Odile, B. M. & Damien, P. (2013). A constraint-based approach for the shift design personnel task scheduling problem with equity. *Computers & Operations Research*, 40(10), 2450-2465. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.04.005>

- Liao, S., Van Delft, C. & Vial, J. P. (2013). Distributionally robust workforce scheduling in call centers with uncertain arrival rates. *Optimization Methods and Software*, 28(3), 501-522. <https://doi.org/10.1080/10556788.2012.694166>
- Louly, M. A. O. (2013). A goal programming model for staff scheduling at a telecommunications center. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research*, 12(2), 167-178. <https://doi.org/10.1007/s10852-012-9200-x>
- Mengoni, M, Matteucci, M. & Raponi, D. (2017). A multipath methodology to link ergonomics, safety, and efficiency in factories. *Procedia Manufacturing*, 11, 1311-1318. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.259>
- Omar, E. R., Garaix, T., Augusto, V. & Xie, X. (2015). A stochastic optimization model for shift scheduling in emergency departments. *Health Care Management Science*, 18(3), 289-302. <https://doi.org/10.1007/s10729-014-9300-4>
- Otto, A & Scholl, A. (2013). Reducing ergonomic risks by job rotation scheduling. *OR spectrum*, 35(3), 711-73. <https://doi.org/10.1007/s00291-012-0291-6>
- Özcan, E. C., Varli, E. & Eren, T. (2017). Goal Programming Approach for Shift Scheduling Problems in Hydroelectric Power Plants. *J. Inf. Technol*, 10, 363–370.
- Özder, E. H., Varli, E. & Eren, T. (2017). A Model Suggestion for Cleaning Staff Scheduling Problem with Goal Programming Approach. *Karadeniz J. Sci.*, 7, 114–127.
- Parisio, A. & Jones, C. N. (2015). A two-stage stochastic programming approach to employee scheduling in retail outlets with uncertain demand. *Omega*, 53, 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.01.003>
- Polat, O., Mutlu, Ö., Çakanel, H., Doğan, O., Özçetin, E. & Şen, E. (2017). Working Posture Analyses of Workers with Reba Method in a Furniture Factory. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5, 263-268. <https://doi.org/10.21923/jesd.41742>
- Polat, O., Mutlu, Ö. & Özgormus, E. (2018). A Mathematical Model For Assembly Line Balancing Problem Type 2 Under Ergonomic Workload Constraint. *The Ergonomics Open Journal*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/10.2174/1875934301811010001>
- Prot, D., Lapègue, T. & Bellenguez-Morineau, O. (2015). A two-phase method for the shift design and personnel task scheduling problem with equity objective. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7286-7298. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1037023>
- Rocha, M., Oliveira, J. F. & Carravilla, M. A. (2014). A constructive heuristic for staff scheduling in the glass industry. *Annals of Operations Research*, 217(1), 463-478. <https://doi.org/10.1007/s10479-013-1525-y>
- Salvagnin, D. & Walsh, T. (2012). A hybrid MIP/CP approach for multi-activity shift scheduling. *International Conference on Principles, and practice of constraint programming*. Springer-Heidelberg, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33558-7_46
- Smet, P., Wauters, T., Mihaylov, M. & Berghe, G. V. (2014). The shift minimisation personnel task scheduling problem: A new hybrid approach and computational insights. *Omega*, 46, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.02.003>
- Solos, L. P., Tassopoulos, I. X. & Beligiannis, G. N. (2016). Optimizing shift scheduling for tank trucks using an effective stochastic variable neighbourhood approach. *Int. J. Artif. Intell.*, 14(1), 1-26.
- Soukour, A. A., Devendeville, L., Lucet, C. & Moukrim, A. (2012). Staff scheduling in airport security service. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(6), 1413-1418. <https://doi.org/10.3182/20120523-3-RO-2023.00169>

Topaloglu, S. (2009). A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 943-957. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.10.032>

Valls, V., Pérez, A. & Quintanilla, S. (2009). Skilled workforce scheduling in service centers. *European Journal of Operational Research*, 193(3), 791-804. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.008>

Varli, E., Alagas, H. M., Eren, T. & Özder, E. H. (2017). Goal Programming Solution of the Examiner Assignment Problem. *Bilge Int. J. Sci. Technol. Res.*, 1, 105–118.

Wongwien, T. & Nanthavanij, S. (2012a). Ergonomic workforce scheduling under complex worker limitation and task requirements: Mathematical model and approximation procedure. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 34(5), 541-549.

Wongwien, T. & Nanthavanij, S. (2012b). Ergonomic Workforce Scheduling for Noisy Workstations with Single or Multiple Workers per Workstation. *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, 20(3), 34-39.

Zolfaghari, S., Quan, V., El-Bouri, A. & Khashayardoust, M. (2009). Application of a genetic algorithm to staff scheduling in retail sector. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 5(1), 20-47. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2010.029755>



Journal of Turkish Operations Management

Tedarikçi seçiminde kullanılan çok kriterli karar verme metotları

Adem PINAR

Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı, 06135, Gümüşdere, Ankara, Türkiye
e-mail: adempinar@yahoo.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-0471-7204>

Makale Girişi

Makale Geçmişi:

Geliş: 13.12.2020
Revize: 17.12.2020
Kabul: 19.12.2020

Anahtar Kelimeler

Çok kriterli karar verme metotları,
Tedarikçi seçimi,
Tedarik zinciri

Özet

Günümüz iş dünyasında işletmelerin tedarikçilerle karşılıklı olumlu ortaklıklar oluşturulmasının; ürün kalitesini arttırdığı, hammadde veya yarı mamullerin maliyetlerini azalttığı, esnek üretimi sağladığı ve en önemlisi de müşteri memnuniyetini artırdığı görülmektedir. Dolayısıyla, etkili bir tedarik zincirinde tedarikçi seçiminin doğru yapılabilmesi karar vericiler açısından hayati öneme sahiptir. Bu çalışmada tedarikçi seçiminde kullanılan çok kriterli karar verme metotları tanıtılmış ve literatürde tedarikçi seçimi konusunda özellikle son 20 yılda çok kriterli karar verme metotları kullanılarak yapılan 153 akademik çalışma analiz edilmiştir. Bu akademik çalışmalarda kullanılan metotların tekli, entegre, klasik veya bulanık olma durumunun yanında seçim yapılan tedarikçilerin bulunduğu sektörler de analiz edilmiştir. Sonuç olarak tedarikçi seçiminde en fazla AHP ve bulanık TOPSIS metotlarının kullanıldığı, son yıllarda bulanık metotlara ilginin arttığı ve TS konusundaki çalışmaların teknoloji gerektiren sektörlerde daha fazla yapıldığı tespit edilmiştir.

Multiple criteria decision making methods used in supplier selection

Article Info

Article History:

Received: 13.12.2020
Revised: 17.12.2020
Accepted: 19.12.2020

Keywords

Multi criteria decision making methods,
Supplier selection,
Supply chain

Abstract

In today's business world, enterprises setting bilateral positive partnerships with suppliers increases the product quality, reduces the costs of raw materials or semi-finished products, provides flexible production and most importantly contributes to customer satisfaction. Therefore, it is vital for decision makers to choose the right supplier in an effective supply chain. In this study, multi-criteria decision-making methods used in supplier selection are introduced and 153 articles on supplier selection in the literature, studied especially in the last 20 years, have been analyzed using multiple criteria decision-making methods. In addition to the methods usage of singular, integrated, classical or fuzzy in these academic studies, the sectors of the selected suppliers are also analyzed. It is concluded that mostly AHP and fuzzy TOPSIS methods are used in supplier selection, interest in fuzzy methods has increased in recent years and SS studies have been done more in sectors that require technology.

1. Giriş

İletişim teknolojilerinin hızla gelişimi ve küreselleşmenin şekillendirdiği günümüz iş dünyasında işletmeler, maliyetleri azaltmak, iş süreçlerini iyileştirmek ve müşteri memnuniyetini en yüksek seviyeye çıkarabilmek maksadıyla yeni tedarikçiler ve dağıtım kanallarına doğru yayılmaya özen göstermişlerdir. Söz konusu işletmeler ayrıca, tedarik zincirinin kapsadığı lojistik, stok, tedarik, müşteri yönetimi, ürün geliştirme ve finansal fonksiyonlar gibi alanlarda boşa harcanan her türlü eylemin ortadan kaldırılmasına gayret etmektedirler. İşletmeler tedarikçilerle karşılıklı olumlu ortaklıklar oluşturulmasının; ürün kalitesini arttırdığı, hammadde veya yarı mamullerin maliyetlerini azalttığını, esnek üretimi sağladığı ve en önemlisi de müşteri memnuniyetinde ciddi katkı oluşturduğunu görmüşlerdir. Dolayısıyla alternatif tedarikçilerin hassas bir şekilde değerlendirilmesi ve ihtiyaç duyulan kriterler ışığında en uygun tedarikçinin seçilmesi işletmeler için oldukça önemli bir husus haline gelmiştir.

Tedarikçi seçimi (TS), çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) kullanılarak birden fazla alternatif arasından ihtiyaç duyulan kriterler dikkate alınarak en iyi tedarikçinin seçilme kararını verme sürecidir. Söz konusu seçim hem fiyat, teslimat süresi vb. gibi niceliğe dayanan hem de kalite, teknik yeterlilik vb. gibi niteliğe dayanan onlarca kriter ve faktörleri içermektedir. Tedarikçilerin değerlendirilmesi sürecinde öncelikle konunun uzmanları tarafından ihtiyaç duyulan kriterler belirlenir ve her bir alternatif tedarikçi niteliksel ve niceliksel kriterlere göre değerlendirilirler. Bu değerlendirmeler, çok kriterli karar verme metodları yardımı ile nihai karara dönüştürülür.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde tedarik zinciri ve tedarikçi seçimi kavramlarının tarihi gelişimi işlendikten sonra üçüncü bölümde tedarikçi seçiminde kullanılan karar verme metodları incelenmiş ve bu metodların literatürdeki kullanımına yönelik detaylı bir tarama yapılmış ve tablolarda gösterilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen bulgular sunulmuş, beşinci ve son bölümde sonuçlar arz edilmiştir.

2. Tedarik zinciri yönetimi ve tedarikçi seçimi

2.1 Tedarik zinciri yönetimi

1980'lerde lojistik operasyon yönetiminin karşılığı olarak ortaya çıkmış olan tedarik zinciri yönetimi kavramının literatürde birçok tanımı mevcut olmakla birlikte, geniş kabul görmüş bir tanımı olduğunu söylemek iddialı olsa da uzlaşma sağlanan en önemli husus tedarik zincirinin lojistikten fazlası olduğu gerçeğidir (Stock & Boyer, 2009). Lojistik tek bir organizasyonun sınırları içerisinde meydana gelen eylemleri kapsarken tedarik zinciri birlikte çalışan ve ürünün pazara dağıtım eylemlerini uyumlaştıran bir şebekeyi temsil eder. Tedarik zincirinin odak noktası tedarikçi ve müşteri arasında işbirliği ve karşılıklı güvenden doğacak olan sinerjidir (Christopher, 2016). Ayrıca tedarik zinciri yönetimi lojistiğe ilave olarak pazarlama, yeni ürün geliştirme, finans ve müşteri hizmetleri gibi konularla da ilgilenir. Basit bir tedarik zinciri tedarikçi ve müşterilerden oluşurken genişletilmiş tedarik zincirinde bu aktörlere ilaveten; zincirin en tepesinde tedarikçinin tedarikçisi (nihai tedarikçi), en altta müşterinin müşterisi (nihai müşteri), ve tedarik zincirinin mali, lojistik, pazarlama ve bilgi ihtiyaçlarına yönelik destek veren hizmet sağlayıcıları bulunur (Hugos, 2018; Mentzer ve diğ., 2001).

2.2 Tedarikçi seçimi

Belirlediği hedeflere ulaşmak isteyen her işletme tedarik sürecini etkin bir şekilde yönetmek zorundadır. Tedarik yönetimi çalışmalarının en önemli bileşenlerinden biri de tedarikçilerin değerlendirilmesidir. İşletme ile tedarikçi arasındaki ilişkilerin yönetilmesi, tedarikçilerin geliştirilmesi ve tedarikçi ile stratejik ilişkilerin belirlenmesine yönelik olarak büyük önem arz etmektedir.

Tedarik zinciri yönetiminde bulunan makro süreçlerden biri olan Tedarikçi İlişkileri Yönetimi süreci tedarikçilerin seçimi ve değerlendirmesini kapsar. Uygun TS, satın alma maliyetlerini düşürebilir, üretimde esnekliği artırabilir, ürün kalitesini artırabilir, müşteri memnuniyeti sağlayabilir ve organizasyonun rekabet yeteneğine önemli ölçüde katkı sağlayabilir. İşletmelerin ürettiği ürünün kalitesi, üretim kabiliyetinin yanı sıra tedarikçi tarafından temin edilen hammaddeye de bağlı olmaktadır. Tedarikçilerle yapılan uzun süreli iş ilişkisinin en önemli bileşeni uygun tedarikçiyi seçmektir (Özbek, 2014).

Dickson (1966) TS ile ilgili literatürdeki ilk çalışmada, 273 adet işletmedeki satın alma sorumlusu ile görüşmüş ve sonuç olarak TS'ye etki eden başta kalite, teslimat ve performans geçmişi olmak üzere 23 kriter ortaya koymuştur. Dickson'dan sonra bu konuda Weber ve arkadaşları (1991), 1966-1990 yılları arasında TS ile ilgili yapılmış 74 çalışmayı analiz etmiş ve en çok üzerinde durulan kriterlerin fiyat, teslim zamanı ve ürün kalitesi olduğu sonucuna varmışlardır.

Chao ve diğ. (1993), TS'nin altı temel kriterini vurgulayarak Çinli tedarik yöneticilerini örnek olarak kullandığı çalışmada, katılımcıları tedarikçi değerlendirme süreçlerindeki benzerliklere dayanarak üç kümeye ayırmış ve bu kümeleri yöneticilerin güvenilir teslimatları, fiyat/maliyet değerlendirmelerini veya ürün kalitesini vurgulayıp

vurgulamadığı açısından farklılaştırmıştır. Wilson (1994) 20. yüzyılın sonunda TS kriterlerindeki değişim üzerine çalışmalar yapmış, Swift (1995) tekli ve çoklu kaynak kullanımını tercih eden satın alma yöneticilerinin TS kriterlerini incelemiş, Choi ve Hartley (1996) farklı düzeylerdeki otomotiv endüstri şirketlerinin anketlerine dayanarak TS uygulamalarını karşılaştırmıştır. Verma ve Pullman (1998) yöneticilerin farklı tedarikçi özelliklerine yönelik önem algıları ile gerçek durumdaki TS'leri arasındaki farkı incelemiş, Ganeshan ve diğ. (1999) biri güvenilir diğeri güvenilmez iki tedarikçiyi kullanma seçeneğine sahip bir tedarik zincirinin dinamiklerini inceleyen çalışmasında, transit stokları ve nakliye maliyetlerini içeren iki tedarikçinin maliyet ekonomisini daha geniş bir envanter-lojistik çerçevesi içinde analiz etmiş, Vonderembse ve Tracey (1999) TS'de kriterlerin belirlenmesi sürecinin şirketlerin performanslarını etkilediğini öne sürmüştür.

Huang ve Keskar (2007) TS kararlarında sayısal yöntemlerden önce doğru metriklerin seçilmesinin gerektiğini öne sürerek, ürüne yönelik (güvenilirlik, duyarlılık, esneklik), tedarikçiye yönelik (maliyet ve altyapı) ve topluma yönelik (güvenlik ve çevre) olarak 3 grupta toplam 107 metrik belirlemişlerdir. Kar ve Pani'de (2014) Hint üretim sektöründeki TS kriterlerinin önem derecelerini incelemiş ve 7 kriterin (kalite, dağıtım, fiyat, üretim yeteneği, teknoloji kabiliyeti, mali durum ve elektronik işlem yeteneği) kritik öneme haiz olduğunu belirlemiştir.

Son yıllarda TS kriterlerine yönelik olarak yapılan bazı çalışmalarda (Ghoushchi ve diğ., 2018) ekonomik kriterler kadar çevresel (kirlilik kontrolü, yenilenebilir enerji kullanımı, ozon tabakasına etkisi, geri dönüşüm durumu, su ve enerji tüketimi vb.) ve sosyal (işçi, altyüklenici hakları, iş, işçi sağlığı ve bilgi güvenliği, yerel kamuoyundaki nüfuzu ve güvenilirliği vb.) kriterlere de ağırlık verilmiştir. Badorf ve diğ. (2019) tedarikçilerin ölçek ekonomisinin müşterilerin tedarikçiyi seçme kararı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu, bununla birlikte tedarikçilerin ölçek ekonomileri arttıkça seçim kararı etkisinin azaldığını öne sürmüşlerdir.

2.2.1. Tedarikçi seçimi problemi

TS probleminin parametreleri tedarik edilecek ürüne ve miktarına, hangi ürünün tedarik edileceğine, hangi tedarikçiden hangi dönemde tedarik edileceğine göre değişmektedir. Bu kapsamda TS problemleri; tedarik edilecek ürüne göre; yeni ürün için, ürün değişikliği durumunda ve mevcut ürün için TS problemi şeklinde 3 grupta toplanabilir.

Tedarikçi sayısına göre ise TS problemleri iki grupta ifade edilebilir; tek kaynaklı TS probleminde işletme ihtiyacını mevcut tedarikçi alternatiflerinden bir tanesi arasından seçerek karşılamaktadır. Çok kaynaklı tedarikçi seçim probleminde ise tedarik ihtiyacının birden fazla kaynaktan karşılanması durumunda işletme TS'de hangi tedarikçiden ne miktarda ürün alacağını kararını vermesi gerekmektedir. Aslında bu problemler çok amaçlı karar verme problemi olarak da ifade edilmektedir.

TS problemine tedarikçilerle ilişkiler açısından bakıldığında söz konusu problemler statik ve dinamik TS problemleri olarak ikiye ayrılır. Statik TS problemlerinde tedarikçilerle uzun süreli ilişki kurulması amaçlanmakta dinamik TS probleminde ise tedarikçilerin genellikle performans ölçümüne tabi tutularak çalışmaya veya ilişkinin sonlandırılmasına karar verilmesi söz konusu olmaktadır.

2.2.2. Tedarikçi seçimi süreci

TS hem niceliksel hem de niteliksel kriter ve faktörleri içermesi açısından çok kriterli bir süreçtir. Literatürde bulunan çalışmaların çoğunda ürün maliyeti, ürün kalitesi ve teslim zamanı öne çıkan kriterler olarak görülmektedir. Son dönemde yapılan çalışmalarda ürün geliştirme, tedarikçinin imalat yeterliliği, finansal durum ve ürün esnekliği gibi kriterlerin de kullanıldığı, seçim aşamasında uygulanan metotlarda da kriterler gibi değişiklikler gösterdiği saptanmıştır (Arslan, 2017). Problemin ortaya çıkışından TS'ye kadar olan Tedarikçi Seçim Süreci (TSS) dört aşamadan oluşmaktadır (De Boer ve diğ., 2001):

1. TS ile hedefin ortaya konması (Problemin tanımlanması).
2. TS'de dikkate alınması gereken kriterlerin belirlenmesi (TS kriterleri).
3. Amaçlara uymayan aday tedarikçilerin elenmesi (Ön Eleme).
4. Amaçlara uyan tedarikçiler için son seçimin yapılması (TS'de kullanılan modeller).

Bilinen tedarikçilerden yeni ürünler alınması veya bilinmeyen tedarikçilerden ürün veya hizmet alınacak olması durumlarında çok sayıda TS kriterinin dikkate alınması gerekir ki bu da yüksek seviyede belirsizlik ortamında karar vermeyi gerektirir. Belirsizliğin hesaplamalara yansıtılması için de bulanık karar verme yöntemleri kullanılmıştır (Ghorabae ve diğ., 2017)

3. Tedarikçi seçiminde kullanılan ÇKKV yöntemleri

Literatürdeki karar verme yöntemlerinin çoğu TS’de kullanılmıştır. Bu çalışmada TS’de kullanılan karar verme yöntemleri tanıtılmış ve önerilen çalışmalara değinilmiştir. Literatürde TS yöntemlerini inceleyen birçok çalışma mevcuttur.

Weber ve diğ. (1991) TS metotlarını Doğrusal Ağırlıklandırma, Matematiksel Programlama Modelleri ve İstatistiksel/Olasılıksal Yaklaşımlar olarak üç kategoride sınıflandırmış, en çok kullanılan yöntemin Doğrusal Ağırlıklandırma olduğu sonucuna varmıştır.

Degraeve ve diğ. (2000) yaptıkları çalışmada TS’de kullanılan yöntemleri tekli ve çoklu modeller olarak kategorize etmiştir. Tekli modelleri Puanlama/Doğrusal Ağırlıklandırma, Toplam Maliyet Yaklaşımı ve Matematiksel Programlama olarak belirtmiştir. Çoklu modellerde ise tekli modellerdeki üç yönetime ilave olarak istatistiksel yöntemleri ilave etmiştir.

Sönmez (2006) TS süreci, kriterler ve alıcı satıcı ilişkileri kapsamında hakemli dergilere ait 147 makaleyi incelemiş ve sonuç olarak tedarikçilerin değerlendirilmesinde niteliğin yeteri kadar ölçülememesinin sorun teşkil ettiğini belirtmiştir.

Ware ve diğ. (2012) 1991-2011 arasında yapılan toplam 200’ün üzerindeki akademik çalışmayı incelemiş, seçim kriterleri ve çözüm metotları üzerinde yoğunlaşmıştır. Agarwal ve diğ. (2011) TS yöntemleriyle ilgili 2000-2011 arasında yapılan çalışmalarını incelemiş ve Veri Zarflama Analizinin en çok kullanılan (%30) yöntem olduğu, bunun yanında matematiksel yöntemler (%17) ve Analitik Hiyerarşi Sürecinin (%15) de sık kullanılan yöntemler arasında olduğunu ifade etmiştir.

Wetzstein ve diğ. (2016) 1990-2015 arasında TS konusunda yayınlanmış 221 makaleyi TS yaklaşımları, TS kriterleri, yeşil TS, sürdürülebilir TS, strateji, ARGE, operasyon odaklı TS olacak şekilde 6 araştırma kapsamında detaylı olarak incelemiş, yeşil, sürdürülebilir ve strateji odaklı TS konularının gelişme aşamasında olduğu sonucuna varmıştır.

TS ve değerlendirmesi genellikle kesin bilginin yokluğunda çözülmesi gereken çok kriterli karar problemleri olarak düşünüldüğünden bu belirsizliği modellemek için bulanık kümeler kullanılmaktadır. Bulanık küme performans kriterlerinin ağırlıklarını ölçütlere göre belirleyerek, belirsiz tercihleri modellemek için matematiksel bir yol sunmaktadır. Tedarikçi seçim ve değerlendirme yöntemleri Simic ve diğ. (2017) tarafından tekil ve bütünlük yaklaşımları olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Mardani ve diğ. (2015) 2000-2014 arasında yayınlanmış 393 makaleyi içeren ÇKKV teknikleri ve uygulama alanlarına yönelik çalışmada, ÇKKV metotlarının kullanımına yönelik bazı bulgulara ulaşmış ve AHP (%32.57), TOPSIS (%11.4) ve ELECTRE (%8.65) metotlarının en çok kullanılan yöntemler olduğunu, bunun yanında hibrit ÇKKV yöntemlerinin de oldukça fazla tercih edildiğini (%16.28) ortaya koymuştur. Mardani ve diğ. (2015) ayrıca 1994-2014 arasında yayınlanmış bulanık ÇKKV teknikleri ve uygulamalarına yönelik 403 makaleyi incelemiş ve tüm ÇKKV uygulamaları içinde en fazla bulanık küme kullanılan uygulamaların Bulanık AHP (%9.53), Bulanık TOPSIS (%7.31) ve Bulanık ANP (% 2.41) olduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde Ghorabae ve diğ. (2017) tedarikçi değerlendirmesinde bulanık ÇKKV konusunda yaptığı çalışmada hem tekli hem de bütünlük yaklaşımlarda AHP ve TOPSIS metotlarının en çok tercih edilen bulanık yöntemler olduğunu sonucuna varmıştır.

3.1. Karar verme yöntemleri

Bu bölümde TS’de kullanılan karar verme metotları açıklanmış ve literatürde bulunan başlıca tedarikçi seçim uygulamaları sunulmuştur. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1.1. Geleneksel yöntemler

Kategorik yöntemler

Kategorik yöntemler, geçmiş verilere dayanarak alıcının mevcut veya tanıdık tedarikçilerinin tecrübeleri bazı kriterler üzerinde değerlendirildiği niteliksel modellerdir. Tedarikçinin performansının “pozitif”, “tarafsız” veya “negatif” olarak sınıflandırıldığı değerlendirmelerden oluşur. Tedarikçi tüm kriterlere göre derecelendirildikten sonra, alıcı, üç seçenek arasından genel bir değerlendirme yapar ve tedarikçiler üç kategoriye ayrılır. Nihai karar, karar verici tarafından bu veriler üzerinden verilmektedir (De Boer ve diğ., 2001).

Doğrusal ağırlık modelleri

Bu yöntemde en yüksek ağırlığı gösteren kritere en yüksek önem derecesi verilir. Kriterler ağırlık katsayıları ile çarpılarak her bir tedarikçi için derecelendirme yapılır. Ağırlık nokta yöntemi olarak da adlandırılan söz konusu

yöntem sayısal olmakla birlikte genellikle öznel değerlendirmeler kullanılarak uygulanmıştır. Bu yöntemin avantajı esnek, kolay ve düşük maliyetli uygulanabilir olması, olumsuz tarafı ise performans değerlendirmesinde kullanılan kriterlerin 0-100 ölçeği veya yüzdesel değerlendirmeler gibi kriterlerin öz niteliğini yansıtamayan kriterler kullanılmasıdır (De Boer ve diğ., 2001).

Tablo 1. Matematiksel programlama yöntemlerinin TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Gaballa	1974	Karışık Tamsayılı Programlama (TP)	Tedarikçi fiyatlarını minimize etme
2	Anthony ve Buffa	1977	Doğrusal Programlama (DP)	Stratejik Tedarik Planlama
3	Karpak ve diğ.	2001	Hedef Programlama	Üretim
4	Ghodsypour ve O’Brien	2001	Karışık Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama	Varsayıma dayanan örnek
5	Talluri	2002	İkili TP	Sağlık
6	Talluri ve Narasimhan	2003	DP	Sağlık
7	Hong ve diğ.	2005	Karışık TP	Tarım - İnşaat
8	Narasimhan ve diğ.	2006	Çok Amaçlı Programlama (ÇAP)	Elektrik-Elektronik
9	Amid ve diğ.	2006	Bulanık ÇAP	Varsayıma dayanan örnek uygulama
10	Ng	2008	DP	Tarım
11	Amin ve Zhang	2012	Çok Amaçlı Karışık Tamsayılı DP	Elektrik-Elektronik
12	Nazari-Shirkouhi	2013	Bulanık Çok Amaçlı DP	Varsayıma dayanan örnek
13	Ware ve diğ.	2014	Karışık Tamsayılı DP	Varsayıma dayanan örnek
14	Çalık	2018	Bulanık Çok Amaçlı DP ve Bulanık AHP	Varsayıma dayanan örnek
15	Torğul ve Paksoy	2019	Çok Amaçlı DP ve Bulanık TOPSIS	Varsayıma dayanan örnek

3.1.2. Matematiksel programlama

Uygun bir karar kriteri verildiğinde, Matematiksel programlama (MP) karar vericinin karar problemini belirli kısıtlar altında karı en büyükleme veya maliyeti en küçükleme gibi amaçları dikkate alarak formüle etmesini sağlar. MP modelleri karar vericiyi amaç fonksiyonuna uymaya zorladıkları için derecelendirme yöntemlerine göre daha objektiftir ve genellikle daha nicel kriterleri dikkate alır. TS’de matematiksel programlamayı ilk defa Gaballa (1974) Karışık Tamsayılı Programlama ile tedarikçi maliyetlerini en küçükleme için kullanmıştır. TS’de birçok matematiksel programlama yöntemi kullanılmıştır (Tablo 1). Bunlardan bazıları; Doğrusal / Doğrusal Olmayan Programlama (DP/DOP), Hedef Programlama (HP), Çok Amaçlı (Doğrusal) Programlama (ÇAP), Tamsayılı/Karışık Tamsayılı/ Karışık İkili Tamsayılı (Doğrusal ve Doğrusal Olmayan) Programlama sayılabilir.

3.1.3. Analitik hiyerarşi süreci (analytic hierarchy process -AHP)

Analitik Hiyerarşi Süreci Saaty (1980) tarafından geliştirilmiştir. Karar vericilerin Saaty’nin geliştirdiği ölçek kullanılarak kriterlerin göreceli önem derecelerini belirlemesine ve bu şekilde karar alternatiflerinin öncelik sırasının elde edilmesine dayanır ve TS’de yaygın olarak kullanılmıştır (Tablo 2). AHP’nin özelliği karar alternatiflerine ve kriterlerine göreceli önem değerleri vermesidir. AHP’nin aşamaları;

Aşama 1: Hiyerarşik yapının oluşturulması

Aşama 2: İkili karşılaştırma matrislerinin ve üstünlüklerin belirlenmesi

Aşama 3: Özvektörün belirlenmesi

Aşama 4: Özvektörün tutarlılığının hesaplanması

Aşama 5: Hiyerarşik yapının genel sonucunun elde edilmesidir.

3.1.4. Analitik ağ süreci (analytical network process-ANP)

Analitik Ağ Süreci AHP’nin daha genelleştirilmiş hali olarak yine Saaty (1996) tarafından geliştirilmiş ve TS’de yaygın olarak kullanılmış bir ÇKKV yöntemidir (Tablo 3). Bu yöntemin geliştirilmesinin başlıca nedeni AHP’nin

hijerarşik yapılandırma gereğinden kurtulmaktır. ANP’de hijerarşik yapı yerine kümeler arasındaki etkileşimleri de dikkate alan bir ağ yapısı mevcuttur (Tzeng & Huang, 2011). AHP ve ANP’de alternatifler kriterlere göre karşılaştırılır. Aralarındaki temel fark; AHP’de amaç doğrultusunda kriterlerin önem dereceleri hesaplanır ve bu da alternatiflerin öncelik derecelerini etkilerken, ANP’de alternatifler dikkate alınarak kriterlerin önem dereceleri hesaplanır. ANP ile yapılan tedarikçi seçimi çalışmaları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Analitik hijerarşi sürecinin TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Muralidharan ve diğ.	2002	AHP	Üretim
2	Chan	2003	AHP	Varsayıma dayanan örnek
3	Chan ve Chan	2004	AHP	Elektrik-Elektronik
4	Liu ve Hai	2005	AHP	Mobilya ve beyaz eşya
5	Percin	2006	AHP - HP	Otomotiv
6	Hou ve Su	2006	AHP	Elektrik-Elektronik
7	Huang ve Keskar	2007	AHP - Çok Nitelikli Fayda Teorisi (MAUT)	Elektrik-Elektronik
8	Chan ve diğ.	2007	AHP	Ulaştırma- Lojistik
9	Chan ve Kumar	2007	Bulanık AHP	Üretim
10	Xia ve Wu	2007	AHP- Çok Amaçlı Karışık TP	Varsayıma dayanan örnek
11	Kull ve Talluri	2008	AHP - HP	Otomotiv
12	Mendoza ve diğ.	2008	AHP - HP	Varsayıma dayanan örnek
13	Kokangül ve Susuz	2009	AHP - Tamsayı DOP	Otomotiv
14	Lee ve diğ.	2009	Bulanık AHP	Elektrik-Elektronik
15	Amid ve diğ.	2011	AHP - Maks-min Bulanık programlama	Varsayıma dayanan örnek
16	Khorasani ve Bafruei	2011	Bulanık AHP	Sağlık
17	Kilincci ve Onal	2011	Bulanık AHP	Mobilya ve beyaz eşya
18	Mafakheri ve diğ.	2011	AHP - Dinamik Programlama	Varsayıma dayanan örnek
19	Asamoah ve diğ.	2012	AHP	Sağlık
20	Chen ve Chao	2012	AHP	Elektrik-Elektronik
21	Bruno ve diğ.	2012	AHP	Ulaştırma- Lojistik
22	Rajesh ve Malliga	2013	AHP-Kalite Göçerimi (QFD) Fonksiyon	Üretim
23	Kar	2014	AHP-Bulanık HP	Üretim
24	Rezaei ve diğ.	2014	Bulanık AHP	Ulaştırma- Lojistik
25	Dweiri ve diğ.	2016	AHP	Otomotiv
26	Awasthi ve diğ.	2018	Bulanık VIKOR AHP-Bulanık	Varsayıma dayanan örnek
27	Çalık	2019	Bulanık TOPSIS AHP-Bulanık	Sürdürülebilir tedarikçi seçimi
28	Hosseini ve Al Khaled	2019	AHP ve hibrit istatistik metotları.	Varsayıma dayanan örnek
29	Çalık	2020	Bulanık (AHP-TOPSIS-VIKOR-MOORA)	Sürdürülebilir tedarikçi seçimi (üretim)
30	Öztürk ve Yıldızbaşı	2020	Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	Blokchain ve Tedarik Zinciri

ANP’nin aşamaları şu şekildedir (Saaty, 1996):

Aşama 1: Karar probleminin tanımlanması

Aşama 2: Bağımlılıkların tespiti

Aşama 3: İkili karşılaştırma yapılması

Aşama 4: Süpermatrisin oluşturulması

Aşama 5: Limit Süpermatrisin elde edilmesi

Aşama 6: En iyi alternatifin seçimidir

3.1.5. VIKOR metodu

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) metodu, karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için Opricovic (1998) tarafından ÇKKV problemlerine uygulanabilir bir teknik olarak sunulmuştur. Yöntem, verilen ilk ağırlıklar ile elde edilen uzlaşma çözümünün tercih kararının verilebilmesi için uzlaşık sıralama listesini, uzlaşma çözümünü ve ağırlıklandırılmış karar aralıklarını belirler.

Bu yöntem, kriterlerin çeliştiği durumlarda alternatifler arasından sıralama ve seçme üzerine odaklanır. “İdeal” çözüme “yakınlığın” özel ölçüsüne dayanan çok kriterli sıralama endeksi şeklinde tanımlanabilir. Her bir alternatifin bir kritere göre değerlendirildiğini varsayarak, uzlaşma ölçüsü, ideal alternatife olan yakınlığı ölçülerek karşılaştırılabilir (Opricovic, 1998). Uzlaşık çözümün temelleri Yu (1973) ve Zeleny (1982) tarafından atılmıştır. Uzlaşma sıralaması için kullanılan çok kriterli ölçüm, uzlaşma programlama yönteminde bir toplama fonksiyonu olarak kullanılan L_p metriğinden geliştirilmiştir (Opricovic & Tzeng, 2004). Sonuç olarak, VIKOR yöntemi karar vericinin sürecin sonunda etkin olarak katılım sağladığı ve nihai çözüme fikir ayrılıklarına rağmen uzlaşmanın tercih edileceği şekilde karar vereceği TS’de zaman zaman kullanılmış (Tablo 4) bir yöntemdir.

Tablo 3. Analitik ağ sürecinin TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Sarkis ve Talluri	2002	ANP	Üretim
2	Bayazit	2006	ANP	Varsayımaya dayanan örnek
3	Shyur ve Shih	2006	ANP - TOPSIS	Varsayımaya dayanan örnek
4	Gencer ve Gürpınar	2007	ANP	Elektrik-Elektronik
5	Razmi ve diğ.	2009	Bulanık ANP	Varsayımaya dayanan örnek
6	Wu ve diğ.	2009	ANP - Karışık TP	Elektrik-Elektronik
7	Kuo ve diğ.	2010	ANN – ANP - VZA	Elektrik-Elektronik
8	Wei ve diğ.	2010	Bulanık ANP	Varsayımaya dayanan örnek
9	Liao ve diğ.	2010	ANP	Elektrik-Elektronik
10	Büyüközkan ve Çiftçi	2011	Bulanık ANP	Mobilya ve beyaz eşya
11	Vinodh ve diğ.	2011	Bulanık ANP	Elektrik-Elektronik
12	Lin	2012	Bulanık ANP Çok Amaçlı DP	Varsayımaya dayanan örnek
13	Dargi ve diğ.	2014	Bulanık ANP	Otomotiv
14	Tavana ve diğ.	2017	ANP-QFD	Varsayımaya dayanan örnek
15	Abdel-Basset ve diğ.	2018	ANP-TOPSIS	Varsayımaya dayanan örnek
16	Zaied ve diğ.	2019	ANP	Varsayımaya dayanan örnek

Tablo 4. VIKOR metodunun TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Sanayei ve diğ.	2010	Bulanık VIKOR	Otomotiv
2	Awasthi ve Kannan	2016	Nominal Grup Tekniği ve Bulanık VIKOR	Yeşil TS
3	Luthra ve diğ.	2017	AHP VE VIKOR	Yeşil TS
4	Zhao ve diğ.	2017	Bulanık VIKOR	Sağlık ve Otomotiv
5	Banaeian ve diğ.	2018	Bulanık- TOPSIS, VIKOR, Gri İlişkisel Analiz (GİA)	Yeşil tedarik (Tarım)

3.1.6. TOPSIS metodu

1981’de Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), pozitif ideal çözüme en kısa, negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip alternatifleri seçmeye çalışan basit bir algoritma ile çalışır. Pozitif ideal çözüm, fayda kriterlerini en üst düzeye çıkarır ve maliyeti en aza indirir. Negatif ideal çözüm ise maliyet kriterlerini artırır ve fayda kriterlerini en aza indirir. Yani TOPSIS ile alternatiflerden pozitif ideal çözüme yakın negatif ideal çözüme uzak olan alternatifin seçilmesi amaçlanır (S.-J. Chen & Hwang, 1992; Yoon & Hwang, 1995).

Behzadian ve diğ. (2012) TOPSIS’le ilgili olarak 2000-2011 yılları arasında 103 akademik dergide yayınlanan 266 makaleyi incelemiş ve TOPSIS metodolojisinin en fazla bulanık küme (%52,2) ve grup karar verme (%28,6) yaklaşımları ve AHP (%23,3) ile birlikte kullanıldığı ve disiplinler arası bir yaklaşım gerektirdiği sonucuna

varmışlardır. TOPSIS bulanık sayılarla, diğer ÇKKV yöntemleri ile entegre veya yalın olarak her şekilde TS’de yaygın olarak kullanılmıştır (Tablo 5).

3.1.7. ELECTRE metodu

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) yöntemi kriterler için alternatifler arasında ikili karşılaştırmalara dayanır. Yöntem kendi içinde problemin ele alınışına göre seçim, sıralama ve sınıflandırma olarak üç başlık altında incelenmektedir (Benayoun, Roy, & Sussman, 1966). ELECTRE-I’in ELECTRE-IV ve ELECTRE-IS olarak bilinen iki başka versiyon daha ortaya çıkmıştır. ELECTRE-IV bir veto eşiği kavramını dikkate almıştır ve ELECTRE-IS ise verilerin mükemmel olmadığı durumları modellemek için kullanılmıştır. ELECTRE I ve versiyonları seçim problemleri için kullanılmıştır.

1960’lı yılların sonlarında en iyiden en kötüye sıralama ihtiyacı ELECTRE-II'nin doğmasına yol açmıştır. Sadece birkaç yıl sonra da yapay kriterler ve sıralama derecesi eklenerek ELECTRE-III ortaya atıldı. ELECTRE-IV ise Paris metro sistemindeki 12 hattın sıralanması ile ilgili problemin çözülmesi için Roy ve Hugonnard (1982) tarafından önerilmiştir. Bununla birlikte, yetmişli yılların sonlarında, önceden tanımlanmış ve sıralı kategorilere göre yeni bir eylem sıralama tekniği olarak ELECTRE-A önerilmiştir. Genişletildikten ve geliştirildikten sonra bu yöntem ELECTRE-TRI olarak daha basit ve genel bir yöntem haline getirilmiştir (Figueira, Mousseau, & Roy, 2005).

Tablo 5. TOPSIS metodunun TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Chen ve diğ.	2006	Bulanık TOPSIS	Üretim
2	Boran ve diğ.	2009	Bulanık TOPSIS	Otomotiv
3	Büyüközkan ve Ersoy	2009	Bulanık TOPSIS	Bilişim
4	Wang ve diğ.	2009	Bulanık hiyerarşik TOPSIS	Varsayıma dayanan örnek uygulama
5	Onut ve diğ.	2009	Bulanık ANP - Bulanık TOPSIS	Elektrik-Elektronik
6	Shahanaghi ve Yazdian	2009	Bulanık Grup TOPSIS	Otomotiv
7	Awasthi ve diğ.	2010	Bulanık TOPSIS	Varsayıma dayanan örnek uygulama
8	Chen	2011	Veri Zarflama Analizi (VZA) - Bulanık TOPSIS	Tekstil
9	Liao ve Kao	2011	Bulanık TOPSIS - HP	Elektrik-Elektronik
10	Jolai ve diğ.	2011	Bulanık TOPSIS - HP	Otomotiv
11	Kannan ve diğ. Rouyendegh	2013	Bulanık AHP -Bulanık TOPSIS	Otomotiv
12	(Erdebilli) ve diğ.	2014	Bulanık TOPSIS – Çoklu HP	Tarım - İnşaat
13	Junior ve diğ.	2014	Bulanık TOPSIS- Bulanık AHP	Otomotiv
14	Safa ve diğ.	2014	TOPSIS	Tarım -inşaat
15	Zhang ve Xu	2014	Pisagor Bulanık TOPSIS	Örnek Uygulama
16	Freeman ve diğ.	2015	AHP ve TOPSIS	Üretim (Elektronik)
17	Gupta ve Barua	2017	Bulanık TOPSIS	Otomotiv
18	Aouadni ve diğ.	2017	TOPSIS-Anlamlı Karışık Veri metodu	Örnek uygulama
19	Jain ve diğ.	2018	TOPSIS ve AHP	Otomotiv
20	Yu ve diğ.	2019	IV Pisagor Bulanık TOPSIS	Örnek uygulama
21	Memari ve diğ.	2019	Bulanık TOPSIS	Otomotiv
22	Okwu ve Tartibu	2020	TOPSIS ve Adaptive Neuro Bulanık Çıkarım Sistemi	Perakende Sektörü
23	Pınar ve Boran	2020	q-seviyeli bulanık TOPSIS ve ELECTRE	Varsayıma dayanan örnek uygulama

ELECTRE yöntemlerinin çoğu, bağımsız kriterlerden oluşan ÇKKV problemlerine odaklanmıştır. Aslında, günlük hayatımızda ÇKKV problemlerinin karmaşıklığı nedeniyle kriterler arasında karşılıklı bağımlılıklar bulunmaktadır. Öncelikler, kriterler arasında olası bir bağımlılık türü olarak ortaya çıkabilir. Yager (2008) tarafından verilen tipik bir örnekte belirtildiği gibi, çocuk için bir bisiklet seçilmesi örnek probleminde emniyet ve maliyet kriterleri arasındaki ilişki olabilir. Emniyette oluşacak bir kaybın, maliyette bir fayda ile telafi edilmesine

genellikle izin verilmez ve bu durumda güvenlik ve maliyet arasındaki herhangi bir uyumsuzluk kabul edilemez. Yani, emniyet ve maliyet kriterleri arasında öncelik oluşmaktadır ve emniyet, maliyetten daha yüksek bir önceliğe sahiptir. Kriterler arasında öncelikli olarak yer alan böyle bir ÇKKV problemine öncelikli ÇKKV problemleri denir (X. Yu, Zhang, Liao, & Qi, 2018).

ELECTRE yöntemlerinin temel özelliklerini dikkate aldığımızda bu yöntemin aşağıdaki durumlarda seçilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmiştir;

- Kriterlerin performanslarının farklı birimlerde olması durumunda karar vericilerin zor ve karmaşık bir ölçek ile bu performansları tanımlamak istememesi,
- Küçük farkların toplamının belirleyiciliği varsa,
- Alternatiflerin farklılıklarının karşılaştırılmasının zor olduğu ve zayıflıklarının ara ölçeklerle değerlendirilmesi gereken durumlarda ELECTRE yöntemi kullanılabilir. ELECTRE literatürde etkin bir ÇKKV metodu olarak kullanılmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. ELECTRE metodunun TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Çelik ve diğ.	2015	ELECTRE	Yeşil TS
2	Fahmi ve diğ.	2016	Bulanık ELECTRE I	Varsayıma dayanan örnek uygulama
3	Zhong ve Yao	2017	ELECTRE	Üretim (Elektronik)
4	Wan ve diğ.	2017	ANP ve ELECTRE II	Ulaştırma
5	Galo ve diğ.	2018	ELECTRE TRI ve Tereddütlü BS	Varsayıma dayanan örnek uygulama
6	Govindan ve diğ.	2019	ELECTRE I ve SMAA	Varsayıma dayanan örnek uygulama

3.1.8. Veri zarflama analizi

VZA jenerik ve esnek olarak nitelendirilebilecek Karar Verme Birimlerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılan çoklu girdilerin çoklu çıktılara dönüşümünü sağlayan veri odaklı bir yaklaşımdır (Cooper, Seiford, & Zhu, 2004). Veri zarflama analizinin temellerini Farrell (1957) teknik etkinliği ve fiyat etkinliğini açıkladığı çalışması ile atmış, 1978’te Charnes ve arkadaşlarının konuyla ilgili yayınladıkları makale ile şekillenmiştir (1978). VZA’da kullanılan etkinlik kavramı kapsamında; tahsis etkinliği mevcut fiyatlar dikkate alındığında en uygun oranda girdi ve çıktılarının kullanılmasını ifade ederken, teknik etkinlik ise belirli bir girdi miktarına göre azami çıktı elde etmek veya tersi olarak belirli bir çıktı düzeyinde asgari girdi kullanmak olarak tanımlanabilir. VZA, Yapay sinir ağları (ANN) ve diğer bulanık metotlarla entegre olarak kullanılmıştır.

Tablo 7. VZA’nın TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Narasimhan ve diğ.	2001	VZA	Elektrik-Elektronik
2	Şevkli ve diğ.	2007	AHP - VZA	Mobilya ve beyaz eşya
3	Ramanathan	2007	AHP - VZA	Varsayıma dayanan örnek
4	Çelebi ve Bayraktar	2008	ANN ve VZA	Otomotiv
5	Ha ve Krishnan	2008	AHP - VZA - ANN	Üretim
6	Azadeh ve Alem	2010	Bulanık VZA	Simulasyon
7	Zeydan ve diğ.	2011	VZA, Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	Otomotiv
8	Mahdiloo ve diğ.	2011	VZA	Varsayıma dayanan örnek
9	Dobos ve Vörösmarty	2014	VZA	Varsayıma dayanan örnek
10	Wu ve diğ.	2019	VZA ve Bulanık sayılar	Yeşil TS
11	Dobos ve Vörösmarty	2019	VZA	Yeşil TS

VZA’nın güçlü tarafları

- VZA farklı ölçü birimlerindeki girdi ve çıktılarının kullanımına imkân tanımakla birlikte bu girdi ve çıktılar arasındaki ilişkinin fonksiyonel olmasına gerek yoktur,
- Çoklu girdi ve çıktı ortamında kolaylıkla kullanılabilir,

- VZA’da etkin olmayan karar verme birimleri için hedef değerler belirlenir.

VZA’nın zayıf tarafları

- VZA’da göreceli etkinlik ölçümü belirli bir zaman dilimi için yapıldığından bazı girdilerin çıktılara dönüşmesi zaman alabilir,
- VZA göreceli etkinliği ölçse de birimlerin mutlak etkinlikleri hakkında bilgi vermemektedir,
- Analize dahil edilmesi/edilmemesi gereken girdi ve çıktılarının hassasiyetle belirlenmemesi durumlarda sonuçlar istenen doğrulukta olmayabilir,
- VZA, tesadüfi hata kavramına yer vermediğinden yöntem hatalarına karşı da duyarlıdır.

3.1.9. PROMETHEE metodu

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) Jean-Pierre Brans (1986) tarafından geliştirilmiş, alternatiflerin kısmi (I) ve tam sıralamalarını (II) sağlayan iki versiyon olarak tanıtılmıştır. Aralıkları temel alan sıralama (III), sürekli durumlar için (IV), bölümlendirilme kısıtları içeren (V) ve insan beyninin temsiline yapıldığı (VI) versiyonları önerilmiştir (Brans & Mareschal, 2005). PROMETHEE metodu alternatifleri belirlenmiş tercih fonksiyonlarına göre değerlendirir, ikili karşılaştırmalar yardımı ile sıralama yapar. Behzadian ve diğ. (2010) tarafından PROMETHEE metodolojileri ve uygulamaları üzerine yapılan çalışmada mevcut literatürün gözden geçirilmesi, sınıflandırılması ve yorumlanması için kapsamlı bir literatür taraması sunulmuştur. Çalışmasında 100 dergide yayınlanan, 217 bilimsel makaleyi PROMETHEE metodoloji ve uygulamaları açısından incelemiş ve bu yöntemin işletme ve finansal yönetim, kimya, lojistik ve ulaştırma, imalat ve montaj çevre yönetimi, enerji yönetimi, hidroloji ve su yönetimi gibi çok geniş bir kullanım alanı olduğunu tespit etmiştir. PROMETHEE metodunun literatürdeki kullanımı Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. PROMETHEE metodunun TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Dağdeviren ve Erarslan	2008	PROMETHEE	Elektronik
2	Safari ve diğ.	2012	PROMETHEE ve Entropi	Örnek Uygulama
3	Şenvar ve diğ.	2014	Bulanık PROMETHEE	Örnek Uygulama
4	Krishankumar ve diğ.	2017	Bulanık PROMETHEE	Örnek Uygulama
5	Abdullah ve diğ.	2019	PROMETHEE	Yeşil TS

3.1.10. MOORA metodu

Brauers ve Zavadskas 2006 yılında çok amaçlı optimizasyon için MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) yöntemini önermiştir. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında MOORA nicel veri türünün kullanıldığı, daha az hesaplama zamanı ve matematik işlem gerektiren, daha basit ve güvenilir bir ÇKKV yöntemidir. Genel olarak oran metodu ve referans nokta yaklaşımı olmak üzere iki MOORA yöntemi olduğu görülmektedir. MOORA’da her bir alternatifin karelerinin toplamının karekökü ile kriterler bölünerek normalizasyon yapılır. Müteakiben, oluşan tablodaki kriterler en küçük ve en büyük olarak ayrı ayrı toplanarak en büyüklerden en küçükler çıkarılır. Referans nokta yaklaşımında ise oran metoduna ilaveten kriter için amaçla uyumlu olarak en büyük ve en küçük referans noktaları belirlenir. Bu noktaların her bir değer ile uzaklıkları bulunur ve matris olarak yazılır.

Tablo 9. MOORA metodunun TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Karande ve Chakraborty	2012	Bulanık MOORA	İki uygulama
2	Dey ve diğ.	2012	Bulanık MOORA	Örnek uygulama
3	Perez- Dominguez ve diğ.	2015	Bulanık MOORA	Örnek uygulama
4	Büyüközkan ve Göçer	2017	MOORA ve Bulanık sayılar	Dijital TS

3.1.11. MACBETH metodu

MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) yöntemi 1990'lı yıllarda Bana e Costa, Vansnick ve De Corte tarafından geliştirilmiş, niteliksel yargılamalara dayanarak niceliksel karar vermeyi amaçlayan bir ÇKKV tekniğidir. Costa ve Vansnick (1999;1994) yöntemin özelliklerini ortaya koymuş ve bu metodu tren yolu ve metro inşaatı ihalelerinde kullanmışlardır (1997).

MACBETH metodu ikili karşılaştırmalar açısından AHP tekniğine benzemekle beraber AHP'deki oran ölçeği yerine MACBETH yönteminde aralık ölçeği kullanılmaktadır. Yöntemde problem bir değer ağacı veya hiyerarşi içerisinde yapılandırılmalıdır. Öncelikle kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır, müteakiben tüm seçenekler her bir kriter için ayrı ayrı ikili olarak karşılaştırılır. Genellikle 7 kategorili karşılaştırma ölçeği kullanılmaktadır. Matrislerde uyumsuzluk olarak; iki kriter veya seçeneğin kıyasından ortaya çıkan karşılaştırmalı yargılar veya iki karşılaştırmalı yargının kıyaslanmasından meydana gelen semantik yargılamalar ortaya çıkabilir. Bu tutarsızlıkların giderilmesi için seçenekler arasındaki tercih düzeylerinin değiştirilmesi gerekmektedir.

Tablo 10. MACBETH metodunun TS'de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Karande ve Chakraborty	2013	MACBETH	Üretim sektörü
2	Kundakçı ve Işık	2016	MACBETH ve COPRAS	Tekstil Endüstrisi
3	Gören ve Şenocak	2018	MACBETH ve Taguci	Yeşil TS

3.1.12. DEMATEL metodu

1972-1976 yılları arasında Cenevre'deki Battelle Memorial Enstitüsü Bilim ve İnsan İşleri Programı tarafından geliştirilen DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi, karmaşık ve DEMATEL metodu graf temelli olduğundan nedensel ilişkinin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Ayrıca, uzlaşmacı sebep-sonuç modeli iç içe geçmiş sorunların araştırılması ve çözümü için kullanılmıştır (Gabus & Fontela, 1972). Bu yöntem, objektif ilişkilerin somut özelliklerine göre, değişkenler / öznelilikler arasındaki karşılıklı bağımlılığı teyit edebilir ve özelliklerin temel bir sistem ve gelişme eğilimi ile yansıttığı ilişkiyi sınırlandırabilir. Tedarikçi seçiminde kullanımı Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. DEMATEL metodunun TS'de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Büyüközkan ve Çiftçi	2012	Bulanık DEMATEL-Bulanık ANP ve TOPSIS	Yeşil TS
2	Orji ve Wei	2014	DEMATEL ve TOPSIS	Üretim
3	Yazdani ve diğ.	2017	DEMATEL-QFD-COPRAS	Yeşil TS
4	Song ve diğ.	2017	İkili Karşılaştırma ve DEMATEL	Üretim (Klima)
5	Liu ve diğ.	2018	ANP, DEMATEL ve Oyun Teorisi	Üretim (Elektronik)
6	Kaya ve Yet	2019	DEMATEL ve Bayes ağları	Otomotiv
7	Kumar ve diğ.	2019	Bulanık DEMATEL	Çevik TS

içeren dolaylı ilişkileri kapsamaması da DEMATEL metodunun avantajı olarak görülebilir. DEMATEL metodu aşağıdaki 5 adımdan oluşmaktadır (Fontela & Gabus, 1976):

Adım 1: Direk ilişki matrisinin oluşturulması

Adım 2: Normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi belirlenmesi

Adım 3: Toplam ilişki matrisinin elde edilmesi

Adım 4: Nedensellik diyagramının oluşturulması

Adım 5: İşsel bağımlılık matrisinin elde edilmesi.

3.1.13. Gri ilişkisel analiz

1982'de Julong Deng tarafından ortaya atılan gri sistemler teorisi, küçük örnekler ve zayıf bilgi içeren problemlerin araştırılmasına odaklanan bir metodolojidir (Deng, 1982). Kullanılabilir olandan yararlı bilgi üretmek kısmen bilinen bilgiler içeren belirsiz sistemlerle ilgilenir. Doğal dünyada, küçük örneklemler ve çok az bilgi içeren belirsiz

sistemler yaygın olarak mevcuttur. Bu gerçek, gri sistem teorisinin geniş uygulanabilirliğini desteklemektedir (Liu, Forrest, & Yang, 2012).

Gri ilişkisel analiz (GİA), çoklu faktörler ve değişkenler arasındaki karmaşık ilişkilerdeki problemleri çözmek için uygun olan gri sistem teorisinin bir parçasıdır (Morán, Granada, Míguez, & Porteiro, 2006). GİA, işe alma kararı (Olson & Wu, 2006), güç dağıtım sistemleri için restorasyon planlaması (W.-H. Chen, Tsai, & Kuo, 2005), kalite fonksiyonlarının modellenmesi (Wu, 2002), entegre devre markalama sürecinin denetimi (Jiang, Tasi, & Wang, 2002) gibi çeşitli ÇKKV sorunlarının çözümünde başarıyla uygulanmıştır (Kuo, Yang, & Huang, 2008).

Ayrıca, GİA yöntemi, ayrık veri kümeleri arasındaki çeşitli ilişkileri analiz etmek ve birden çok öznitelik durumunda kararlar almak için çok popüler yöntemlerden biridir. GİA yönteminin başlıca avantajlarının, sonuçların orijinal verilere dayanması, hesaplamaların basit ve doğrudan yapılması ve son olarak, iş ortamında kullanılan en iyi karar verme yöntemlerinden biri olduğu görüşleri de mevcuttur (Hou, 2010). GİA, özellikle örneklemin küçük olduğu ve örneklem dağılımının yeteri kadar bilinmediği durumlarda kullanılır. Analiz edilen faktörler arasındaki benzerlikler veya farklılıklar gri ilişki olarak tanımlanır. GİA hem nicel veri setlerine hem de dilsel değişkenlerin kullanıldığı nitel veri setlerine uygulanabilmektedir. GİA için küçük bir veri seti yeterli olup paket programa ihtiyaç duymadan basit işlemlerle yapılabilmektedir. TS’de kullanımı Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 12. GİA metodunun TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Yang ve Chen	2006	AHP - GİA	Elektrik-Elektronik
2	Li ve diğ.	2008	GİA	Varsayıma dayanan örnek uygulama
3	Wei	2011	GİA ve Bulanık sayılar	Varsayıma dayanan örnek uygulama
4	Hashemi ve diğ.	2015	ANP ve GİA	Otomotiv
5	Wang ve diğ.	2017	GİA ve AHP	İnşaat Sektörü
6	Chen	2019	GİA ve Bulanık TOPSIS	İnşaat Sektörü

3.1.14. Genetik algoritmalar ve yapay sinir ağları

Genetik Algoritmalar iyi olanın hayatta kalması üzerine kurulmuş evrimsel süreçlerin mantığı üzerine kurulmuştur. İlk olarak Holland (1973) tarafından, başka türlü hesaplanamayan sorunlara iyi çözümler bulmak için bir araç olarak önerilmiştir. Her GA bir yapay kromozom popülasyonu üzerinde çalışır ve her kromozom, bir soruna yönelik bir çözümü temsil eder. Genlerin kodlanması, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin benzetim şeklinde yapılması, istenilen sonuca uygun olarak amaç fonksiyonunun belirlenmesi ve sonuç olarak GA’nın belirli bir problem için en iyi çözümü geliştirmesi hedeflenir (McCall, 2005). Literatürdeki kullanımı Tablo 13’te sunulmuştur.

Tablo 13. Genetik Algoritmaların TS’de kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Liao ve Rittscher	2007	GA	Varsayıma dayanan örnek
2	Florez- Lopez	2007	ANN tabanlı GA	Varsayıma dayanan örnek
3	Aksoy ve Öztürk	2011	ANN	Otomotiv
4	Golmohammadi	2011	ANN	Otomotiv
5	Simic ve diğ.	2015	Genetik ve Uyum Arama Algoritmaları	Üretim
6	Kanagaraj ve diğ.	2016	Toplam Sahip Olma Maliyeti (TCO) ve GA	Simulasyon

3.1.15. Diğer metotlar

Literatürde TS’de yukarıda açıklananların dışında da birçok karar verme metodu kullanılmıştır. Bu metotlardan Basit Çok Ölçütlü Sıralama Tekniği (SMART), Durum Tabanlı Çıkarsama (CBR), QFD ve TS’de kullanılan diğer metotlar Tablo 14’te sunulmuştur.

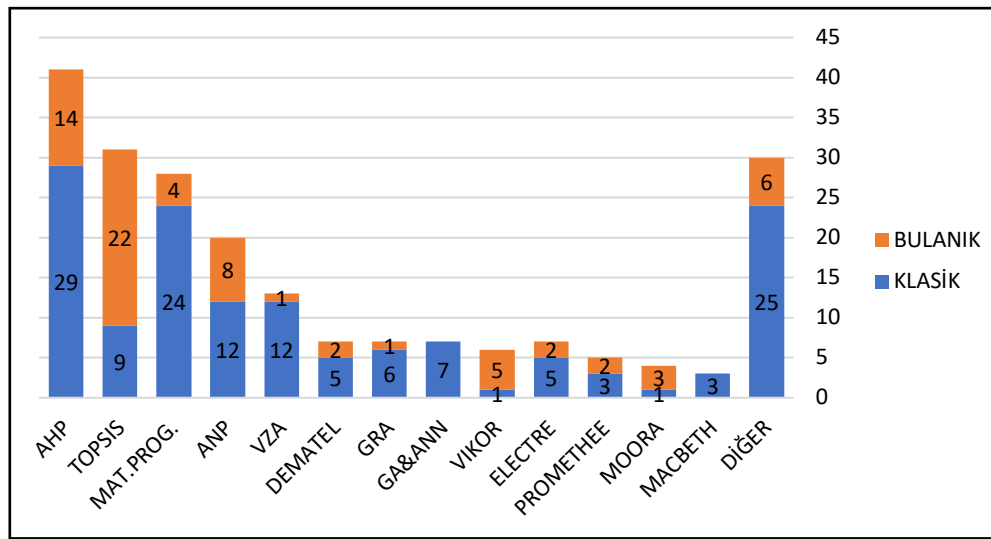
4. Bulgular

Tedarikçi seçimi konusunda Springer, Taylor & Francis, Elsevier, Wiley gibi bünyesinde saygın dergilerin yer aldığı akademik veri tabanları taranmış ve özellikle 2000-2020 yılları arasında yayınlanan 153 akademik çalışma incelenmiştir. Çalışma sonucunda TS’de kullanılan ÇKKV metotları Şekil 1’de sunulmuştur. AHP’nin hala en

çok kullanılan metot olduğu, AHP'den sonra da özellikle Bulanık TOPSIS'in sıklıkla kullanıldığı, Matematiksel Programlama, ANP ve VZA'nın da TS'de yoğun olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Son dönemde bulanık metotların TS'de kullanım sıklığının arttığı gözlenmiştir. Son yıllarda DEMATEL, ELECTRE, MACBETH ve PROMETHEE gibi metotların da tercih edilmeye başlandığı görülmektedir.

Tablo 14. Diğer Metotların TS'de kullanımı

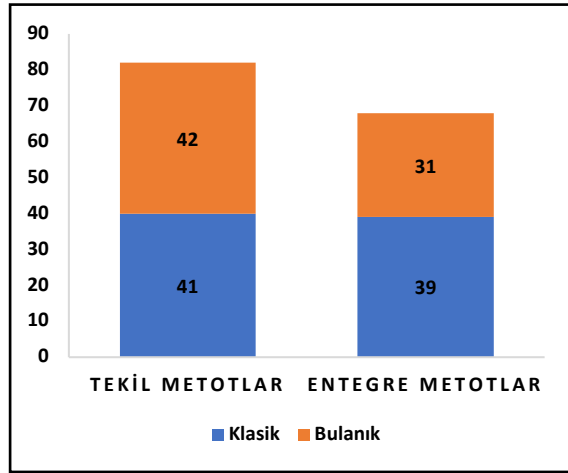
S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Barla	2003	SMART	Üretim
2	Choy ve diğ.	2005	CBR	Üretim
3	Bevilacqua ve diğ.	2006	Bulanık QFD	Otomotiv
4	Chou ve Chang	2008	Bulanık SMART	Bilişim
5	Bottani ve Rizzi	2008	Bulanık AHP - Küme analizi	Üretim
6	Amin ve Razmi	2009	Bulanık QFD	Bilişim
7	Keskin ve diğ.	2010	Bulanık ART	Otomotiv
8	Chamodrak ve diğ.	2010	AHP tabanlı Bulanık Tercih Programlama	Varsayıma dayanan örnek uygulama
9	Sen ve diğ.	2010	Bulanık AHP -Maks-min yaklaşımı	Elektrik-Elektronik
10	Wang ve Chin	2011	Bulanık Tercih Programlama	Ulaştırma- Lojistik
11	Punniyamorthy ve diğ.	2011	Structural Equation Modelling - Bulanık AHP	Üretim
12	Chen ve Wu	2013	Hata Türü ve Etkileri Analizi	Elektrik-Elektronik
13	Yu ve Wong	2015	Çoklu Etmen Sistemi (multi-agent system)	Simulasyon
14	Qin ve diğ.	2017	TODIM ve bulanık sayılar.	Yeşil Tedarikçi
15	Eissa ve Rashed	2020	İstatistiksel Süreç Kontrolü	Sağlık



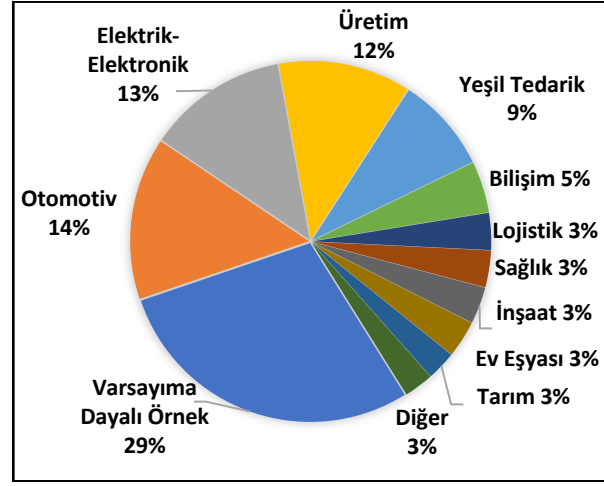
Şekil 1. Tedarikçi seçiminde ÇKKV metotları

ÇKKV metotları tek başına veya birlikte kullanıma göre sınıflandırıldığında (Şekil 2), son dönemde entegre kullanım şekli artsa da hala ÇKKV metotlarının tekil kullanımının entegre kullanımdan fazla olduğu görülmektedir. Tekil ve entegre kullanılan metotların klasik ve bulanık metotlar şeklinde sınıflandırdığımızda ise en yaygın kullanımın bulanık ve tekil şekilde olduğu görülmektedir.

Tedarikçi seçiminde en çok akademik çalışma yapılan alanlar incelendiğinde (Şekil 3), gerçek verilerin kullanıldığı çalışmalarda sırasıyla otomotiv (%14), elektrik-elektronik (%13) ve üretim (%12) sektörlerinde araştırma yapıldığı tespit edilmiştir. Bu alanların birçok farklı ürünün birleştirilerek üretim yapıldığı dolayısıyla birçok alanda tedarikçiye ihtiyaç duyulan sektörler olması nedeniyle daha fazla araştırma yapılmış olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 2. Metotların sınıflandırılması



Şekil 3. TS araştırma alanları

5. Sonuç

Bu çalışmada ÇKKV metotları kısaca tanıtılmış ve tedarikçi seçimi konusunda yapılmış 153 makale, metotlar ve tedarikçilerin sektörleri açısından ele alınmıştır. Çalışma içerdiği metotlar açısından analiz edildiğinde söz konusu ÇKKV metotları içerisinde AHP ve Bulanık TOPSIS'in en çok kullanılan metotlar olduğu, matematik programlama yöntemlerinin de sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Metotlar klasik ve bulanık metotlar olarak analiz edildiğinde ise her ne kadar klasik metotlar daha fazla kullanılmışsa da son dönemde bulanık metotların kullanım sıklığının arttığı görülmüştür.

Metotların tekil ve entegre olarak kullanımı analiz edildiğinde tekil metotların halen daha fazla tercih edildiği görülmektedir. Literatürde sık kullanılan AHP, TOPSIS gibi metotların kullanım kolaylığı ve bilinir olması nedeniyle tekil olduğu kadar diğer metotlarla entegre olarak da kullanıldığı görülmüştür.

Çalışmanın sonuçları sektörel bazda analiz edildiğinde farklı alanlarda tedarikçilere ihtiyaç duyan çok bileşenli ürünler içeren ve teknolojiyi takip eden sektörlerde daha fazla çalışma yapıldığı ortaya çıkarılmıştır. Her ne kadar varsayım dayalı çalışmalar en yüksek yüzdeyi oluştursa da gerçek verilerle yapılan çalışmalarda otomotiv, elektrik – elektronik ve üretim sektörlerinin en fazla tedarikçi seçimi konusunda araştırma yapılan alanlar olduğu görülmektedir. Yeşil tedarikçi seçiminde yapılan çalışmalarda son yıllarda artış görülmektedir.

Önümüzdeki dönemde TS'de kullanılan bulanık ÇKKV metotlarının bulanık küme çeşitleri dikkate alınarak incelenebileceği, bunun yanında yeşil tedarikçi seçiminde ÇKKV metotlarının kullanımı konusunda da çalışma yapılabileceği değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Doktora tez danışmanım Doç. Dr. Fatih Emre BORAN'a bu çalışmaya katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Çıkar Çatışması

Bu makale yazarın doktora tezinin literatür kısmından üretilmiştir. Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Abdel-Basset, M., Mohamed, M., & Smarandache, F. (2018). A hybrid neutrosophic group ANP-TOPSIS framework for supplier selection problems. *Symmetry*, 10(6), 226. <https://doi.org/10.3390/sym10060226>

Abdullah, L., Chan, W., & Afshari, A. (2019). Application of PROMETHEE method for green supplier selection: a comparative result based on preference functions. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(2), 271-285. <https://doi.org/10.1007/s40092-018-0289-z>

Agarwal, P., Sahai, M., Mishra, V., Bag, M., & Singh, V. (2011). A review of multi-criteria decision making techniques for supplier evaluation and selection. *International journal of industrial engineering computations*, 2(4), 801-810. Erişim adresi: <http://www.growingscience.com/ijiec/metadata/j.ijiec.2010.06.004.html>

Aissaoui, N., Haouari, M., & Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers; operations research*, 34(12), 3516-3540. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.01.016>

Aksoy, A., & Öztürk, N. (2011). Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments. *Expert systems with applications*, 38(5), 6351-6359. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.104>

Amid, A., Ghodsypour, S., & O'Brien, C. (2006). Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of production economics*, 104(2), 394-407. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.04.012>

Amid, A., Ghodsypour, S., & O'Brien, C. (2011). A weighted max–min model for fuzzy multi-objective supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 139-145. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.044>

Amin, S. H., & Razmi, J. (2009). An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation. *Expert systems with applications*, 36(4), 8639-8648. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.044>

Amin, S. H., & Zhang, G. (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6782-6791. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.12.056>

Anthony, T. F., & Buffa, F. P. (1977). Strategic purchase scheduling. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 13(3), 27-31. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1977.tb00400.x>

Aouadni, S., Rebai, A., & Turskis, Z. (2017). The meaningful mixed data TOPSIS (TOPSIS-MMD) method and its application in supplier selection. *Studies in Informatics and Control*, 26(3), 353-363. Doi: <https://doi.org/10.24846/v26i3y201711>

Arslan, H. M. (2017). AHP-VIKOR Yöntemi Ile En İyi Tedarikçi Seçimi ve Bir Uygulama. *Electronic Journal of Social Sciences*, 16(63). Doi: <https://doi.org/10.17755/esosder.305241>

Asamoah, D., Annan, J., & Nyarko, S. (2012). AHP approach for supplier evaluation and selection in a pharmaceutical manufacturing firm in Ghana. *International Journal of Business and Management*, 7. DOI: <https://doi.org/10.5539/ijbm.v7n10p49>

Awasthi, A., Chauhan, S. S., & Goyal, S. K. (2010). A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. *International Journal of Production Economics*, 126(2), 370-378. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.029>

Awasthi, A., Govindan, K., & Gold, S. (2018). Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. *International Journal of Production Economics*, 195, 106-117. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.013>

Awasthi, A., & Kannan, G. (2016). Green supplier development program selection using NGT and VIKOR under fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering*, 91, 100-108. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.11.011>

- Azadeh, A., & Alem, S. M. (2010). A flexible deterministic, stochastic and fuzzy Data Envelopment Analysis approach for supply chain risk and vendor selection problem: Simulation analysis. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7438-7448. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.022>
- Badorf, F., Wagner, S. M., Hoberg, K., & Papier, F. (2019). How Supplier Economies of Scale Drive Supplier Selection Decisions. *Journal of Supply Chain Management*, 55(3), 45-67. Doi: <https://doi.org/10.1111/jscm.12203>
- Bana E Costa, C. A., & Vansnick, J. C. (1997). Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6(2), 107-114. Doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1360\(199703\)6:2<107::AID-MCDA147>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1360(199703)6:2<107::AID-MCDA147>3.0.CO;2-1)
- Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E., & Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers Operations Research*, 89, 337-347. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.02.015>
- Barla, S. B. (2003). A case study of supplier selection for lean supply by using a mathematical model. *Logistics Information Management*. Doi: <https://doi.org/10.1108/09576050310503420>
- Bayazit, O. (2006). Use of analytic network process in vendor selection decisions. *Benchmarking: An International Journal*. Doi: <https://doi.org/10.1108/14635770610690410>
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European journal of Operational research*, 200(1), 198-215. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with applications*, 39(17), 13051-13069. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Benayoun, R., Roy, B., & Sussman, B. (1966). ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples, Note de travail 49. Paris: SEMA-METRA International.
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F., & Giacchetta, G. (2006). A fuzzy-QFD approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12(1), 14-27. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2006.02.001>
- Bhutta, M. K. S. (2003). Supplier selection problem: methodology literature review. *Journal of International Information Management*, 12(2), 5. Erişim adresi :<https://scholarworks.lib.csusb.edu/jiim/vol12/iss2/5>
- Boran, F. E., Genc, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363-11368. doi:10.1016/j.eswa.2009.03.039 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.039>
- Bottani, E., & Rizzi, A. (2008). An adapted multi-criteria approach to suppliers and products selection—An application oriented to lead-time reduction. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 763-781. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.03.012>
- Brans, J.-P., & Mareschal, B. (2005). Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys, Promethee methods. *Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M.(eds.)*. Erişim adresi: <https://www.springer.com/gp/book/9780387230818>

- Brans, J.-P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, 24(2), 228-238. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5)
- Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control Cybernetics*, 35, 445-469. Erişim adresi: <http://matwbn.icm.edu.pl/ksiazki/cc/cc35/cc35213.pdf>
- Bruno, G., Esposito, E., Genovese, A., & Passaro, R. (2012). AHP-based approaches for supplier evaluation: Problems and perspectives. *Journal of purchasing and supply management*, 18(3), 159-172. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2012.05.001>
- Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2011). A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information. *Computers in industry*, 62(2), 164-174. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2010.10.009>
- Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000-3011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.162>
- Büyüközkan, G., & Göçer, F. (2017). *An extension of MOORA approach for group decision making based on interval valued intuitionistic fuzzy numbers in digital supply chain*. Paper presented at the 2017 Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS). Doi: [10.1109/IFSA-SCIS.2017.8023358](https://doi.org/10.1109/IFSA-SCIS.2017.8023358)
- Büyüközkan, G., & Şakir Ersoy, M. (2009). Applying fuzzy decision making approach to IT outsourcing supplier selection. *system*, 2, 2. Erişim adresi: <https://publications.waset.org/14534/pdf>
- Calik, A. (2019). A Multi-Criteria Evaluation for Sustainable Supplier Selection Based on Fuzzy Sets. *Business and Economics Research Journal*, 10(1), 95-113. Doi: <https://doi.org/10.20409/berj.2019.157>
- Çalık, A. (2020). A Comparative Perspective in Sustainable Supplier Selection by Integrated MCDM Techniques. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 38(2). Erişim adresi: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=395287c6-0c03-4550-9465-727e16363f99%40sdc-v-sessmgr01>
- Celik, E., Gumus, A. T., & Erdogan, M. (2015). A new extension of the ELECTRE method based upon interval type-2 fuzzy sets for green logistic service providers evaluation. *Journal of Testing Evaluation*, 44(5), 1813-1827. Doi: <https://doi.org/10.1520/JTE20140046>
- Chamodrakas, I., Batis, D., & Martakos, D. (2010). Supplier selection in electronic marketplaces using satisficing and fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 490-498. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.043>
- Chan, F., Chan, H., Ip, R., & Lau, H. (2007). A decision support system for supplier selection in the airline industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221(4), 741-758. Doi: <https://doi.org/10.1243/09544054JEM629>
- Chan, F. S. (2003). Interactive selection model for supplier selection process: an analytical hierarchy process approach. *International Journal of Production Research*, 41(15), 3549-3579. Doi: <https://doi.org/10.1080/0020754031000138358>

- Chan, F. T., & Chan, H. (2004). Development of the supplier selection model—a case study in the advanced technology industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218(12), 1807-1824. Doi: <https://doi.org/10.1177/095440540421801213>
- Chan, F. T., & Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35(4), 417-431. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.08.004>
- Chao, C., Scheuing, E. E., Dubas, K. M., & Mummalaneni, V. (1993). An assessment of supplier selection: Chinese purchasing managers' criteria and their implications for western marketers. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 23, 31-31. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600039310049817>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chen, C.-H. (2019). A new multi-criteria assessment model combining GRA techniques with intuitionistic fuzzy entropy-based TOPSIS method for sustainable building materials supplier selection. *Sustainability*, 11(8), 2265. Doi: <https://doi.org/10.3390/su11082265>
- Chen, C.-T., Lin, C.-T., & Huang, S.-F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International journal of production economics*, 102(2), 289-301. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009>
- Chen, P.-S., & Wu, M.-T. (2013). A modified failure mode and effects analysis method for supplier selection problems in the supply chain risk environment: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 634-642. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.09.018>
- Chen, S.-J., & Hwang, C.-L. (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. In *Fuzzy multi attribute decision making, lecture notes in economics and mathematical system series, vol. 375* Springer-Verlag New York. Erişim adresi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-46768-4_5
- Chen, W.-H., Tsai, M.-S., & Kuo, H.-L. (2005). Distribution system restoration using the hybrid fuzzy-grey method. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(1), 199-205. Doi: [10.1109/TPWRS.2004.841234](https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.841234)
- Chen, Y.-H., & Chao, R.-J. (2012). Supplier selection using consistent fuzzy preference relations. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3233-3240. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.09.010>
- Chen, Y.-J. (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences*, 181(9), 1651-1670. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.07.026>
- Choi, T. Y., & Hartley, J. L. (1996). An exploration of supplier selection practices across the supply chain. *Journal of operations management*, 14(4), 333-343. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(96\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(96)00091-5)
- Chou, S.-Y., & Chang, Y.-H. (2008). A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach. *Expert systems with applications*, 34(4), 2241-2253. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.03.001>
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lau, H. C., & Choy, L. (2005). A knowledge-based supplier intelligence retrieval system for outsource manufacturing. *Knowledge-based systems*, 18(1), 1-17. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2004.05.003>
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*: Pearson UK.

- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2004). Data envelopment analysis. Handbook on data envelopment analysis. *International Series in Operations Research Management Science*, 71, 1-39. Erişim adresi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-7798-X_1
- Costa, C. A. B. E., & Vansnick, J.-C. (1999). The MACBETH approach: Basic ideas, software, and an application. In *Advances in decision analysis* (pp. 131-157): Springer. Erişim adresi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-0647-6_9
- Çalık, A. (2018). Bulanık Çok-Amaçlı Doğrusal Programlama ve Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi İle Yeşil Tedarikçi Seçimi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(39), 96-109. Erişim adresi: <http://dergisosyalbil.selcuk.edu.tr/susbed/article/view/1380>
- Çelebi, D., & Bayraktar, D. (2008). An integrated neural network and data envelopment analysis for supplier evaluation under incomplete information. *Expert Systems with Applications*, 35(4), 1698-1710. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.08.107>
- Dağdeviren, M., & Erarslan, E. (2008). PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6675/88291>
- Dargi, A., Anjomshoae, A., Galankashi, M. R., Memari, A., & Tap, M. B. M. (2014). Supplier selection: A fuzzy-ANP approach. *Procedia Computer Science*, 31, 691-700. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.317>
- De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European journal of purchasing supply management*, 7(2), 75-89. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00028-9)
- Degraeve, Z., Labro, E., & Roodhooft, F. (2000). An evaluation of vendor selection models from a total cost of ownership perspective. *European journal of operational research*, 125(1), 34-58. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00199-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00199-X)
- Deng, J.-L. (1982). Control problems of grey systems. *Systems and Control Letters*, 1(5), 288-294. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-6911\(82\)80025-X](https://doi.org/10.1016/S0167-6911(82)80025-X)
- Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., & Sanyal, S. (2012). A MOORA based fuzzy multi-criteria decision making approach for supply chain strategy selection. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3(4), 649-662. Doi: [10.5267/j.ijiec.2012.03.001](https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2012.03.001)
- Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of purchasing*, 2(1), 5-17. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>
- Dobos, I., & Vörösmarty, G. (2014). Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators. *International Journal of Production Economics*, 157, 273-278. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.026>
- Dobos, I., & Vörösmarty, G. (2019). Inventory-related costs in green supplier selection problems with Data Envelopment Analysis (DEA). *International Journal of Production Economics*, 209, 374-380. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.022>
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., & Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.030>

- E Costa, C. A. B., & Vansnick, J.-C. (1994). MACBETH—An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International transactions in operational Research*, 1(4), 489-500. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.1994.00325.x>
- Eissa, M., & Rashed, E. (2020). Application of statistical process optimization tools in inventory management of goods quality: suppliers evaluation in healthcare facility. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(1), 388-408. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/56013/706777>
- Fahmi, A., Kahraman, C., & Bilen, Ü. (2016). ELECTRE I method using hesitant linguistic term sets: An application to supplier selection. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(1), 153-167. Doi: <https://doi.org/10.1080/18756891.2016.1146532>
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281. Doi: <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Figueira, J., Mousseau, V., & Roy, B. (2005). ELECTRE methods. In *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 133-153): Springer. Doi: https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_4
- Florez-Lopez, R. (2007). Strategic supplier selection in the added-value perspective: A CI approach. *Information Sciences*, 177(5), 1169-1179. Doi: [10.1016/j.ins.2006.08.009](https://doi.org/10.1016/j.ins.2006.08.009)
- Fontela, E., & Gabus, A. (1976). The DEMATEL observer, DEMATEL 1976 report. *Battelle Geneva Research Center, Geneva*.
- Freeman, J., & Chen, T. (2015). Green supplier selection using an AHP-Entropy-TOPSIS framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(3), 327-340. Doi: <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2014-0142>
- Gaballa, A. (1974). Minimum cost allocation of tenders. *Journal of the Operational Research Society*, 25(3), 389-398. Doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1974.73>
- Gabus, A., & Fontela, E. (1972). World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL. *Battelle Geneva Research Centre, Geneva*. Doi:
- Galo, N. R., Calache, L. D. D. R., & Carpinetti, L. C. R. (2018). A group decision approach for supplier categorization based on hesitant fuzzy and ELECTRE TRI. *International Journal of Production Economics*, 202, 182-196. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.05.023>
- Ganeshan, R., Tyworth, J. E., & Guo, Y. (1999). Dual sourced supply chains: the discount supplier option. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 35(1), 11-23. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(98\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(98)00020-9)
- Gencer, C., & Gürpınar, D. (2007). Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied mathematical modelling*, 31(11), 2475-2486. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2006.10.002>
- Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International journal of production economics*, 73(1), 15-27. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00093-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00093-7)
- Golmohammadi, D. (2011). Neural network application for fuzzy multi-criteria decision making problems. *International Journal of Production Economics*, 131(2), 490-504. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.01.015>

Govindan, K., Kadziński, M., Ehling, R., & Miebs, G. (2019). Selection of a sustainable third-party reverse logistics provider based on the robustness analysis of an outranking graph kernel conducted with ELECTRE I and SMAA. *Omega*, 85, 1-15. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.05.007>

Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66-83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.046>

Gören, H. G., & Şenocak, A. A. (2018). Macbeth Based Taguchi Loss Functions Approach for Green Supplier Selection: A Case Study in Textile Industry. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 28(2), 90-97. Erişim adresi: <http://acikerisim.pau.edu.tr:8080/xmlui/handle/11499/10905>

Hashemi, S. H., Karimi, A., & Tavana, M. (2015). An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *International Journal of Production Economics*, 159, 178-191. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.027>

Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of operational research*, 202(1), 16-24. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.009>

Hong, G. H., Park, S. C., Jang, D. S., & Rho, H. M. (2005). An effective supplier selection method for constructing a competitive supply-relationship. *Expert Systems with Applications*, 28(4), 629-639. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2004.12.020>

Hosseini, S., & Al Khaled, A. (2019). A hybrid ensemble and AHP approach for resilient supplier selection. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(1), 207-228. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10845-016-1241-y>

Hou, J. (2010). Grey relational analysis method for multiple attribute decision making in intuitionistic fuzzy setting. *Journal of Convergence Information Technology*, 5(10), 194-199. Doi: [10.4156/jcit.vol5.issue10.25](https://doi.org/10.4156/jcit.vol5.issue10.25)

Hou, J., & Su, D. (2006). Integration of web services technology with business models within the total product design process for supplier selection. *Computers in Industry*, 57(8-9), 797-808. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2006.04.008>

Huang, S. H., & Keskar, H. (2007). Comprehensive and configurable metrics for supplier selection. *International journal of production economics*, 105(2), 510-523. Doi: [10.1016/j.ijpe.2006.04.020](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.04.020)

Hugos, M. H. (2018). *Essentials of supply chain management*: John Wiley & Sons. Erişim adresi: https://media.wiley.com/product_data/excerpt/03/11194611/1119461103-32.pdf

Jafarzadeh Ghouschi, S., Dodkanloi Milan, M., & Jahangoshai Rezaee, M. (2018). Evaluation and selection of sustainable suppliers in supply chain using new GP-DEA model with imprecise data. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(3), 613-625. doi:10.1007/s40092-017-0246-2. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0246-2>

Jain, V., Sangaiah, A. K., Sakhuja, S., Thoduka, N., & Aggarwal, R. (2018). Supplier selection using fuzzy AHP and TOPSIS: a case study in the Indian automotive industry. *Neural Computing and Applications*, 29(7), 555-564. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2533-z>

Jiang, B. C., Tasi, S.-L., & Wang, C.-C. (2002). Machine vision-based gray relational theory applied to IC marking inspection. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 15(4), 531-539. Doi: [10.1109/TSM.2002.804906](https://doi.org/10.1109/TSM.2002.804906)

- Jolai, F., Yazdian, S. A., Shahanaghi, K., & Khojasteh, M. A. (2011). Integrating fuzzy TOPSIS and multi-period goal programming for purchasing multiple products from multiple suppliers. *Journal of purchasing and Supply Management*, 17(1), 42-53. Doi: [10.1016/j.pursup.2010.06.004](https://doi.org/10.1016/j.pursup.2010.06.004)
- Junior, F. R. L., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.014>
- Kanagaraj, G., Ponnambalam, S., & Jawahar, N. (2016). Reliability-based total cost of ownership approach for supplier selection using cuckoo-inspired hybrid algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(5-8), 801-816. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5545-1>
- Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner production*, 47, 355-367. Doi: [10.1016/j.jclepro.2013.02.010](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.010)
- Kar, A. K. (2014). Revisiting the supplier selection problem: An integrated approach for group decision support. *Expert systems with applications*, 41(6), 2762-2771. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.009>
- Karande, P., & Chakraborty, S. (2012). Decision making for supplier selection using the MOORA method. *IUP Journal of Operations Management*, 11(2), 6. Erişim adresi: <https://search.proquest.com/openview/08692a23b1ad293b31bd46e2f78661a8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=54466>
- Karande, P., & Chakraborty, S. (2013). Using MACBETH method for supplier selection in manufacturing environment. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 4(2), 259-279. Erişim adresi: <https://ssrn.com/abstract=2161709>
- Karpak, B., Kumcu, E., & Kasuganti, R. R. (2001). Purchasing materials in the supply chain: managing a multi-objective task. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(3), 209-216. Doi: [10.1016/S0969-7012\(01\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(01)00002-8)
- Kaya, R., & Yet, B. (2019). Building Bayesian networks based on DEMATEL for multiple criteria decision problems: A supplier selection case study. *Expert Systems with Applications*, 134, 234-248. Doi: [10.1016/j.eswa.2019.05.053](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.053)
- Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2017). Supplier evaluation and selection in fuzzy environments: a review of MADM approaches. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 30(1), 1073-1118. Doi: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1314828>
- Keskin, G. A., İlhan, S., & Özkan, C. (2010). The Fuzzy ART algorithm: A categorization method for supplier evaluation and selection. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1235-1240. Doi: [10.1016/j.eswa.2009.06.004](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.004)
- Khorasani, O., & Bafruei, M. K. (2011). A fuzzy AHP approach for evaluating and selecting supplier in pharmaceutical industry. *International Journal of Academic Research*, 3(1). Doi: https://www.researchgate.net/publication/313368813_A_fuzzy_AHP_approach_for_evaluating_and_selecting_supplier_in_pharmaceutical_industry
- Kilincci, O., & Onal, S. A. (2011). Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. *Expert systems with Applications*, 38(8), 9656-9664. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.159>
- Kokangul, A., & Susuz, Z. (2009). Integrated analytical hierarch process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount. *Applied mathematical modelling*, 33(3), 1417-1429. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2008.01.021>

- Krishankumar, R., Ravichandran, K., & Saeid, A. B. (2017). A new extension to PROMETHEE under intuitionistic fuzzy environment for solving supplier selection problem with linguistic preferences. *Applied Soft Computing*, 60, 564-576. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.07.028>
- Kull, T. J., & Talluri, S. (2008). A supply risk reduction model using integrated multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55(3), 409-419. Doi: <https://doi.org/10.1109/TEM.2008.922627>
- Kumar Kar, A., & K. Pani, A. (2014). Exploring the importance of different supplier selection criteria. *Management Research Review*, 37(1), 89-105. Doi: <https://doi.org/10.1108/MRR-10-2012-0230>
- Kumar, M., Garg, D., & Agarwal, A. (2019). *Fuzzy DEMATEL approach for agile supplier selections performance criteria*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. Doi: [10.1088/1742-6596/1240/1/012157](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012157)
- Kundakcı, N., & Işık, A. (2016). Integration of MACBETH and COPRAS methods to select air compressor for a textile company. *Decision Science Letters*, 5(3), 381-394. Doi: [10.5267/j.dsl.2016.2.003](https://doi.org/10.5267/j.dsl.2016.2.003)
- Kuo, R. J., Wang, Y. C., & Tien, F. C. (2010). Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection. *Journal of cleaner production*, 18(12), 1161-1170. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.03.020>
- Kuo, Y., Yang, T., & Huang, G.-W. (2008). The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. *Computers industrial engineering*, 55(1), 80-93. Doi: [10.1016/j.cie.2007.12.002](https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.12.002)
- Lee, A. H., Kang, H.-Y., Hsu, C.-F., & Hung, H.-C. (2009). A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert systems with applications*, 36(4), 7917-7927. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.052>
- Li, G.-D., Yamaguchi, D., & Nagai, M. (2008). A grey-based rough decision-making approach to supplier selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(9-10), 1032. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0910-y>
- Liao, C.-N., & Kao, H.-P. (2011). An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 10803-10811. Doi: [10.1016/j.eswa.2011.02.031](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.031)
- Liao, S.-K., Chang, K.-L., & Tseng, T.-W. (2010). Optimal selection of program suppliers for TV companies using an analytic network process (ANP) approach. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 27(06), 753-767. Doi: <https://doi.org/10.1142/S0217595910002983>
- Liao, Z., & Rittscher, J. (2007). A multi-objective supplier selection model under stochastic demand conditions. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 150-159. Doi: [10.1016/j.ijpe.2006.03.001](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.03.001)
- Lin, R.-H. (2012). An integrated model for supplier selection under a fuzzy situation. *International Journal of Production Economics*, 138(1), 55-61. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.02.024>
- Liu, F.-H. F., & Hai, H. L. (2005). The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. *International journal of production economics*, 97(3), 308-317. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.09.005>
- Liu, S., Forrest, J., & Yang, Y. (2012). A brief introduction to grey systems theory. *Grey Systems: Theory Application*, 2(2), 89-104. Doi: [10.1109/GSIS.2011.6044018](https://doi.org/10.1109/GSIS.2011.6044018)
- Liu, T., Deng, Y., & Chan, F. (2018). Evidential supplier selection based on DEMATEL and game theory. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(4), 1321-1333. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40815-017-0400-4>

Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., & Garg, C. P. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1686-1698. Doi: <https://doi.org/10.3390/su10072543>

Mafakheri, F., Breton, M., & Ghoniem, A. (2011). Supplier selection-order allocation: A two-stage multiple criteria dynamic programming approach. *International Journal of Production Economics*, 132(1), 52-57. Doi: [10.1016/j.ijpe.2011.03.005](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.03.005)

Mahdiloo, M., Noorzadeh, A., & Saen, R. F. (2011). A new approach for considering a dual-role factor in supplier selection problem. *International Journal of Academic Research*, 3(1), 261-266. Erişim adresi: <https://ro.uow.edu.au/gsbpapers/552>

Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28(1), 516-571. Doi: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>

Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014. *Expert systems with Applications*, 42(8), 4126-4148. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>

Mardani, A., Nilashi, M., Zavadskas, E. K., Awang, S. R., Zare, H., & Jamal, N. M. (2018). Decision Making Methods Based on Fuzzy Aggregation Operators: Three Decades Review from 1986 to 2017. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17(2), 391-466. doi:[10.1142/S021962201830001x](https://doi.org/10.1142/S021962201830001x)

Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., & Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 9-24. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.002>

Mendoza, A., Santiago, E., & Ravindran, A. R. (2008). A three-phase multicriteria method to the supplier selection problem. *International Journal of Industrial Engineering*, 15(2), 195-210. Erişim adresi: <https://journals.sfu.ca/ijietap/index.php/ijie/article/view/121>

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>

Morán, J., Granada, E., Míguez, J., & Porteiro, J. (2006). Use of grey relational analysis to assess and optimize small biomass boilers. *Fuel Processing Technology*, 87(2), 123-127. Doi: [10.1016/j.fuproc.2005.08.008](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2005.08.008)

Muralidharan, C., Anantharaman, N., & Deshmukh, S. (2002). A multi-criteria group decisionmaking model for supplier rating. *Journal of supply chain management*, 38(3), 22-33. Doi: [10.1111/j.1745-493X.2002.tb00140.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2002.tb00140.x)

Narasimhan, R., Talluri, S., & Mahapatra, S. K. (2006). Multiproduct, multicriteria model for supplier selection with product life-cycle considerations. *Decision Sciences*, 37(4), 577-603. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5414.2006.00139.x>

Narasimhan, R., Talluri, S., & Mendez, D. (2001). Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis: an empirical examination. *Journal of supply chain management*, 37(2), 28-37. Doi: [10.1111/j.1745-493X.2001.tb00103.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2001.tb00103.x)

Nazari-Shirkouhi, S., Shakouri, H., Javadi, B., & Keramati, A. (2013). Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming. *Applied Mathematical Modelling*, 37(22), 9308-9323. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.04.045>

- Ng, W. L. (2008). An efficient and simple model for multiple criteria supplier selection problem. *European journal of operational research*, 186(3), 1059-1067. Erişim adresi: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377-2217\(07\)00130-0](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377-2217(07)00130-0)
- Okwu, M. O., & Tartibu, L. K. (2020). Sustainable supplier selection in the retail industry: A TOPSIS-and ANFIS-based evaluating methodology. *International Journal of Engineering Business Management*, 12, 1847979019899542. Doi: <https://doi.org/10.1177/1847979019899542>
- Olson, D. L., & Wu, D. (2006). Simulation of fuzzy multiattribute models for grey relationships. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 111-120. Doi: [10.1016/j.ejor.2005.05.002](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.002)
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. Doktora Tezi, *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5-21.
- 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. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Orji, I. J., & Wei, S. (2014). A decision support tool for sustainable supplier selection in manufacturing firms. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 7(5), 1293-1315. Doi: [10.3926/jiem.1203](https://doi.org/10.3926/jiem.1203)
- Önüt, S., Kara, S. S., & Işık, E. (2009). Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. *Expert systems with applications*, 36(2), 3887-3895. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.045>
- Özbek, A. (2014). Tedarikçi seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 5(11). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/ausbd/issue/26453/278542>
- Öztürk, C., Yıldızbaşı, A. Barriers to implementation of blockchain into supply chain management using an integrated multi-criteria decision-making method: a numerical example. *Soft Comput* 24, 14771–14789 (2020). Doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-020-04831-w>
- Perçin, S. (2006). An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection. *Measuring Business Excellence*. Doi: [10.1108/13683040610719263](https://doi.org/10.1108/13683040610719263)
- Pérez-Domínguez, L., Alvarado-Iniesta, A., Rodríguez-Borbón, I., & Vergara-Villegas, O. (2015). Intuitionistic fuzzy MOORA for supplier selection. *Dyna*, 82(191), 34-41. Doi: [10.15446/dyna.v82n191.51143](https://doi.org/10.15446/dyna.v82n191.51143)
- Pınar, A., & Boran, F. E. (2020). A q-rung orthopair fuzzy multi-criteria group decision making method for supplier selection based on a novel distance measure. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 11(8), 1749-1780. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13042-020-01070-1>
- Punniyamorthy, M., Mathiyalagan, P., & Parthiban, P. (2011). A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 458-474. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.086>
- Qin, J., Liu, X., & Pedrycz, W. (2017). An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 626-638. Doi: [10.1016/j.ejor.2016.09.059](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.059)
- Rajesh, G., & Malliga, P. (2013). Supplier selection based on AHP QFD methodology. *Procedia Engineering*, 64, 1283-1292. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.209>

- Ramanathan, R. (2007). Supplier selection problem: integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP. *Supply Chain Management: an international journal*. Doi: [10.1108/13598540710759772](https://doi.org/10.1108/13598540710759772)
- Razmi, J., Rafiei, H., & Hashemi, M. (2009). Designing a decision support system to evaluate and select suppliers using fuzzy analytic network process. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1282-1290. Doi: [10.1016/j.cie.2009.06.008](https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.06.008)
- Rezaei, J., Fahim, P. B., & Tavasszy, L. (2014). Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive screening method and fuzzy AHP. *Expert systems with applications*, 41(18), 8165-8179. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.005>
- Rouyendegh, B. D., & Saputro, T. E. (2014). Supplier selection using integrated fuzzy TOPSIS and MCGP: a case study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 3957-3970. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.874>
- Roy, B., & Hugonnard, J.-C. (1982). Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. *Transportation Research Part A: General*, 16(4), 301-312. Doi: [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(82\)90057-7](https://doi.org/10.1016/0191-2607(82)90057-7)
- Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process McGraw Hill, New York. *AGRICULTURAL ECONOMICS REVIEW*, 70.
- Saaty, T. L. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process* (Vol. 4922): RWS Publ.
- Safa, M., Shahi, A., Haas, C. T., & Hipel, K. W. (2014). Supplier selection process in an integrated construction materials management model. *Automation in Construction*, 48, 64-73. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.008>
- Safari, H., Fagheyi, M. S., Ahangari, S. S., & Fathi, M. R. (2012). Applying PROMETHEE method based on entropy weight for supplier selection. *Business management and strategy*, 3(1), 97-106. Doi: <https://doi.org/10.5296/bms.v3i1.1656>
- Sanayei, A., Mousavi, S. F., & Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 24-30. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.04.063>
- Sarkis, J., & Talluri, S. (2002). A model for strategic supplier selection. *Journal of supply chain management*, 38(4), 18-28. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2002.tb00117.x>
- Senvar, O., Tuzkaya, G., & Kahraman, C. (2014). Multi criteria supplier selection using fuzzy PROMETHEE method. In *Supply chain management under fuzziness* (pp. 21-34): Springer. Erişim adresi: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02498263/>
- Sevкли, M., Lenny Koh, S., Zaim, S., Demirbag, M., & Tatoglu, E. (2007). An application of data envelopment analytic hierarchy process for supplier selection: a case study of BEKO in Turkey. *International Journal of Production Research*, 45(9), 1973-2003. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207540600957399>
- Shahanaghi, K., & Yazdian, S. A. (2009). Vendor selection using a new fuzzy group TOPSIS approach. *Journal of Uncertain Systems*, 3(3), 221-231. Erişim adresi: <http://www.worldacademicunion.com/journal/jus/jusVol03No3paper07.pdf>

- Shyur, H.-J., & Shih, H.-S. (2006). A hybrid MCDM model for strategic vendor selection. *Mathematical and computer modelling*, 44(7-8), 749-761. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.04.018>
- Simić, D., Kovačević, I., Svirčević, V., & Simić, S. (2017). 50 years of fuzzy set theory and models for supplier assessment and selection: A literature review. *Journal of Applied Logic*, 24, 85-96. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jal.2016.11.016>
- Simić, D., Svirčević, V., & Simić, S. (2015). A hybrid evolutionary model for supplier assessment and selection in inbound logistics. *Journal of Applied Logic*, 13(2), 138-147. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jal.2014.11.007>
- Song, W., Xu, Z., & Liu, H.-C. (2017). Developing sustainable supplier selection criteria for solar air-conditioner manufacturer: An integrated approach. *Renewable sustainable energy reviews*, 79, 1461-1471. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.081>
- Sönmez, M. (2006). *Review and critique of supplier selection process and practices.*: © Loughborough University. Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/2134/2160>.
- Stock, J. R., & Boyer, S. L. (2009). Developing a consensus definition of supply chain management: a qualitative study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600030910996323>
- Swift, C. O. (1995). Preferences for single sourcing and supplier selection criteria. *Journal of Business Research*, 32(2), 105-111. Doi: [https://doi.org/10.1016/0148-2963\(94\)00043-E](https://doi.org/10.1016/0148-2963(94)00043-E)
- Şen, C. G., Şen, S., & Başlıgil, H. (2010). Pre-selection of suppliers through an integrated fuzzy analytic hierarchy process and max-min methodology. *International Journal of Production Research*, 48(6), 1603-1625. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207540802577946>
- Talluri, S. (2002). A buyer–seller game model for selection and negotiation of purchasing bids. *European Journal of Operational Research*, 143(1), 171-180. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00333-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00333-2)
- Talluri, S., & Narasimhan, R. (2003). Vendor evaluation with performance variability: A max–min approach. *European journal of operational research*, 146(3), 543-552. Erişim adresi: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377-2217\(02\)00230-8](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377-2217(02)00230-8)
- Tavana, M., Yazdani, M., & Di Caprio, D. (2017). An application of an integrated ANP–QFD framework for sustainable supplier selection. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(3), 254-275. <https://doi.org/10.1080/13675567.2016.1219702>
- Torğul, B., & Paksoy, T. (2019). A new multi objective linear programming model for lean and green supplier selection with fuzzy TOPSIS. In *Lean and green supply chain management* (pp. 101-141): Springer. Erişim adresi: <https://www.springerprofessional.de/en/a-new-multi-objective-linear-programming-model-for-lean-and-gree/16265026>
- Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*: Chapman and Hall/CRC. Erişim adresi: Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*: Chapman and Hall/CRC. Erişim adresi: <https://www.routledge.com/Multiple-Attribute-Decision-Making-Methods-and-Applications/Tzeng-Huang/p/book/9781439861578>
- Verma, R., & Pullman, M. E. (1998). An analysis of the supplier selection process. *Omega*, 26(6), 739-750. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(98\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(98)00023-1)

- Vinodh, S., Ramiya, R. A., & Gautham, S. (2011). Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organisation. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 272-280. Doi: [10.1016/j.eswa.2010.06.057](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.057)
- Vonderembse, M. A., & Tracey, M. (1999). The Impact of Supplier Selection Criteria and Supplier Involvement on Manufacturing Performance. *Journal of Supply Chain Management*, 35(2), 33-39. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1999.tb00060.x>
- Wan, S.-p., Xu, G.-l., & Dong, J.-y. (2017). Supplier selection using ANP and ELECTRE II in interval 2-tuple linguistic environment. *Information Sciences*, 385, 19-38. Doi: [10.1016/j.ins.2016.12.032](https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.12.032)
- Wang, J.-W., Cheng, C.-H., & Huang, K.-C. (2009). Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection. *Applied soft computing*, 9(1), 377-386. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2008.04.014>
- Wang, T.-K., Zhang, Q., Chong, H.-Y., & Wang, X. (2017). Integrated supplier selection framework in a resilient construction supply chain: An approach via analytic hierarchy process (AHP) and grey relational analysis (GRA). *Sustainability*, 9(2), 289. Doi: <https://doi.org/10.3390/su9020289>
- Wang, Y.-M., & Chin, K.-S. (2011). Fuzzy analytic hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology. *International Journal of Approximate Reasoning*, 52(4), 541-553. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2010.12.004>
- Ware, N., Sing, S., & Banwet, D. (2012). Supplier selection problem: A state-of-the-art review. *Management Science Letters*, 2(5), 1465-1490. Doi: [10.5267/j.msl.2012.05.007](https://doi.org/10.5267/j.msl.2012.05.007)
- Ware, N. R., Singh, S., & Banwet, D. (2014). A mixed-integer non-linear program to model dynamic supplier selection problem. *Expert Systems with Applications*, 41(2), 671-678. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.092>
- Weber, C. A., Current, J. R., & Benton, W. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European journal of operational research*, 50(1), 2-18. Erişim adresi: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377-2217\(91\)90033-R](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377-2217(91)90033-R)
- Wei, G.-W. (2011). Grey relational analysis method for 2-tuple linguistic multiple attribute group decision making with incomplete weight information. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 4824-4828. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.163>
- Wei, J.-Y., Sun, A.-F., & Wang, C.-H. (2010). *The application of fuzzy-ANP in the selection of supplier in supply chain management*. Paper presented at the 2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management (ICLSIM). Doi: [10.1109/ICLSIM.2010.5461187](https://doi.org/10.1109/ICLSIM.2010.5461187)
- Wetzstein, A., Hartmann, E., Benton Jr, W., & Hohenstein, N.-O. (2016). A systematic assessment of supplier selection literature—state-of-the-art and future scope. *International Journal of Production Economics*, 182, 304-323. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.022>
- Wilson, E. J. (1994). The Relative Importance of Supplier Selection Criteria: A Review and Update. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 30(2), 34-41. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1994.tb00195.x>
- Wu, H.-H. (2002). A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems. *Quality Engineering*, 15(2), 209-217. Doi: <https://doi.org/10.1081/QEN-120015853>

- Wu, M.-Q., Zhang, C.-H., Liu, X.-N., & Fan, J.-P. (2019). Green supplier selection based on DEA model in interval-valued Pythagorean fuzzy environment. *IEEE Access*, 7, 108001-108013. Doi: [10.1109/ACCESS.2019.2932770](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932770)
- Wu, W.-Y., Sukoco, B. M., Li, C.-Y., & Chen, S. H. (2009). An integrated multi-objective decision-making process for supplier selection with bundling problem. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2327-2337. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.12.022>
- Xia, W., & Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*, 35(5), 494-504. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.09.002>
- Yager, R. R. (2008). Prioritized aggregation operators. *International Journal of Approximate Reasoning*, 48(1), 263-274. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2007.08.009>
- Yang, C.-C., & Chen, B.-S. (2006). Supplier selection using combined analytical hierarchy process and grey relational analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(7), 926-941. Doi: [10.1504/IJLSM.2011.042053](https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.042053)
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Zolfani, S. H. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.095>
- Yoon, K. P., & Hwang, C.-L. (1995). *Multiple attribute decision making: an introduction* (Vol. 104): Sage publications. Doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0771\(199706\)10:2<151::AID-BDM265>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0771(199706)10:2<151::AID-BDM265>3.0.CO;2-8)
- Yu, C., Shao, Y., Wang, K., & Zhang, L. (2019). A group decision making sustainable supplier selection approach using extended TOPSIS under interval-valued Pythagorean fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 121, 1-17. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.010>
- Yu, C., & Wong, T. (2015). A multi-agent architecture for multi-product supplier selection in consideration of the synergy between products. *International Journal of Production Research*, 53(20), 6059-6082. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1010745>
- Yu, P.-L. (1973). A class of solutions for group decision problems. *Management science*, 19(8), 936-946. Doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.19.8.936>
- Yu, X., Zhang, S., Liao, X., & Qi, X. (2018). ELECTRE methods in prioritized MCDM environment. *Information Sciences*, 424, 301-316. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.09.061>
- Zaied, A. N. H., Ismail, M., & Gamal, A. (2019). An Integrated of Neutrosophic-ANP Technique for Supplier Selection. *Neutrosophic Sets and Systems*, 27(1), 21. Doi: https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol27/iss1/21/
- Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw-Hill, Company. In: London.
- Zeydan, M., Çolpan, C., & Çobanoğlu, C. (2011). A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2741-2751. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.064>
- Zhang, X., & Xu, Z. (2014). Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with Pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(12), 1061-1078. doi: <https://doi.org/10.1002/int.21676>

Zhao, J., You, X.-Y., Liu, H.-C., & Wu, S.-M. (2017). An extended VIKOR method using intuitionistic fuzzy sets and combination weights for supplier selection. *Symmetry*, 9(9), 169. Doi: <https://doi.org/10.3390/sym9090169>

Zhong, L., & Yao, L. (2017). An ELECTRE I-based multi-criteria group decision making method with interval type-2 fuzzy numbers and its application to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 57, 556-576. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.04.001>



Journal of Turkish Operations Management

Organizasyon firması için COVID-19 pandemi döneminde aylık personel atama ve çizelgeleme probleminin çözümü: bir uygulama

Ahmet CÜREBAL¹, Serkan KOÇTEPE², Tamer EREN^{3*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye
e-mail: ahmet.crbl@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1031-659X>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye
e-mail: serkankoctepenew@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8306-6907>

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye
e-mail: tamereren@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 05.12.2020
Revize: 16.12.2020
Kabul: 20.12.2020

Anahtar Kelimeler:

Personel atama ve çizelgeleme,
Hedef programlama,
Pandemi virüsü

Özet

Etkinlikler kısıtlı sayıda gün içerisinde düzenlenen ve hizmet çıktısı anında gözlenen organizasyonlardır. Dolayısıyla bu tip süreçler son derece özenli bir çalışma planı yapma ihtiyacını doğurmaktadır. Yüksek hizmet kalitesi kısıtlı süre içerisinde, sürdürülebilir halde sunulmalıdır. Hizmet kalitesi sağlama noktasında personellerin önemi diğer sektörlere nazaran daha kritiktir. Süreç boyunca herhangi bir aksama telafisi olmayan sonuçlar doğurabilmektedir. Bu çalışmada bir organizasyon firmasının aylık personel atama ve çizelgeleme çalışması yürütülmüştür. Kuruluş bu aylık periyot boyunca 6 adet farklı etkinlik için personel sağlayacaktır. Farklı etkinlikler farklı görevler dolayısıyla da farklı uzmanlıklar barındırmaktadır. Personellerin doğru işlere atanması tüm etkinliklerin sürdürülebilirliği açısından hayati öneme sahiptir. Atama ve çizelgesi yapılacak 57 adet personel 7 farklı etkinlik puanına ve 2 farklı niteliğe sahiptir. Etkinliklerde bulunan görevler için de hizmet kalitesi sağlanması amacıyla, minimum puanlar ve bazı nitelik talebi belirlenmiştir. Ek olarak, çalışma boyunca günümüzde tüm dünyada etkinliğini sürdüren pandemi virüsü de dikkate alınarak sağlık açısından riskli personeller düşünülmüş ve pandemi virüsünün bulaşmasına ortam hazırlayabilecek görevlere söz konusu personeller atanmamıştır. Böylece hizmet sürdürülebilirliği mümkün olduğunca önemsenmiştir. Çalışma hedefi olarak personellerden doğan maliyet enazlanması ve yetkinlik ençoklanması belirlenmiştir. Tüm bunların dikkate alınarak hazırlanan matematiksel model ILOG CPLEX programı ile çözülmüştür.

The solution of the organization company monthly personnel assignment and scheduling problem during the COVID-19 pandemic: an application

Article Info

Article History:

Received: 05.12.2020
Revised: 16.12.2020
Accepted: 20.12.2020

Keywords:

Staff assignment and scheduling,
Goal programming,

Abstract

Events are organizations that are held in a limited number of days and whose service output is observed instantly. Therefore, such processes create the need for an extremely careful work plan. High service quality should be provided in a limited time and in a sustainable form. The importance of staff in providing service quality is more critical than other sectors. Throughout the process, any disruption can produce non-compensated results. In this study, a monthly staff assignment and scheduling study of an organization firm was carried out. The organization will provide staff for 6 different events during this monthly period. Different activities have different specialties due to different tasks. The assignment of staff to the right jobs is vital for the sustainability of all events. 57 staff to be appointed and scheduled have 7 different activity points and 2 different qualifications. In order to ensure service quality for the tasks involved in the activities, minimum scores and some qualification requests were determined.

Pandemic virus

Besides, taking into account the pandemic virus that continues to be effective all over the world today, health-risk staff were considered during the study and the said staff were not assigned to the tasks that could prepare the environment for the transmission of the pandemic virus. Thus, service sustainability was considered as important as possible. Minimization of costs arising from staff expense and maximization of competence have been determined as work goals. The mathematical model prepared by taking all these into account was solved with the ILOG CPLEX program.

1. Giriş

Personel atama ve çizelgeleme uygulamaları genel olarak personel çalışma düzeni oluşturma işlemleri olarak tanımlanabilir. Bu tip problemler literatürde yaygın olarak çalışılmıştır. Genel prensip daha etkin çalışma düzeni oluşturmak böylece hizmet verimliliğini artırmaktır. Söz konusu çalışmaların önemi, çalışma sistemindeki personelin rolü ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Dolayısıyla özellikle hizmet sektöründe varlığını sürdüren kuruluşlar için uygulanması oldukça önemli çalışmalardır. Personel atama ve çizelgeleme çalışmalarında genel amaç; işlerin personellere eşit ve personel niteliğine göre ilişkili olarak dağıtılmasıdır. Genel prensibin yanında atama yapılacak göreve, personellere, sektöre göre ve hatta şartlara göre çeşitli özel durumlar da dikkate alınabilmektedir.

Günümüzde, her sektörde rekabetin artması kuruluşların kendisini tanıtmaya ihtiyacını hissetmesini doğurmuştur. Bu doğrultuda kuruluşlar çeşitli organizasyonlar ile birlikte kendi reklamlarını yapmaktadır. Ek olarak hemen hemen her konu ile ilgili günümüzde çeşitli etkinlikler düzenlenerek etkili bir bilgi paylaşımı yapılmaktadır. Söz konusu etkinlikler sınırlı süre içerisinde gerçekleşmektedir. Bu durum etkinliğin en iyi şekilde planlanması gerektiğini beraberinde getirmektedir. Organizasyon hizmetleri kalitesi diğer sektörler nazaran iş gücü ile daha fazla ilişkilidir. Nitelikli elemanlar ile profesyonel bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak günümüzde bu tarz etkinlikleri düzenleyen kuruluşlar ortaya çıkmıştır. Söz konusu etkinlikler hem bu kuruluşlar için hem de organizasyonun öznesi olan topluluklar için tam olarak prestij göstergesi haline gelmiştir. Organizasyonlarda meydana gelebilecek herhangi bir aksaklığın doğurabileceği sonuçlar anında gözlemlenmesi bakımından bu süreç oldukça hassas yürütülmelidir. Tüm bu durumlar personel atama ve çizelgelemesinin bilimsel yöntemlerle yürütüldüğü bir çalışmayı gerektirmektedir.

Bu çalışmada, organizasyon süreç hizmeti veren bir kuruluşun bir aylık personel atama ve çizelgeleme çalışması yürütülmüştür. Firma bir aylık süre içerisinde farklı görevler barındıran 6 adet etkinlik için hizmet verecektir. Söz konusu görevler farklı yetkinlik tipleri ve nitelikleri barındırmaktadır. Atama ve çizelgelemesi yapılacak 20 adet tam zamanlı 37 adet yarı zamanlı olmak üzere toplam 57 adet personel bulunmaktadır. Personellere ait 7 farklı tip yetkinlik puanının yanı sıra maliyet ve cinsiyet olmak üzere 2 adet nitelikte çalışma da dikkate alınmıştır. Hizmet kalitesi açısından personellerin nitelikli oldukları işlere atanmalarını maliyeti de enazlayarak sağlayan bir matematiksel model problem çözümü için kurulmuştur. Hizmet kalitesinin belirli oranda garanti altına alınması açısından her bir görev için her bir tip yetkinlikte karşılanması gereken asgari puan da uzman kişilerce belirlenerek kurulan modele dahil edilmiştir.

Personellerin yetkin oldukları işlere en az maliyetle atanmasını sağlamanın yanı sıra, günümüzde tüm dünyada etkili olan pandemi virüsü de çalışma süresince dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda süreçleri aksatmadan personel ve halk sağlığını da korumaya yönelik tedbirler alınmıştır. Bilindiği üzere söz konusu pandemi virüsü bulaş oranı insanların toplu olarak bulunduğu yerlerde artmakta ve sağlık açısından riskli kişileri etkilemektedir. Çalışmada personellerin sağlık durumları da dikkate alınmış ve kronik rahatsızlığı bulunan çalışanlar, organizasyon ziyaretçileriyle nazaran daha yakın çalışması gereken görevlere atanmamışlardır. Bu şekilde çalışanların sağlığı korunurken sistemin aksamasının da önüne geçilmektedir.

2. Organizasyon çalışmaları

Türkiye’de her yıl çeşitli sektörler adına düzenlenen ve organizasyon olarak nitelendirilebilecek büyük çapta birçok proje gerçekleşmektedir. Bu tip projeler her geçen gün niteliklerini artırmakta ve daha fazla talep görmektedir. Bu değişim ile birlikte organizasyon düzenleme işi bir sektör haline gelmiş ve bu işe odaklanarak profesyonel hizmet sunan firmalar ortaya çıkmıştır. Özel bir araştırma şirketinden alınan verilere göre; Türkiye’de sadece eğlence sektöründe yapılan organizasyon sayısı 40.000 civarındadır ve bu organizasyonlara ayrılan bütçe yaklaşık 4 milyar dolardır (Cürebal, Koçtepe ve Eren, 2020).

Hizmet sektöründe müşteri memnuniyeti sunulan hizmetin kalitesiyle sağlanmaktadır. Sektörde görevli personellerin müşteri ile birebir ilgili olması personel çizelgeleme çalışması hizmet kalitesini artırma anlamında büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla etkin iş gücü çizelgelenmesi, hizmet sistemlerinin önemli problemlerinden bir tanesidir. Uygulanan plan personel verimliliğini dolayısıyla hizmet kalitesini doğrudan etkilemektedir. Planlama uygulanacak alanlara ve koşullara göre çeşitlilik göstermektedir. Organizasyon çalışmaları personel ve müşterilerin yakın temasta olduğu süreçlerdir. Dolayısıyla personellerin etkin oldukları görevlere atanmalarının hizmet kalitesine katkısı oldukça fazladır. Organizasyon etkinlikleri günümüzde çeşitli olarak gerçekleştirilmektedir. Farklı tip etkinlikler farklı görevler içermekte ve sonuç olarak söz konusu görevlerin ve personellerin analizi önemli bir hale gelmektedir. Organizasyon çeşitleri ve aranan personel tipleri genel olarak Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Organizasyon çeşitleri ve talep edilen personel tipleri

Organizasyon	Aranan personel tipleri
Seminer Organizasyonu	Sahne teknik ekibi, Salonlarda görevli ekip, salon genel sorumlusu
Fuar Organizasyonu	Sahne teknik ekibi, stant teknik ekibi, salon içi görevli ekibi, stant görevlisi ekip, birimlerin sorumluları, genel ekip sorumlusu
Kongre Organizasyonu	Sahne teknik ekibi, karşılama ekibi, transfer ekibi, salon ekipleri, Ekip sorumluları, Kayıt ekibi, Gerekli kontak ve akış kontrolü ile ilgili organizasyon yetkilisi ve Genel ekip sorumlusu yeterlidir.
Lansman Etkinlikleri	Teknik kurulum ekibi, Merchandiser (Satış destek elemanı), Stant ekibi, Stant sorumlusu
Stant vb. Tanıtım ve Reklam Organizasyonu	Teknik kurulum ekibi, Merchandiser (Satış destek elemanı), Stant ekibi, Stant sorumlusu
Konser vb. Etkinlikler	Teknik kurulum ekibi, Bilet satış ekibi, Bilet kontrol ekibi, Yönlendirme ekibi, Ekip sorumluları, Genel ekip sorumlusu
Gala vb. eğlence Organizasyonları	Kostümlü veya serbest giyimli eğlence ekibi, eğlence ve müzik için dj, Animatör, Palyaço ekibi, Yönlendirme ekibi, Genel ekip sorumlusu
Sergi Etkinlikleri	Teknik kurulum ekibi, Stant ekibi, Stant sorumlusu

Organizasyon sektöründe müşteri memnuniyetini sağlayabilmek ve sektördeki hizmet kalitesini yüksek tutabilmek başarılı bir planlama ile mümkün olmaktadır. Bu bağlamda sektörde yapılan çalışmanın sunumu esnasında personeller kritik öneme sahiptir. Canlı yayın akış düzenine sahip organizasyonlar için hatalar geri dönülemez durumlara yol açabilmektedir. Bu durum beraberinde görev alacak personellerin seçimi ve görev dağılımlarını belirlemenin ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Planlama aşamasında projenin ihtiyaç duyduğu personel tipleri belirlenip, uygun personelleri uygun pozisyonlara atamak birincil öneme sahiptir. Fakat bunun yanı sıra yetkinlikleri göreve uygun olarak seçilmiş personellerin istek ve talepleri de göz önüne alınarak oluşturulan çizelgeler ile, personelden alınacak verim artırılabilir. Ortak paydada buluşulan çizelgelerde hem personel hem de işletme açısından olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Organizasyonlarda bulunan görevler ve görevler için personelde aranan nitelikler Tablo 2’de gösterilmiştir. Söz konusu görevlere aranan nitelikleri karşılayan personellerin atanması hizmet kalitesini belirli oranda garanti altına alacaktır. Buna ek olarak herhangi bir aksamanın da önüne mümkün olduğunca geçilmektedir. Bu tarz etkinliklerde karşılaşılabilecek aksamalar telafisi mümkün olmayan zararlara yol açabilmektedir.

Tablo 2. Organizasyon görevleri ve görevlerin talep edilen personel nitelikleri

Görev	Görev tanımı	Personelde Aranan nitelikler
Transfer	Organizasyonda katılımcı veya ziyaretçilerin organizasyon alanına ulaşımında görevli birim	Süreç takibi yüksek, esnek çalışma saatlerine uyum sağlayabilen, yabancı dil bilgisi iyi
Bilet satış	Organizasyon özelinde hazırlanan biletlerin satışında görev alacak personel birimi	Bilgisayar bilgisi iyi, İkna kabiliyeti yüksek, Diksiyonu iyi seviyede, Yabancı dil bilen
Akreditasyon	Bilgi almak ve kayıt yaptırmak için gelen katılımcıları doğru birime yönlendirmek için bulunan personeller	Yönlendirme becerisi yüksek, Bilet satışa destek olabilecek, Yabancı dil bilen
Bilet kontrol	Biletli seyircilerin, giriş alanında biletlerini kod okuyucu bir cihaz kullanarak içeri girebilmelerini sağlayan personellerdir.	Fiziksel olarak uzun boylu olmak.
Yönlendirme	Katılımcılara alanda etkinlik noktalarına yönlendirme yapan personellerdir.	Diksiyonu düzgün, organizasyon Alanına hâkim olan ve planları takip edebilen
Karşılama	Aktivitede yer alan konuşmacıların ve sanatçıların havaalanında karşılayıp gerekli yönlendirmeleri yapan personellerdir.	Yabancı dil bilen, Diksiyonu düzgün, Bulunulan bölge hakkında bilgi sahibi
Host	Organizasyonların salon, toplantı odası vb. toplu iletişim kurulan alanlarında görevli erkek personeller	Organizasyonun akışına göre anlık sorunlara çözüm üretebilen, diksiyonu düzgün, fiziksel olarak çevik
Hostes	Organizasyonların salon vb. toplu iletişim kurulan alanlarında görevli kadın personeller	Organizasyonun akışına göre anlık sorunlara çözüm üretebilen, diksiyonu düzgün, fiziksel olarak çevik
Runner	Organizasyonlarda hızlı gelişen ihtiyaçlara anlık tepki verebilecek durumda olarak hazır da tutulan yedek personel birimi	Fiziksel olarak uzun boylu ve çevik, Esnek çalışma saatlerine uygun
Spv	Seçilen birim sorumlusu personeller	Bulunduğu birimde tecrübeli problemleri hızlı çözebilecek proaktif, müşteri ile direk iletişim kurabilecek kişi
Merchandiser	Tanıtım vb. organizasyonlarda görev alan ürün hakkında detaylı bilgiye sahip olup, ürün sunumu yapan personeller	Yabancı dil bilen, Dış görünüşüne önem veren, Diksiyonu düzgün, İkna kabiliyeti yüksek kişiler

3. Literatür taraması

Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde personel atama ve çizelgeleme çalışmalarının birçok farklı alanda uygulandığı görülmektedir. Bu tarz problemlerin çözümüne birçok farklı yaklaşım sunulduğu da literatür çalışmalarında anlaşılmaktadır. Literatürde incelenen bazı çalışmalar hakkında bilgiler şu şekildedir:

Taha (2015) yöneylem araştırması kitabında hedef programlama yönteminden detaylı şekilde bahsedilmiştir. Labidi, Mrad, Gharbi ve Louly (2014) çalışmalarında personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çözüm yöntemi olarak çok amaçlı hedef programlama kullanmışlardır ve bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Öztürkoğlu ve Çalışkan (2014) çalışmalarında farklı personel isteklerini de bünyesinde barındıran bir hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Tam sayılı programlama yöntemi ile bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Todovic Makajic-Nikolic, Kostic-Stankovic ve Martić (2015) çalışmalarında polis memurları için bir çizelgeleme problemini ele almışlardır. Hedef programlama yöntemi ile bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Ünal ve Eren (2016) nöbet çizelgeleme konusunda çalışmışlardır. Çalışmalarında ağırlıklı hedef programlama yöntemi ile bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Ciritcioğlu, Akgün, Varlı ve Eren (2017) çalışmalarında Kırıkkale Üniversitesinde çalışmakta olan

güvenlik görevlilerinin günlük atandıkları vardiyaların adaletli ve dengeli bir biçimde hazırlanması amaçlamışlardır. Hedef programlama yöntemi kullanarak bir çözüm yapmışlardır. Varlı ve Eren (2017) çalışmalarında, tüm gün hizmet veren Kırıkkale'deki bir hastanenin yoğun bakım, ameliyathane ve acil bölümlerine, hastanenin her vardiyada ihtiyaç duyduğu hemşire sayısını karşılamak için bir hedef programlama modeli önermişlerdir. Varlı, Ergişi ve Eren (2017) çalışmalarında bir hastanede çalışan hemşirelerin özel izin isteklerini dikkate alarak aylık çalışma planlarının en iyi şekilde yapılması için bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Bu yöntem ile bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Bedir, Eren ve Dizdar (2017) perakende sektöründe bir uygulama yaparak personel çizelgeleme problemini ergonomik faktörleri dahil etmişlerdir. Özder, Varlı ve Eren (2017) temizlik personeli için çizelgeleme problemini ele almışlardır. Personellerin özel isteklerini karşılamak amacıyla Hedef programlama yöntemi ile çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Özcan, Varlı ve Eren (2017) hidroelektrik santrallarda personel çizelgeleme problemi uygulaması yapmışlardır. Vardiya personelleri için hedef programlama yaklaşımı ile bir çözüm geliştirmişlerdir. Taş, Özlemiş, Hamurcu ve Eren (2017) çalışmalarında AHP VE Hedef programlama modellerini kullanarak monoray proje seçimi yapıp karşılaştırmışlardır. Kurulacak olan monoray hattı için alternatif projeler değerlendirilerek belirlenen kriterler doğrultusunda en uygun projenin seçimi yapılmıştır. Varlı, Alağaç, Özder ve Eren (2017) çalışmalarında hemşire vardiya çizelgeleme problemini ele almış ve bir örnek uygulama yapmışlardır. Özel kısıtları olan hemşireler için hedef programlama yöntemi ile özel kısıtları dikkate alarak bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Gür, Hamurcu ve Eren (2017) Ankara'da monoray projelerinin AHP ve 0-1 hedef programlama yöntemleriyle seçimini yapmışlardır. (AHP) ve 0-1 Hedef Programlama yöntemleri kullanılarak Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde belirlenen güzergâhlara en uygun ulaştırma projelerinin seçimi yapılmıştır. Varlı, Alağaç, Özder ve Eren (2017) çalışmalarında üniversitede sınav programı çizelgeleme problemini ele almışlar ve problemi hedef programlama yöntemi ile sınav günü atamalarını gerçekleştirmişlerdir. De Bruecker, Belien, Van Den Bergh ve Demeulemeester (2018) uçak bakımı çalışanları için personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Karma tam sayılı programlama ile beceri kriterini dikkate alarak gerçek hayat problemi için model önerisinde bulunmuşlardır. Vermuyten, Rosa, Marques, Belien ve Barbosa-Povoa (2018) acil sağlık hizmetlerinde karşılaşılan personel çizelgeleme problemleri için tam sayılı programlama ile bir model önerisi yapmışlardır. Daha sonra sezgisel algoritma ile gerçekçi problem örnekleri ile modelin sağlamlığını test etmişlerdir. Koçtepe, Bedir, Eren ve Gür (2018) organizasyon sektöründe kısmi zamanlı çalışan personellerin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Matematiksel modelleme kullanarak, 0-1 tamsayılı programlama ile modeli çözmüşlerdir. Uslu, Bedir, Gür ve Eren (2018) çalışmalarında ele alınan problem tipi için birden fazla hedefin karşılanmasını sağlayan ve bu hedeflerde esneklik olmasına izin veren 0-1 hedef programlama yöntemi kullanılmıştır ve bir çözüm önerisinde bulunulmuştur. Yelek, Demirel, Alağaç ve Eren (2018) çalışmalarında Kırıkkale Üniversitesi Merkez Kütüphanesinde kısmi zamanlı çalışan kırk öğrencinin bir aylık periyotta vardiya düzeninin belirlenmesi problemini ele alınmıştır. Öğrencilerin özel istekleri de dikkate alınarak, problemin çözümünde hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Hedef programlamada her bir öğrencinin sabah ve öğleden sonra vardiyalarının sayısının eşit olması amacıyla iki hedef belirlenmiştir ve bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Demirel, Yelek, Alağaç ve Eren (2018) Bu çalışmada Ankaray metro hattındaki dört istasyonda çalışan kırk üç güvenlik personeli için çalışma planının oluşturulması amaçlanmıştır. Problemin çözümünde hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Hedef programlama ile oluşturulan matematiksel model çözülmüş sonucunda yeni bir vardiya planı elde edilmiştir. Koçtepe, Alağaç, Gür ve Eren (2019) Bir basketbol karşılaşmasında kısmi zamanlı çalışan personellerin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Personel yetkinlik puanlarını da dikkate alarak, 0-1 tamsayılı programa yöntemi ile bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Özder, Özcan ve Eren (2019), Türkiye'de faaliyette olan bir doğal gaz çevrim santralinde çalışan 80 adet personelin aylık çizelgeleme çalışmalarını yürütmüşlerdir. Analytic Network Process (ANP) yöntemi ile elde ettikleri çalışanların beceri puanlarını, kurdukları hedef programlama modeline dahil ederek çalışmalarını sonuçlandırmışlardır. Chiang, Jeang, Chiang, Chiang ve Chung (2019) çalışmalarında, bir hastanenin en önemli iki giderinin ameliyathane kullanımı ve hemşirelerden doğması üzerine, hemşire birimlerinin ve ameliyathane kullanımlarının planlamasını yürütmüşlerdir. Bu amaç doğrultusunda eşzamanlı optimizasyon için çok amaçlı bir matematiksel model kurmuşlardır. Özder, Özcan ve Eren (2020) doğal gaz çevrim santralinde görevli personellerin yetkinliklerini ANP ile belirlemiş ardından santralin eski üretim verilerini yapay sinir ağları ile analiz ederek elde edilen bu verileri hedef programlama modeline dahil ederek çizelgeleme çalışmalarını yürütmüşlerdir. Marchesi, Hamacher ve Fleck (2020) çalışmalarında doktorların çalışma çizelgeleme problemini stokastik programlama ile bir çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Özcan, Danişan ve Eren (2020) Türkiye'deki büyük ölçekli bir hidroelektrik santralda yer alan 1330 elektriksel ekipman incelenmiş ve santral açısından kritiklik seviyesi belirlenmiştir. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ve Tam Sayılı Programlama yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bir zaman çizelgesi doğrultusunda gerçekleştirilebilecek olan, periyodik bakım stratejisinin uygulanabileceği kritik elektriksel 7 ana ekipman grubu belirlenmiştir ve bir uygulama yapmışlardır. Cürebal ve diğ. (2020) çalışmalarında bir etkinlikte görev alacak personellerin çizelgeleme ve atama problemini çözüm bulmuşlardır. Personel yetkinliklerinin de kullanıldığı çalışmada her bir görev önem derecesine

göre sıralanmış ve önemleri ile orantılı olarak amaç fonksiyonunda ağırlıklandırılarak görevlere atanan personellerin yetkinlikleri ençoklanmıştır.

Literatürde personel çizelgeleme çalışmalarında personellerin yetkinliklerinin de kullanılması oldukça yaygındır. Bu çalışmada personellerin çalışacakları alan ile ilgili uzman kişilerce belirlenmiş 7 adet yetkinlik kullanılmıştır. Ayrıca her bir görev farklı yetkinlik tipleri farklı sıralamalarla önemsenerek gerçek hayata daha uygun bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Bu sayede hizmet kalitesinin ençoklanması hedefine ek olarak, her bir görev için farklı tipte yetkinlik sunuları söz konusu önem sıralamasına göre modelde sert kısıt olarak dikkate alınarak, hizmet kalitesi belirli bir seviyede garanti altına alınmıştır. Personellerin yetkin oldukları işlere atanması durumu da bu sert kısıtla sağlanmış ve personel memnuniyeti de sağlanmıştır. Hizmet kalitesinin sağlanması yanında çalışmada tüm dünyada etkili olan ve gündelik hayatı pek çok yönden oldukça etkileyen pandemi virüsü de dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda pandemi önlemleri kapsamında riskli olan personellerin müşterilerle nazaran daha fazla iç içe olunan görevlere atanmaları engellenmiştir. Böylece personel sağlığının korunmasının yanında, hizmet sürdürülebilirliği sağlanırken virüs yayılımının da mümkün olduğunca önüne geçilmiştir.

4. Hedef programlama

Karar verme kavramı hayatımızın hemen hemen her bölümünde karşımıza çıkmaktadır. Karar verici(ler) bir karar durumu ile karşı karşıya kaldığı zaman çoğunlukla birden çok kriteri göz önüne almak durumunda kalmaktadır. Matematiksel model kurma, karar verme durumu için kullanılabilen bilimsel yöntemlerden bir tanesidir. Hedef programlama yöntemi matematiksel model yaklaşımlarının yaygın bir şekilde kullanılan yöntemlerindedir. Diğer matematiksel yöntemlerden en büyük farkı, karar vericiye alternatif sonuçlar da sunabilmesidir. Karar verici herhangi bir kısıttan herhangi bir oranda sapabildiği taktirde amaç fonksiyonuna ne kadar katkısı olacağını yöntem sayesinde değerlendirebilmektedir. Hedef programlama yönteminin amacı genel olarak; ulaşılmak istenen hedefler arasındaki sapmaları enküçükmektir. Hedef programlama yönteminin amaç fonksiyonu sadece sapmalardan oluşmaktadır. Yöntemin genel formülasyonu eşitlik 1-3'te gösterilmektedir. (Taha, 2015).

x_j : j. karar değişkeni

a : karar değişkeni katsayı parametresi

r : hedef kısıtı sağ taraf değer parametresi

d_i^+ : i. hedefin pozitif sapma değişkeni

d_i^- : i. hedefin negatif sapma değişkeni

P : hedef önem derecesi

Olmak üzere:

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^n P * (d_i^+, d_i^-) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a * x_j + d_i^+ + d_i^- = r \quad (2)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad (3)$$

$$i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$$

Uygulama aşamasında kullanılan yöntem; bu çalışmaya özgü olarak uyarlanırken araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

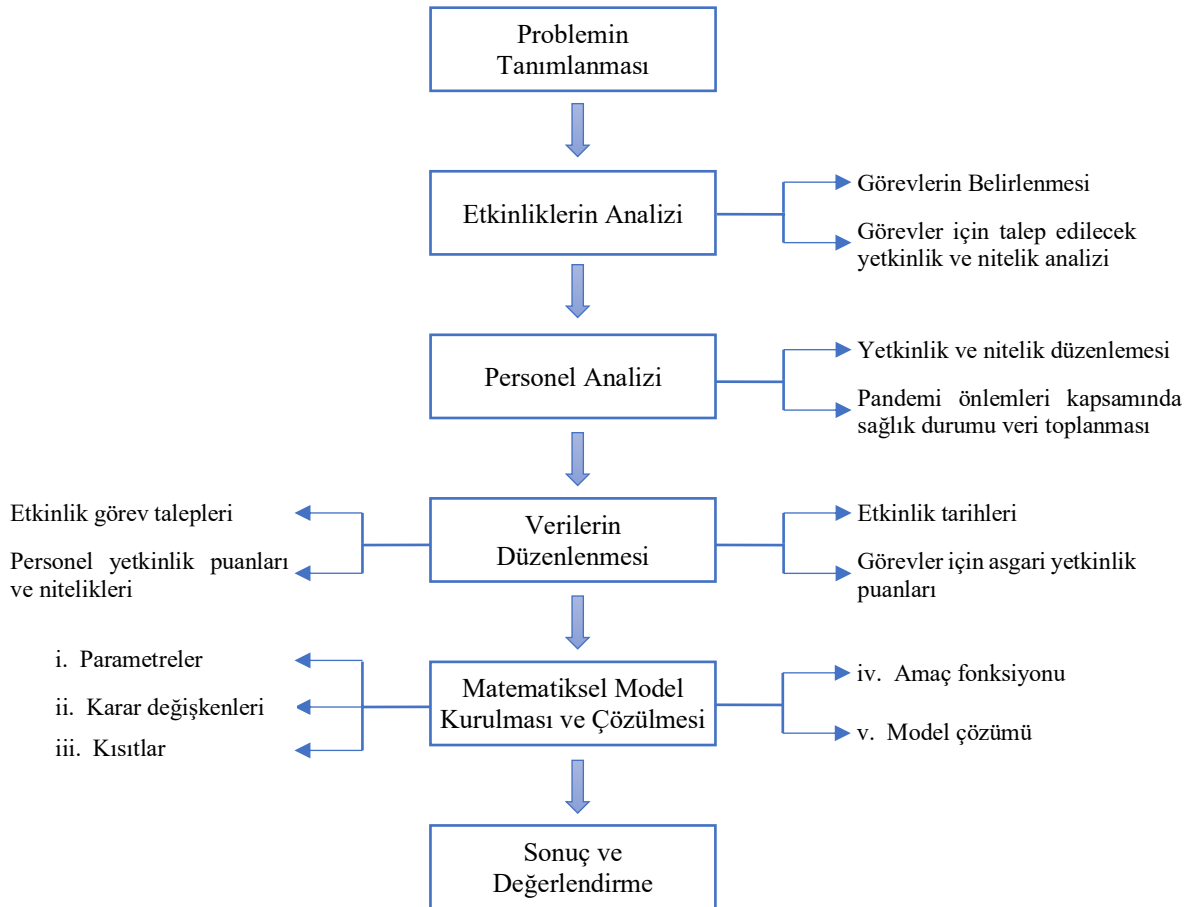
5. Uygulama

Çalışmada, organizasyon sektöründe hizmet veren bir kuruluşun 30 günlük işgücü çalışma planı özel izin dahilinde oluşturulmuştur. Bu 30 günlük süreçte, kuruluştan 6 farklı organizasyon için personel talep edilmiştir. Organizasyonlar farklı görevleri içermektedir. Dolayısıyla kuruluş her bir organizasyona, belirli uzmanlıkları olan personellerden tedarik edecektir. Çalışma planı oluşturulacak süreçte kuruluşun elinde 20'si tam zamanlı geri kalanı ise yarı zamanlı çalışmakta olan 57 personel bulunmaktadır. Personellerin atama ve çizelgeleme çalışması matematiksel model yöntemi ile yürütülmüştür.

Organizasyonlarda, hizmeti alan firmanın en büyük taleplerinden bir tanesi hizmet kalitesidir. Hizmet kalitesi hem organizasyonu düzenleyen firma için hem de bu hizmeti alan kuruluş için bir prestij göstergesi olması bakımından son

derece önemlidir. Bu tip etkinliklerde hizmet kalitesi diğer sektörlere kıyasla daha çok personel çalışma sistemine bağlıdır. Personellerin yetkin oldukları işlere atanması hizmet kalitesini kayda değer bir şekilde değiştirebilmektedir. Bu doğrultuda, personel çizelgeleme ve ataması yapılırken personellerin yetkinlik puanlarının göz önüne alınması hizmet kalitesini önemli ölçüde artıracaktır. Personellerin 7 adet başlık altında yetkinlik puanları çalışma modeline dahil edilmiştir. Bunun yanı sıra tam zamanlı ve yarı zamanlı çalışan personellerin maliyetlerinin farklı olması sebebiyle maliyet enazlanması da çalışmanın amaçlarından bir tanesidir. Ek olarak çalışmada, tüm dünyada etkili olan ve gündelik hayatta birçok farklı önemi alma zorunluluğuna sebep olan Covid-19 virüsü için de çalışmalar yapılmıştır. Söz konusu çalışmalar sadece etkinliğin ziyaretçileri için değil ayrıca personeller için de yürütülmüştür. Böylece hem personel sağlığı korunmuş hem de olası bir personel eksikliğinin önüne geçilmiştir. Bu doğrultuda önlem olarak, kalıtsal hastalığı bulunan personellerin, ziyaretçiler ile yakın temasta olabileceği görevlere atanmaması sağlanmıştır.

Personel çizelgelemesi yapılacak 6 adet etkinlik, içerisinde farklı görevler barındırmaktadır. Bu görevlerden bazılarında cinsiyet kısıtının olması yanında hepsi için minimum yetkinlik puanı da belirlenmiştir. Böylece hizmet kalitesinin belirli bir seviyede korunması amaçlanmıştır. 6 adet etkinliğin düzenleneceği günler, personellerin yetkinlik puanları ve özellikleri, her bir görev için belirlenen minimum puanlar ve görevler talep edilen personel sayıları “veriler” bölümünde detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Uygulama akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Uygulama akış şeması

5.1. Problem tanımı

Uygulamada; çeşitli etkinlikler için yetkin personel tedarik eden bir firmanın 30 günlük çalışma çizelgesi problemi ele alınmıştır. 30 günlük süre içerisinde firma 6 farklı etkinlik için personel tedarik edecektir. Her bir etkinlik farklı görevlerden oluşmakta ve her bir görevin farklı gereksinimleri bulunmaktadır. Hizmet kalitesinin sağlanması açısından

söz konusu gereksinimlerin sağlanacağı bir personel çizelgeleme ve ataması oluşturulmalıdır. Oluşturulacak çalışma çizelgesinde yetkinliklerin ençoklanması ve maliyetlerin enazlanması amaçlanmıştır. Ayrıca etkinlik gibi çok sayıda kişinin bulunacağı ortamlarda özellikle dikkat edilmesi gereken Covid-19 pandemi virüsünün de yayılma problemi çalışma boyunca dikkate alınmıştır.

30 günlük çizelge planında 57 personel 6 adet etkinlik kapsamında 29 farklı göreve atanacaktır. Personellerin 7 farklı yetkinlik başlığında puanlarının yanı sıra cinsiyet ve maliyet bilgileri de modele dahil edilmiştir. Ek olarak Covid-19 önlemleri kapsamında kronik rahatsızlığı bulunan personel bilgileri de modelde dikkate alınmıştır. Personellerin yetkin oldukları işlere atanması ile hizmet kalitesi ençoklanacak ve etkin bir çalışma yürütülecektir.

5.2. Veriler

30 günlük çalışma süresinde personel tedarik edilecek etkinlikler, etkinliklerin görevleri, talep edilen personel sayısı ve personel cinsiyeti (PC) hakkındaki bilgiler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Etkinlik bilgileri

Etkinlik	Görevler	No.	Talep	PC		Etkinlik	Görevler	No.	Talep	PC
X Kongresi	Transfer	1	2	Erkek (E)		Z Kongresi	Host	16	6	E
	Karşılama	2	4				Hostes	17	4	K
	Kayıt	3	5				Runner	18	1	E
	Host	4	8	E		A Marka Tanıtımı	Host	19	4	E
	Hostes	5	5	Kadın (K)			Hostes	20	4	K
	Runner	6	3	E			ASPV	21	1	
Y Kongresi	Transfer	7	1	E		B Marka Tanıtımı	Host	22	4	E
	Karşılama	8	3				Hostes	23	4	K
	Kayıt	9	3				Merchandiser	24	4	K
	Host	10	5	E		Festival	Bilet Satış	25	5	
	Hostes	11	4	K			Akreditasyon	26	2	
	Runner	12	1	E			Bilet Kontrol	27	10	
Z Kongresi	Transfer	13	2	E		Workshop	28	10		
	Karşılama	14	3			Runner	29	10		
	Kayıt	15	4							

57 adet personelin 7 adet yetkinlik için 0-9 skalasındaki puanları ve cinsiyet (C) ve maliyet (M) özellikleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Söz konusu yetkinlikler: Diksiyon (D), Tecrübe (T), Yönlendirme (Y), Bilgisayar (B), Dış Görünüş (DG), Takım Çalışması (TC) ve Yabancı Dil (YD) şeklindedir. Tam zamanlı çalışan personellerin (1-20) maliyeti 100 TL iken yarı zamanlı çalışan personellerin (20-57) maliyeti 110 TL'dir

Tablo 4. Personel yetkinlik puanları ve nitelikleri

P No.	D	T	Y	B	DG	TC	YD	C	M	P No.	D	T	Y	B	DG	TC	YD	C	M
1	7	6	7	7	8	7	1	E	100	30	6	2	8	8	7	7	1	K	110
2	6	5	8	6	7	7	1	E	100	31	7	3	8	7	8	6	1	K	110
3	8	6	7	6	7	6	1	E	100	32	8	5	7	6	8	7	1	K	110
4	8	5	7	6	7	7	1	E	100	33	6	4	8	8	7	7	1	K	110
5	7	6	7	7	7	6	1	E	100	34	8	2	7	8	8	6	1	K	110
6	8	8	9	8	8	7	1	E	100	35	8	5	8	8	8	7	0	K	110
7	7	6	7	9	8	7	0	E	100	36	8	3	7	8	7	7	0	K	110
8	6	5	7	6	8	8	1	E	100	37	6	4	8	8	8	6	0	K	110
9	7	8	8	7	8	8	1	E	100	38	8	2	7	8	8	7	1	K	110
10	8	7	8	7	8	7	1	E	100	39	8	3	8	8	7	6	0	K	110
11	7	3	7	9	6	7	0	E	100	40	7	4	8	7	8	7	0	E	110
12	8	4	5	7	6	8	1	E	100	41	5	4	8	7	8	6	1	E	110
13	6	3	8	8	6	7	1	E	100	42	6	4	8	7	8	7	0	E	110
14	8	5	6	9	6	7	0	E	100	43	5	4	7	6	8	7	0	E	110
15	7	5	6	9	6	7	0	E	100	44	8	4	7	6	8	6	1	E	110
16	8	5	7	8	6	7	1	K	100	45	5	4	7	7	8	7	1	E	110
17	7	4	8	7	8	8	0	K	100	46	8	5	7	8	8	7	1	E	110
18	8	8	8	7	8	7	1	K	100	47	6	5	7	7	8	6	1	E	110
19	7	4	9	6	8	6	1	K	100	48	6	4	7	6	8	7	1	E	110
20	8	8	9	8	5	7	1	K	100	49	6	1	7	6	8	7	1	E	110
21	6	5	8	7	6	6	1	K	110	50	6	2	8	7	7	7	1	E	110
22	7	4	6	5	5	7	1	K	110	51	7	3	8	6	8	6	1	E	110
23	6	3	7	6	5	7	0	K	110	52	8	5	7	7	8	7	0	E	110
24	7	4	8	5	5	6	1	K	110	53	8	2	7	8	9	7	0	E	110
25	7	5	7	5	5	7	1	K	110	54	8	5	8	8	8	6	0	E	110
26	7	3	7	5	5	7	1	K	110	55	8	3	7	8	8	7	1	E	110
27	6	5	4	5	5	6	1	K	110	56	6	4	8	8	7	6	0	E	110
28	6	4	7	5	8	6	1	K	110	57	7	7	7	7	8	7	0	E	110
29	6	1	7	6	8	7	1	K	110										

Yetkinlik ve özelliklerin tablodaki sırasına göre numaraları 1, ..., 9 şeklindedir. Örneğin C'nin numarası 8'dir.

Çalışmada kurulan modelin amaçlarından bir tanesi atanan personellerin toplam yetkinlik puanlarının ençoklanmasıdır. Ancak, bu durumda oluşabilecek herhangi bir yanlış atanmanın önüne geçilmesi amacı ile, her bir görev için minimum yetkinlik puanları belirlenmiştir. Böylece bazı yetkinlik puanları belirlenen değerden az olan personellerin o göreve atanmasının önüne geçilmiş ve hizmet kalitesi belirli standartlarda garanti altına alınmıştır. Görevler için belirlenen bu asgari puanlar Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Görevlerin bazı yetkinlikler için asgari puanı

Görev No.	D	T	Y	B	YD	Görev No.	D	T	Y	B	YD
1	5	2	5	2	1	16	6	4	6	3	0
2	6	4	5	1	1	17	6	4	6	3	0
3	6	4	4	6	1	18	3	2	4	3	0
4	6	4	3	3	1	19	6	4	5	6	0
5	6	4	2	3	1	20	6	4	6	6	0
6	3	2	5	3	1	21	7	5	2	6	1
7	5	2	4	2	0	22	6	4	6	6	0
8	6	4	6	1	0	23	6	4	6	6	0
9	6	4	5	6	0	24	7	5	2	6	1
10	6	4	6	3	0	25	6	4	6	6	1
11	6	4	6	3	0	26	6	5	6	6	1
12	3	2	3	3	0	27	5	4	6	2	0
13	5	2	5	2	0	28	7	4	5	2	1
14	6	4	6	1	0	29	3	2	1	1	0
15	6	4	5	6	0						

Ayrıca model de personellerin pandemi virüsüne karşı durumları da düşünülerek önlemler alınmıştır. Böylece personellerin verimli çalışmalarına katkıda bulunmanın yanı sıra olası bir personel eksikliğinin de önüne mümkün oldukça geçilecektir. Bu doğrultuda ziyaretçilerle en çok iç içe olunan bazı görevlerde kronik hastalığı bulunan personeller görevlendirilmeyecek ve temastan mümkün olduğunca kaçınılmaları sağlanacaktır. Söz konusu görevlerin numaraları; 2, 8, 14 ve 27 şeklindedir. Kronik rahatsızlığı bulunan personeller; 2,4,6,7,8,25 ve 31 şeklindedir.

30 günlük süre içerisinde personel tedariki sağlanacak 6 adet etkinliğin düzenleneceği günler Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Görevlerin aktif olduğu günler

Görev No.	Çalışma Günleri	Görev No.	Çalışma Günleri
1	1-9	16	10-13
2	1-9	17	10-13
3	1-9	18	10-13
4	1-9	19	15-23
5	1-9	20	15-23
6	1-9	21	15-23
7	4-11	22	24-30
8	4-11	23	24-30
9	4-11	24	24-30
10	4-11	25	26-29
11	4-11	26	26-29
12	4-11	27	26-29
13	10-13	28	26-29
14	10-13	29	26-29
15	10-13		

5.3. Matematiksel Model

Bu bölümde 57 adet personelin 29 görev özelinde 30 günlük çizelgelemesine yer verilmiştir. Modelde, temel çalışma kısıtlarına ek olarak çalışanların yetkinlik puanları ve her bir görevin gereksinimlerine yer verilmiştir. Ayrıca kronik hastalığı bulunan personel için Covid-19 pandemi virüsünden korunma önlemleri de modele yansıtılmıştır. Modelde 2'si hedef kısıtı olmak üzere toplam 8 adet kısıt bulunmaktadır.

5.3.1. Parametreler

n	: Personel sayısı	$n=57$
m	: Gün sayısı	$m=30$
t	: Görev sayısı	$t=29$
z	: Yetkinlik ve özellik sayısı	$z=9$
i	: Personel indeksi	$i=1,2,\dots,n.$
j	: Gün indeksi	$j=1,2,\dots,m.$
k	: Görev indeksi	$k=1,\dots,t.$
y	: Yetkinlik ve nitelik indeksi	$y=1,\dots,z.$
D_k	: k. görevin personel ihtiyacı	$\forall k$
F_k	: k. görevin pasif olduğu günler kümesidir (Tablo 4)	$\forall i$
Y_{iy}	: i. personelin y. Yetkinlik puanı (Tablo 2)	$\forall i, y$
Min_{ky}	: k. görevin y. yetkinlik minimum puanı (Tablo 3)	$\forall k, y$
R	: Kronik rahatsızlığı bulunan personel kümesi	

5.3.2. Karar değişkenleri

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{i. personelin j. gün k. göreve atanması durumu} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\forall i, j, k, y$$

Modelde yetkinliğin en çoklanması ve maliyetin en azlanması olmak üzere 2 adet hedef bulunmaktadır. Hedeflerin sağ taraf değerleri; yetkinlik için tüm personellerin tüm yetkinlik puanlarının maksimum (9) olması durumu, maliyet için ise tüm personellerin maliyetlerinin minimum (100TL) olması durumu varsayılarak belirlenmiştir. Bu değerler sırası ile H (41688) ve G (77200) şeklindedir. Yetkinlik hedefi “yet” ile gösterilmekte olup pozitif sapma beklenmemektedir. Maliyet hedefi ise “ma” ifadesi ile temsil edilmekte ve negatif sapma beklenmemektedir.

yet^- : yetkinlik hedefinin negatif sapması

ma^+ : maliyet hedefinin pozitif sapması

5.3.3. Matematiksel modelin kısıtları

Modelin sert ve hedef kısıtları aşağıda açıklamaları ile birlikte gösterilmiştir.

Kısıt 1: Talep kısıtı. Herhangi bir görev aktif olduğu günlerde personel ihtiyacını karşılamalıdır.

$$\sum_{i=1}^{57} x_{ijk} = D_k \quad \forall k \text{ \& \& } \forall j \in m - F_k \quad (4)$$

Kısıt 2: Görevlerin asgari yetkinlik puanına sahip olmayan personel o göreve atanmamalıdır.

$$Y_{iy} \leq Min_{ky} \rightarrow \sum_{j=1}^{30} x_{ijk} = 0 \quad \forall i, k, y \quad (5)$$

Kısıt 3: Herhangi bir personel herhangi bir günde sadece bir işe atanabilir.

$$\sum_{k=1}^{29} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (6)$$

Kısıt 4: Görevlerin aktif olduğu günler ile ilgili kısıt.

$$\sum_{i=1}^{57} x_{ijk} = 0 \quad \forall j, k \in F_k \quad (7)$$

Kısıt 5: Cinsiyet kısıtı, Tablo-1’de gösterilen bazı görevlere atanması gereken cinsiyet tipini karşılayan kısıttır.

$$Y_{i8} \leq E \rightarrow \sum_{j=1}^{30} x_{ijk} = 0 \quad \forall i \text{ \& \& } \forall k \in 5,11,17,20,23,24 \quad (8)$$

$$Y_{i8} \leq K \rightarrow \sum_{j=1}^{30} x_{ijk} = 0 \quad \forall i \text{ \& \& } \forall k \in 1,4,6,7,10,12,13,16,18,19,22 \quad (9)$$

Kısıt 6: Pandemi virüsü önlemleri kapsamında kronik rahatsızlığı bulunan personeller ziyaretçilerle nispeten daha fazla temasta olan görevlere atanmamalı.

$$\sum_{j=1}^{30} x_{ijk} = 0 \quad \forall i \in R, \forall k \in 2,8,14,27 \quad (10)$$

Hedef Kısıtı: Modelde 2 adet amaç bulunmaktadır. Hizmet kalitesinin mümkün olduğunca üst düzeyde olması amacıyla yetkinliklerin ençoklanması ve maliyetlerin enazlanması. (H ve G hedef sağ taraf değerleri olmak üzere)

$$\sum_{k=1}^{29} \sum_{i=1}^{57} \sum_{j=1}^{30} (x_{ijk} * Y_{iy}) + yet^- = H \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^{29} \sum_{i=1}^{57} \sum_{j=1}^{30} (x_{ijk} * Y_{i9}) - ma^+ = G \quad (Y_{i9} \text{ personellerin maliyetlerini ifade etmektedir}) \quad (12)$$

5.3.4. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu

Modelin amaç fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir. Amaç fonksiyonu yetkinliğin ve maliyetin istenilen hedeflerden sapmalarını minimize etmektedir.

$$\text{Minimize } yet^- + ma^+$$

5.4.5. Matematiksel modelin çözümü

49592 adet karar değişkeninin ve en fazla 3747 adet kısıtın bulunduğu model IBM Ilog Cplex Optimization Studio programı ile çözülmüştür. Kısıt sayısının kesin olarak verilememesinin nedeni bazı kısıtların bir şarta bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Model sonucunda yet hedefinde 9906, ma hedefinde 3390 sapma olmak üzere toplam 13296 sapma amaç fonksiyonunda meydana gelmiştir. Hedef sağ taraf değerlerinin büyüklükleri düşünüldüğünde önemli bir sapma meydana gelmemiştir. Personellerin yetkinlikleri de dikkate alınarak, personellerin yetkin oldukları işlere atanması böylece hizmet kalitesinin artması ve olası aksaklıkların mümkün olduğunca önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca sert kısıt olarak eklenen; her bir görev için bazı yetkinlikler bazında belirlenen minimum yetkinlik değeri sayesinde personellerin yetkin olmadıkları işlere atanması engellenmiş böylece hizmet kalitesinin belirli bir oranda sağlanacağı garanti altına alınmıştır. Personellerin yetkin oldukları işlere atanması kaliteli bir işin yapılmasına ek olarak personel memnuniyetini de artıracaktır. Bu durum özellikle hizmet sektöründe ve müşterilerle iç içe olunan işlerde son derece önemlidir. Yetkinlik ençoklanmasına ek olarak maliyet enazlanması da çalışmada yürütülmüştür. Ayrıca personellerin sağlık durumları göz önüne alınarak kronik hastalığı bulunan personellerin müşterilerle iç içe olduğu işlere atanmamasına dikkat edilmiştir. Model kısıtlara cevap vermiş ve istenen hedefler doğrultusunda personel çizelgeleme çalışması sonuçlandırılmıştır. Model sonucu EK 1’de gösterilmiştir. Sonuç tablosu içerisindeki numaralar görevleri temsil etmektedir (Tablo 3).

6. Sonuç ve tartışma

Çalışmada bir organizasyon şirketinin aylık personel çizelgeleme çalışması yürütülmüştür. Bu bir aylık süreç boyunca organizasyon 6 farklı etkinliğin yürütülmesini üstlenmiştir. Söz konusu etkinlikler birbirlerinden farklı niteliklere sahip olmasından dolayı personellerin atanması ve çizelgenmesi kuruluş için son derece önemlidir. Etkinliklerin farklı yetkinlik tiplerinde görevler barındırması, çalışmada bilimsel yöntemler kullanma zorunluluğu doğurmuştur. Organizasyonlar sınırlı günlerde gerçekleşen etkinliklerdir, dolayısıyla her bir görevin aksamadan ilerlemesi oldukça önemlidir. Bu doğrultuda çalışmada personel atamaları yetkinlik ve nitelik doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Personellerin 7 adet yetkinlik puanı ve 2 adet niteliği bulunmaktadır. Tüm etkinliklerin mümkün olduğunca sorunsuz sürdürülmesi amacıyla her bir görev için bazı karşılanması gereken nitelikler ve yetkinlik puanları belirlenmiştir. Bu veriler modele kısıt olarak dahil edilerek tüm etkinliklerin hizmet kalitesi garanti altına alınmıştır. Ek olarak

personellerden doğan maliyetler enazlanırken görevlere atanana personellerin yetkinlik puanlarının ençoklanması hedeflenmiştir.

Çalışmada personel atama ve çizelgeleme çalışması tüm kısıtları da sağlayarak sonuçlandırılmıştır. Yetkinlik ençoklanması ve maliyet enazlanması sayesinde kaliteli bir hizmetin en az maliyetle sağlanması beklenmektedir. Personellerin yetkin oldukları işlere atanması ile personel memnuniyete ek olarak olası aksamaların da mümkün olduğunca önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmada tüm dünyada hayatı büyük ölçüde etkileyen pandemi virüs önlemlerine de yer verilmiştir. Kuruluş tarafından düzenlenen etkinlik çalışmalarında farklı görevler bulunmaktadır. Görevlerin bazıları müşterilerle yakın temas içermektedir. Bu görevlere pandemi riskinden etkilenme ihtimali yüksek olan yani kronik rahatsızlığı bulunan personellerin atanmaması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda modele dahil edilen 6 numaralı kısıt, söz konusu personellerin müşteri ile yakın temasta olunan görevlere atanmaması üzerinedir. Bu sayede virüs yayılımının mümkün olduğunca önüne geçilerek personel sağlığı ve sistem sürdürülebilirliğinin korunması amaçlanmıştır.

Çalışma organizasyon şirketinin bir aylık personel çizelgeleme ve atanmasını ele almaktadır. Çalışmada yürütülen çizelgeleme ve atama prensipleri ile bir karar destek sistemi kurularak, ileriki çalışmalar için, yürütülen bu optimizasyon çalışması sürekli hale getirilebilir. Kurulması söz konusu olan sisteme personel havuzu da dahil edilerek personellerden doğan maliyet daha da düşürülebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Ahmet CÜREBAL, bilimsel yayın araştırması, yöntem uygunluk araştırması, yöntemin uygulanması ve yorumlanması ve makalenin oluşturulması; Serkan KOÇTEPE, bilimsel yayın araştırması, verilerin toplanması ve düzenlenmesi ve sonuçların yorumlanması; Tamer EREN, bilimsel yayın araştırması yeterliliğinin incelenmesi, yöntem uygunluk incelemesi, uygulama süreç incelemesi, sonuçların incelenmesi ve genel makale incelemesi; konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması meydana gelmemiştir.

Kaynaklar

- 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>
- Chiang, A. J., Jeang, A., Chiang, P. C., Chiang, P. S. & Chung, C.P. (2019). Multi-objective optimization for simultaneous operating room and nursing unit scheduling. *International Journal of Engineering Business Management*, 11, 1–20. doi: <https://doi.org/10.1177/1847979019891022>
- Ciritcioğlu, C., Akgün, S., Varlı, E. & Eren, T. (2017). Kırıkkale Üniversitesi Güvenlik Görevlileri İçin Vardiya Çizelgeleme Problemine Bir Çözüm Önerisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9 (2): 1-23. doi: <https://doi.org/10.29137/umagd.351463>
- Cürebal, A., Koçtepe, S. & Eren, T. (2020). Tanıtım Festivalinde Personel Çizelgeleme Problemi: Bir Uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Basımda.
- Özcan, E., Danişan, T. & Eren, T. (2020). Hidroelektrik santrallarda bakım çizelgeleme için hibrid bir model önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), 1815–1828. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.602774>
- De Bruecker, P., Beliën, J., Van den Bergh, J. & Demeulemeester, E. (2018). A three-stage mixed integer programming approach for optimizing the skill mix and training schedules for aircraft maintenance. *European Journal of Operational Research*, 267(2): 439-452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.047>
- 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.

- Gür, Ş., Hamurcu, M. & Eren, T. (2017). Ankara’da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4): 437-443.
- Koçtepe, S., Bedir, N., Eren, T. & Gür, Ş. (2018). Organizasyon Görevlileri İçin Personel Çizelgeleme Probleminin 0-1 Tam Sayılı Programlama ile Çözümü. *Ekonomi, İşletme ve Yönetim Dergisi*, 2(1): 25-46.
- Koçtepe, S., Alağaç, H. M., Gür, Ş. & Eren, T. (2019). Basketbol Karşılaşmasında Görevli Organizasyon Personellerinin 0-1 Tam Sayılı Programlama Yöntemi ile Çizelgelemesi. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(2): 44-53.
- Labidi, M., Mrad, M., Gharbi, A. & Louly, M.A. (2014). Scheduling IT Staff at a Bank: A Mathematical Programming Approach. *The Scientific World Journal*, Article, ID 768374. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/768374>
- Marchesi, J. F., Hamacher, S. & Fleck, J. L. (2020). A stochastic programming approach to the physician staffing and scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106281. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106281>
- Özcan, E. C., Varlı, E. & Eren, T. (2017). Hedef Programlama Yaklaşımı ile Hidroelektrik Santrallarda Vardiya Personeli Çizelgeleme. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4): 363-370. doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.347609>
- Özder, E., Özcan, E. & Eren, T. (2019). Staff task-based shift scheduling solution with an ANP and goal programming method in a natural gas combined cycle power plant. *Mathematics*, 7(2), 192. doi: <https://doi.org/10.3390/math7020192>
- Özder, E. H., Özcan, E. & Eren, T. (2020). Sustainable personnel scheduling supported by an artificial neural network model in a natural gas combined cycle power plant. *International Journal of Energy Research*, 44(9), 7525–7547. doi: <https://doi.org/10.1002/er.5480>
- Özder, E. H., Varlı, E. & Eren, T. (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>
- Öztürkçüoğlu, Y. & Çalışkan, F. (2014). Hemşire Çizelgelemesinde Esnek Vardiya Planlaması ve Hastane Uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16: 115-133. doi: <https://doi.org/10.16953/deusbed.07850>
- Taha A. H. (2015). *Yöneylem Araştırması*. Literatür Yayıncılık, Türkiye.
- Taş, M., Özlemiş, Ş. N., Hamurcu, M. & Eren, T. (2017). Analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama karma modeli kullanılarak monoray projelerinin seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2(2): 24-34.
- Todovic, D., Makajic-Nikolic, D., Kostic-Stankovic, M. & Martic, M. (2015). Police officer scheduling using goal programming. *Policing: An International Journal of Police Strategies and Management*, 38: 295- 313. doi: <https://doi.org/10.1108/PIJPSM-11-2014-0124>
- Uslu, B., Bedir, N., Gür, Ş. & Eren, T. (2018). 0-1 Hedef Programlama Yöntemi Kullanılarak Hemşire Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, 3(3): 1-23. doi: <https://doi.org/10.25279/sak.383756>
- Ünal, F. M. & Eren, T. (2016). Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (1): 28-37. doi: <https://doi.org/10.21541/apjes.59022>
- Vermuyten, H., Rosa, J. N., Marques, I., Belien, J. & Barbosa-Póvoa, A. (2018). Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach. *Expert systems with applications*, 112, 62-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.017>
- Varlı, E. & Eren, T. (2017). Hemşire Çizelgeleme Problemi ve Hastanede Bir Uygulama. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (1): 34-40.
- Varlı, E., Ergişi, B. & Eren, T. (2017). Özel Kısıtlı Hemşire Çizelgeleme Problemi: Hedef Programlama Yaklaşımı. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (0) 49: 189-206. doi: <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.323910>
- Varlı, E., Alağaç, H., 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.
- Yelek, A., Demirel, B., Alağaç, H. M. & Eren, T. (2018). Kısmi Zamanlı Çalışan Personellerin Çizelgelemesi: Kırıkkale Üniversitesi Merkez Kütüphanesi Örneği. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2): 313-330.



Journal of Turkish Operations Management

Türkiye'nin elektrik üretiminde doğalgaz talep tahminleri

Çetin Önder İNCEKARA

BOTAŞ, Transit Pipe Line Manager, Ankara

e-mail: cetinincekara@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-1927-8208>

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 27.01.2020
Revize: 10.07.2020
Kabul: 20.09.2020

Anahtar Kelimeler:

Doğal gaz,
Elektrik üretimi,
Bulanık mantık,
Çok kriterli karar verme,
Bulanık TOPSIS

Özet

Elektrik, günlük yaşantımızda en çok ihtiyaç duyduğumuz ve kullandığımız enerji türüdür. Ülkemizde elektrik üretiminde doğal gazın kullanım oranı 1990 yılında %6 iken bu rakam 2014 yılında %48' dir. Ülkemizde son yıllarda yenilenebilir enerji santrallerine yapılan yatırımlar artmış olsa da elektrik üretiminde doğal gaz kullanımı 2017 yılında %37 civarına inmiştir. Ülkemiz fosil enerji kaynakları açısından fakir olmasından dolayı fosil enerji kaynaklarını ithal etmektedir. Elektrik üretiminde kullandığımız doğal gazı; Rusya, İran Azerbaycan, Cezayir, Nijerya ve Katar' dan "Al ya da öde" hükümlü uzun süreli doğal gaz anlaşmaları ile ithal etmektedir. Bu sözleşmeler ülkemiz ekonomisine ağır bir yük oluşturmaktadır. Söz konusu durumun iyi planlanması için; çalışmada enerji konusunda uzman kişilerle görüşülerek ülkemizin doğalgaz talep tahmini için bir bulanık matematiksel model (Bulanık AHP+ Bulanık TOPSIS modeli kullanarak) geliştirilmiştir. Matematiksel model ile ülkemizin yüksek ve düşük doğal gaz talep senaryoları altında ülkemizin 2019-2030 yılları arasında ülkemizin elektrik üretiminde kullandığı doğal gaz miktarı yüksek ve düşük talep senaryoları altında hesaplanmıştır. Matematiksel modelin analiz sonucu; ülkemizde 2019 ile 2030 yılları arasında elektrik üretiminde yüksek talep senaryosunda toplam doğal gaz kullanımı % 58 oranında artarak 77,8 bcm (milyar m³)' e ulaşacağı, elektrik üretiminde kullanılan doğal gaz miktarı % 40 oranında artarak 38,2 bcm' e ulaşacağı, düşük talep senaryosunda ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artması sonucu elektrik üretiminde kullanılan doğal gaz miktarı % 36 oranında azalarak 13,9 bcm' e seviyesine düşeceği hesaplanmıştır.

Turkey 's natural gas demand projection in electricity generation

Article Info

Article History:

Received: 27.01.2020
Revised: 10.07.2020
Accepted: 20.09.2020

Keywords:

Natural gas,

Abstract

Electricity is the type of energy that we use/need in our daily life. In Turkey the usage of natural gas in electricity generation is 6% in 1990, it is increased and reached 48% in 2014. Although new renewable power plant investments are made in Turkey in recent years, the usage of natural gas in electricity generation is approximately 37% in 2017. Since in terms of fossil energy sources Turkey is not lucky, it imports fossil energy sources. Natural gas that is used in Turkey's electricity generation is imported from Russia, Iran, Azerbaijan, Algeria, Nigeria and Qatar by signing long term "Take or Pay" contracts. These contracts constitute a heavy economic load on Turkey's economy. To ensure that these contracts are good/timely planned; interviews with energy experts are performed in this study and fuzzy mathematical model

Electricity generation,
Fuzzy logic,
Multi-criteria decision making,
Fuzzy TOPSIS

(by using Fuzzy AHP+ Fuzzy TOPSIS) is developed to calculate Turkey's natural gas demand under high and low scenarios. With the help of model, the usage of natural gas amount in Turkey's electricity generation between 2020 and 2030 is calculated. In the study, between 2019 and 2030 under high demand scenario natural gas usage in Turkey will be increased by 53% and reached to 77,8 bcm, the total natural gas demand in Turkey's electricity generation will increased by 40% and reached to 38,2 bcm and under low demand scenario it is decreased by 36% and reached to 13,9 bcm due to increase in renewable energy investments in Turkey.

1. Giriş

Gelişen dünyada enerji günlük hayatımızın bir parçası olmuştur. Elektrik enerjisi en yaygın kullanılan enerjidir. Elektrik yaşamımızın vaz geçilmezi olmuştur, elektrik olmadan hiç bir elektrikli cihaz çalıştırılmaz. Elektrik; kömür, rüzgâr, güneş, jeotermal, doğal gaz, petrol, nükleer, hidrolik ve diğer doğal kaynakların dönüştürülmesiyle elde edilir. Dünya çapında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yatırımları hızla devam etmesine rağmen dünyada birincil enerji kaynakları içinde fosil kaynakların kullanımı IEA verilerine göre 2016 yılı verilerine göre %85,3'lük pay ile ilk sırada yer almaktadır.

Doğalgaz verimi yüksek kullanım alanı geniş fosil türevli bir enerji kaynağıdır. Doğalgazın kesintisiz ve her zaman kullanıma açık bir enerji kaynağı olması doğalgazın değerini yükseltmektedir. Doğalgaz günümüzde stratejik bir enerji kaynağı olarak konut, işyerleri, fabrikalarda, elektrik üretiminde ve endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz fosil kaynakları açısından fakir olmasına rağmen doğal gaz gibi fosil kaynaklardan yoğun bir şekilde kullanmasından dolayı fosil kaynaklarındaki fiyat artışları ülkemiz ekonomisine ağır bir yük oluşturmaktadır.

2. Doğal Gaz Tüketimi

2.1. Küresel Doğal Gaz Tüketimi

Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2013 yılında yayınladığı raporun Yeni Politikalar Senaryosunda; gaz talebinin 2035 yılına kadar ortalama yıllık % 1,6 artış göstererek 5 trilyon m³'e ulaşması ve bu artışın % 85'inin OECD dışı ülkelerin talebinden kaynaklanması beklenmektedir. Asya Pasifik'te, enerji tüketimindeki payı sınırlı olan gaz talebinin, özellikle Çin'de beklenen yüksek talebe bağlı olarak dört kat artacağı tahmin edilmektedir. Avrupa Birliği (AB) enerji ihtiyacının yaklaşık %50'sinde dışa bağımlıdır ve bu rakamın 2020 yılına kadar %70'e ulaşması beklenmektedir. AB ülkelerine ihraç edilen doğalgaz ve petrolün %30'u Rusya Federasyonu'ndan gelmektedir. Orta Doğu'nun AB enerji arzındaki payı ise % 45'tir. AB gelecekte en büyük gaz ithalatçı konumunu sürdürecektir. 2001 yılında 496 milyar m³ (bcm) seviyesindeki Avrupa doğalgaz tüketiminin 2020'de 634 milyar m³ ulaşacağı hesaplanmıştır (UNECE, 2016).

2.2. Türkiye'nin Doğal Gaz Tüketimi

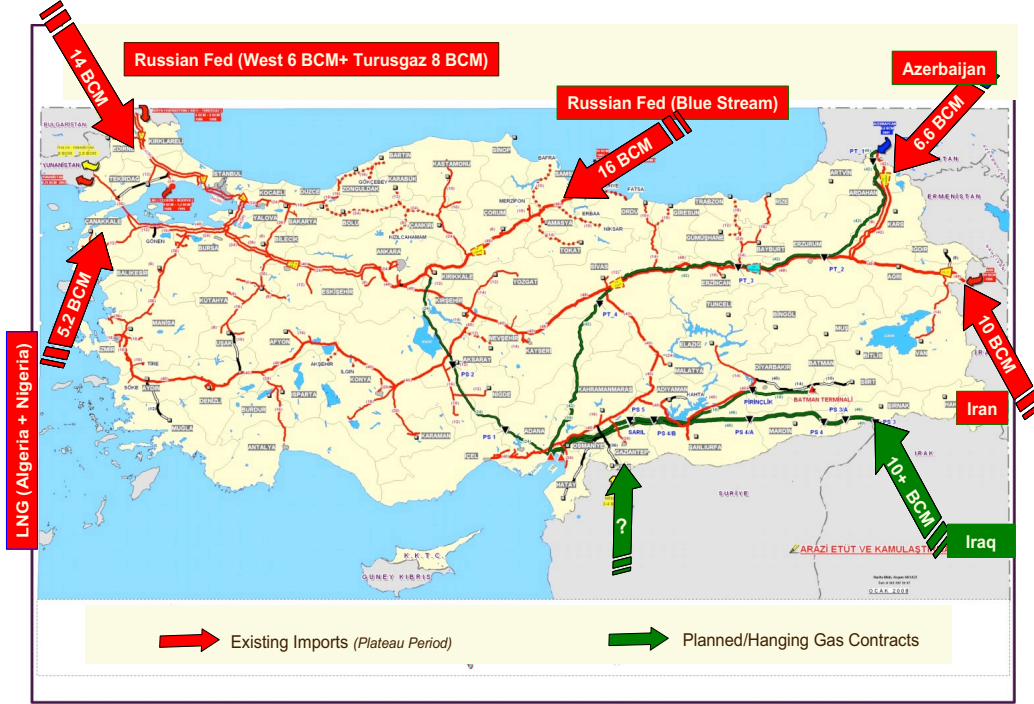
Türkiye'nin artan enerji talebi ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi amacıyla BOTAS 18 Eylül 1984 tarihinde Türkiye ile Sovyetler Birliği arasında Hükümetler arası Anlaşma çerçevesinde, BOTAS ile SOYUZGAZEXPORT arasında 14.02.1986 tarihinde 6 milyar m³/yıl miktar için ilk Doğal Gaz Alım Satım Anlaşması imzalanmıştır. Ülkemizin doğal gaz arz çeşitlendirilmesi, arz güvenliğinin ve arz esnekliğinin sağlanması için çeşitli anlaşmalar imzalanmış olup doğal gaz anlaşmalarımız Tablo 1.'de sunulmuştur.

Tablo 1. Doğal Gaz Alım ve Satış Anlaşmaları (BOTAS, 2016)

Mevcut Anlaşmalar	Miktar (Plato) (milyar m ³ /yıl)	İmzalanma Tarihi	Süre (yıl)
Rus. Fed. (Bati)	6	14 Şubat 1986	25
Cezayir (LNG*)	4	14 Nisan 1988	20
Nijerya (LNG)	1,2	9 Kasım 1995	22
İran	10	8 Ağustos 1996	25

Rus. Fed. (Mavi Akım)	16	15 Aralık 1997	25
Rus. Fed. (Bati)	8	18 Şubat 1998	23
Türkmenistan	16	21 Mayıs 1999	30
Azerbaycan (Faz 1)	6,6	12 Mart 2001	15
Azerbaycan (Faz 2)	6	25 Ekim 2011	15
Azerbaycan (TANAP)	16 (6 bcm Türkiye için)	20 May 2014	49
Rusya (Türk Akım)	31.5 (yarısı Türkiye için)	10 Kasım 2016	49
Yunanistan (Satış)	0,75	10 Nisan 2007	15

*LNG: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz



Şekil 1. Doğal Gaz Alım Miktarları ve Yerleri (BOTAŞ, 2016)

Ülkemiz sahip olduğu jeostratejik konumu itibariyle, bölgesel petrol ve doğal gaz projelerinde öncü rol oynamak suretiyle gerek ulusal arz güvenliğinin sağlanmasında gerekse de Avrupa başta olmak üzere bölgesel arz istikrarına katkıda bulunma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir. Bu kapsamda, Ortadoğu, Hazar Bölgesi ve Orta Asya'nın zengin hidrokarbon kaynakları ile Avrupa ve Dünya'daki tüketici ülkeler arasında güvenilir, istikrarlı ve ekonomik bir enerji merkezi olma doğrultusunda uluslararası planlanan;

- Türkiye - Yunanistan – İtalya Doğal Gaz Boru Hattı (ITGI)
- Nabucco Doğal Gaz Boru Hattı
- Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı (TANAP)
- Trans-Adriyatik Doğal Gaz Boru Hattı (TAP)
- Mısır-Türkiye (Arap) Doğal Gaz Boru Hattı
- Irak-Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı
- Hazar geçişli Türkmenistan-Türkiye-Avrupa Doğal Gaz Boru
- Türk Akım Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (Faz: 1, 2, 3, 4)
- İsrail - Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı
- Katar Doğal Gaz Boru Hattı

projeleri bulunmaktadır.

Türkiye'nin 2006-2019 yılları arasında ülkelere göre ithal ettiği doğal gaz miktarları Tablo 2.' de sunulmuştur.

Tablo 2. Türkiye'nin Ülkelerden Doğal Gaz İthalat Miktarları(m³x10⁶) (EPDK, 2020)

Yıl	Rusya	İran	Azerbaycan	LNG (Cezayir+Nijerya+Spot)	Toplam
2006	19.316	5.594	-	5.311	30.221
2007	22.762	6.054	1.258	5.768	35.842
2008	23.159	4.113	4.580	5.498	37.350
2009	19.473	5.252	4.960	6.171	35.856
2010	17.576	7.765	4.521	8.174	38.036
2011	25.406	8.190	3.806	6.473	43.875
2012	26.491	8.215	3.354	7.862	45.922
2013	26.212	8.730	4.245	6.083	45.270
2014	26.715	8.924	5.921	7.864	49.424
2015	26.383	8.644	6.118	7.352	48.497
2016	25.540	7.705	6.480	6.627	46.352
2017	28.690	9.251	6.544	10.765	55.250
2018	23.642	7.863	7.527	11.328	50.360
2019	15.196	8.468	8.853	12.694	45.211

2.3. Türkiye'nin Elektrik Üretim ve Tüketimi Verileri

Ülkemizin elektrik tüketimi Tablo 3.'de sunulmuştur.

Tablo 3. Türkiye'nin Elektrik Tüketimi (MMO, 2020)

Yıllar	Tüketim (Milyon kWh)
1995	85.552
1996	94.789
1997	105.517
1998	114.023
1999	118.485
2000	128.276
2001	126.871
2002	132.553
2003	141.151
2004	150.018
2005	160.794
2006	174.637
2007	190.000
2008	198.058
2009	193.472
2010	208.700
2011	229.344
2012	242.370
2013	246.357
2014	257.220
2015	265.724
2016	278.345
2017	289.975
2018	292.172
2019	290.431

Ülkemizde 1990-2018 yılları arası elektrik enerjisi üretiminde doğal gazın kullanım oranı Tablo 4.' de verilmiştir.

Tablo 4. Türkiye’de Doğal Gazdan Elektrik Üretimi (MMO, 2020)

Yıl	GWh	Yıl	GWh
1990	10.192	2005	73.445
1991	12.589	2006	80.691
1992	10.814	2007	95.025
1993	10.788	2008	98.685
1994	13.822	2009	96.095
1995	16.579	2010	98.144
1996	17.174	2011	112.481
1997	22.086	2012	116.323
1998	24.837	2013	114.713
1999	36.345	2014	128.804
2000	46.217	2015	119.611
2001	49.549	2016	111.498
2002	52.496	2017	123.813
2003	63.536	2018	105.085
2004	62.242		

3. Hesap Yöntemi: Bulanık Mantık

Gerçek dünya karmaşıktır ve bu karmaşıklık, genel olarak belirsizlik ve kesin karar verilemeyeşten kaynaklanmaktadır. Günümüzde birçok konuda; sosyal ve teknik konular dâhil tam bir karara varamadığımızdan, kesin kararımızı tam olarak ifade edemediğimizden dolayı günlük hayatımızda her zaman belirsizlikler yer almaktadır. Bu nedenle bilimsel dünyada karar verme sürecine bulanık mantık teorisinin dâhil edilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bulanık mantık; karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgilere dayanarak tutarlı ve doğru kararlar vermeyi sağlayan düşünme ve karar verme mekanizmasıdır (İncekara, 2019).

3.1 Bulanık Mantık Teorisi

Bulanık mantık teorisi ilk olarak 1965 yılında Zadeh (1965) tarafından “Bulanık Kümeler” isimli makalesinde bulanık kümeler teorisinin temel kavramlarını ve matematiksel özellikleri literatürde ilk defa ele alınmıştır. Zadeh, klasik kümelerdeki bir takım özellikleri, bulanık kümelerde uygulanacak şekilde tanımlamıştır. Zadeh tarafından bulanık küme; “sürekli üyelik derecelerine sahip olan ve her elemana 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesi atayan bir üyelik fonksiyonuyla tanımlanan bir küme” olarak tanımlanmıştır (İncekara, 2019). Bulanık mantıkta, herhangi bir problemin yaklaşık olarak modellenmesine, matematiksel olarak karmaşık olmayacak çözümlerle denetim altına alınması hedeflenmektedir. Bulanık mantıkta karar vericilerin değerlendirmelerinin dilsel değişkenler vasıtasıyla çözüm sürecine dâhil edilmiştir. Dilsel değişkenlerin bulanık sayılarla çözüm sürecine dâhil edilmesinin çok kriterli karar verme problemlerinde karşılaşılan belirsizliklerin giderilmesini sağladığı için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır (İncekara, 2018).

3.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi

Bulanık AHP (Analytic Hierarchy Process), KV’lerin dilsel değişkenler ile problemi değerlendirmeleri ile problemin çözümüne katkı sağlamaları ile AHP (Saaty 2008)’in avantajlarını bünyesinde barındıran bir yöntemdir. Bulanık yöntemin en büyük avantajı problemin çözümünde dilsel değişkenler kullanılması ile çok-kriterli-karar-verme

yöntemlerinde karşılaşılan belirsizlikler giderilmektedir. İlk Zadeh ile başlayan bulanık mantık kullanımı sonrasında literatürde çok sık kullanılmış olup çok sayıda çalışma yapılmıştır. Çalışmada kullanılan Bulanık AHP yöntemi ile literatürde pek çok çalışma (Chan vd, 2007; Buckley, 1985; Chang, 1996; Chen vd, 1992; Deng, 1999; Kahraman, vd, 2003; Klir, 1995; Leung, 2000; Shukla, 2014; Thengane, 2014; Wang, 2008; Incekara, 2018; Incekara, 2019; Incekara, 2020) yapılmıştır. Çalışmanın çözümünde üçgen bulanık sayılardan faydalanılmış olup çalışmada kullanılan dilsel ifadeler, karşılık gelen ilgili bulanık sayıları Tablo 5’de sunulmuştur.

Tablo 5. Çalışmada Kullanılan Dilsel ifadeler ile bunlara Karşılık Gelen Bulanık Sayılar

Dilsel ifadeler	Bulanık Sayılar	Ters Bulanık Sayılar
Eşit Önem	(1, 1, 3)	(1/3, 1, 1)
Biraz Daha Önemli	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1)
Oldukça Önemli	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Çok Önemli	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Son Derece Önemli	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)

Günlük hayatımızda karar problemleri belirsizlikler içerdiğinden, bu durum dikkate alındığında Bulanık AHP, AHP yöntemine göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bulanık AHP bireysel kararlar yanında grup kararı vermeye uygun bir karar verme yöntemi olma özelliğini taşımaktadır. Chang 1996 yılında üçgen bulanık sayılarla karşılaştırmaların yapay mertebeye değerleri hesaplamasına dayanan Bulanık AHP modeli ortaya koymuştur. Chang’ın 1996 yılında ileri sürmüş olduğu Bulanık AHP yöntemi en çok kullanılan Bulanık AHP yöntemlerinden birisidir. Chang’ın bulanık AHP yöntemi matematiksel olarak çok hesaplama gerektirmemesi ve klasik AHP adımlarının uygulanması nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir.

Bu kapsamda çalışmada bulanık sayıların ağırlıklarını hesaplanmak için Chang (1996) tarafından geliştirilen Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_p\}$ nesne seti ve $L = \{l_1, l_2, \dots, l_r\}$ amaç seti; alınan her nesne ve amaç için “r ölçüde” büyüklük analizi yapılmıştır.

$$X^1_{hi}, X^2_{hi}, \dots, X^r_{hi} \quad (i=1,2,\dots,p; j=1,2,\dots,r) \quad (1)$$

Burada, tüm X^j_{hi} ($i=1,2,\dots,r$) ler üçgen bulanık sayılardır. i. nesne için bulanık sentetik mertebeye değeri formül (2) ile gösterilmiştir.

$$S_i = \sum_{j=1}^r X^j_{hi} \otimes \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^r X^j_{hi} \right]^{-1} \quad (2)$$

$X_1 \geq X$ ’nin olabilirlik derecesi formül (3) ile gösterilmiştir.

$$B(X_1 \geq X_2) = \sup_{k \geq t} [\min(\mu_{X_1}(k), \mu_{X_2}(t))] \quad (3)$$

$h \geq t$ ve $\mu_{X_1}(k) = \mu_{X_2}(t)$ durumunu sağlayan (k, t) gibi bir çift varsa; $B(X_1 \geq X_2) = 1$ ’dir. X_1 ve X_2 iki konveks bulanık sayı olduğundan;

$$X_1 \geq X_2 \text{ ise; } B(X_1 \geq X_2) = \mu_{X_1}(e) \quad (4)$$

Burada e , μ_{X_1} ve μ_{X_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası olan E ’nin ordinatıdır.

$X_1 = (a_1, b_1, c_1)$ ve $X_2 = (a_2, b_2, c_2)$ olduğunda; E ’nin ordinatı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$B(X_2 \geq X_1) = \frac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)} \quad (5)$$

X_1 ve X_2 ’nin karşılaştırılmasının yapılabilmesi için $B(X_1 \geq X_2)$ ve $B(X_2 \geq X_1)$ değerlerinin her ikisine de ihtiyaç vardır. Konveks bir bulanık sayının f adet konveks bulanık sayıdan X_i ($i=1,2,\dots,f$) daha büyük olabilirlik derecesi aşağıdaki biçimde tanımlanır.

$$B(X \geq X_1, X_2, \dots, X_f) = B[(X \geq X_1) \text{ ve } (X \geq X_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (X \geq X_f)]$$

$$= \min B(X \geq X_i), \quad (i=1,2,3,\dots,f) \quad (6)$$

$d'(A_i) = \min B(S_i \geq S_f)$ ve $k = 1,2,3,\dots,v$; $f \neq i$ için ağırlık vektörü aşağıda gösterilmiştir.

$$W' = (d'(Z_1), d'(Z_2), \dots, d'(Z_f))^T \quad (7)$$

“W” bulanık olmayan bir sayı olup; normalize ağırlık vektörü aşağıdaki gösterilmiştir:

$$W = (d(Z_1), d(Z_2), \dots, d(Z_i))^T \quad (i=1,2,\dots,f) \quad (8)$$

3.2. Bulanık TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) temelinde, karar noktalarının pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklarının belirlenmesi ve karar noktaları arasında bir sıralama yapılması yatmaktadır (Chen, 2000). Pozitif ideal çözüm; karar noktalarının yaklaşması arzu edilen noktayı yansıtırken; aksine negatif ideal çözüm; kaçınılması gereken noktayı ifade etmektedir. TOPSIS yönteminde herhangi bir karar noktasının negatif ideal çözümden uzaklaştıkça, pozitif çözüme yaklaştığı kabul edilir ki; bu söz konusu karar noktasının tercih edilebilirliğini artıran bir durumdur. Yöntemde pozitif ideal çözüme “1”, negatif ideal çözüm ise “0” değeri ile temsil edilir. Bu durumda; karar noktalarının “0” ile “1” değerleri arasında değerler alırlar (Incekara, 2013). Yöntemde; seçeneklerin/alternatiflerin pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerlerinden hareketle her bir karar noktasına ait yakınlık katsayısı (H) hesaplanır ve çalışmadaki seçenekler/alternatifler yakınlık katsayılarına göre sıralanır. TOPSIS yönteminde ideal çözüm ya da en uygun alternatif, fayda kriterini maksimize ederken maliyet kriterini minimum yapan çözümdür.

Bulanık TOPSIS yöntemini ilk kez Chen (2000) bir sistem analizi mühendisi seçim probleminin çözümü için kullanmıştır. Bulanık TOPSIS nicel ve nitel çok kriterli karar problemlerinde alternatiflerin seçim sıralama ve değerlendirilmesinde yararlanılan bir karar verme yöntemidir. Bulanık nitelikteki durum ve olaylarda TOPSIS yönteminin kullanılması halinde insan yargı ve düşüncelerini çözüme yansıtmak mümkün olmamaktadır. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden Bulanık TOPSIS karar problemlerinde bulanık ortamlarda karar verilebilmesine imkân vermektedir. Yöntemin uygulanması sırasında karar vericiler, karar kriterleri ve alternatiflerle ilgili değerlendirmelerini dilsel olarak ifade ederler. Karar vericilerin kriterler ve alternatiflerle ilgili değerlendirmeleri bulanık sayılara dönüştürülerek alternatifler için yakınlık katsayısı hesaplanır. Hesaplanan yakınlık katsayıları yardımıyla alternatifler sıralanarak çözüm ortaya konur. Çalışmada uygulanan ve Chen (2000) tarafından geliştirilen Bulanık TOPSIS yöntemi bireysel ya da grup kararı verilmesinde uygulanabilen bir yöntemdir. Chen tarafından önerilen ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değerlendirmeler ve bulanık sayı karşılıkları aşağıda sunulmuştur:

Tablo 6. Değerlendirilmede Kullanılan Sözel Değişkenler ve İlgili Bulanık Sayısı (Chen, 2000)

Sözel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Kötü	(0, 0, 1)
Kötü	(0, 1, 3)
Biraz Kötü	(1, 3, 5)
Orta	(3, 5, 7)
Biraz İyi	(5, 7, 9)
İyi	(7, 9, 10)
Çok İyi	(9, 10, 10)

K tane karar vericinin bulunduğu bir grupta karar problemine etkileyen w_j^K ' nın j. karar kriterlerinin önem ağırlığı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{w}_{ij}^1 \oplus \tilde{w}_{ij}^2 \oplus \tilde{w}_{ij}^K] \quad (9)$$

K tane karar vericinin bulunduğu bir grupta karar problemindeki X_{ij}^K 'nin i. alternatifin önem ağırlığı ise aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{X}_{ij}^1 \oplus \tilde{X}_{ij}^2 \oplus \tilde{X}_{ij}^K] \quad (10)$$

Bir çok kriterli karar verme probleminin karar matrisi ve kriter ağırlıkları aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \quad (11)$$

Burada \tilde{x}_{ij} ve \tilde{w}_j dilsel değişkenlerdir. $A_1, A_2, A_3 \dots A_m$, alternatifleri; K karar vericileri ve sayısını; $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ karar kriterlerini; \tilde{x}_{ij} , C_j karar kriterine göre A_i alternatifinin kriter değerini ve \tilde{w}_j de C_j kriterlerinin önem ağırlığını ifade etmektedir. \tilde{D} bulanık karar matrisi olarak ve \tilde{W} bulanık ağırlıklar matrisi olarak ifade edilir. Matrisin elemanları ve ağırlıkları birer bulanık sayı olarak $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ şeklinde gösterilir.

Bulanık karar matrisinin oluşturulmasından sonra normalize edilmiş bulanık karar matrisi hesaplanır. Bu matris aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i=1,2,3 \dots, m \quad j=1,2,3 \dots, n \quad (12)$$

Normalize edilmiş bulanık karar matrisinin her bir elemanı B fayda ve C maliyet kriterini göstermek üzere aşağıdaki formüller ile hesaplanır:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right), \quad c_j^+ = \max c_{ij}, \quad \forall j \in B \quad (13)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad a_j^- = \min a_{ij}, \quad \forall j \in C \quad (14)$$

Formülden de görüleceği gibi normalize edilmiş bulanık karar matrisi, karar kriterinin fayda kriteri olması durumunda her sütundaki elemanların, bu sütundaki elemanların üçüncü bileşenleri içinde en büyük değere sahip olana bölünmesi yoluyla elde edilir. Maliyet kriterlerinin normalize edilmesinde ise her sütundaki ilk elemanların en küçük değeri dikkate alınır. Normalize edilmiş bir matriste bulanık sayı değerlerinin $[0,1]$ aralığında olması sağlanır.

Normalize edilmiş karar matrisinin hesaplanmasından sonra kriterlerin önem ağırlığını dikkate alarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi hesaplanır. $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ şeklinde gösterilen ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (8) nolu formül ile hesaplanır.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \quad (15)$$

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi normalize edilmiş bulanık karar matrisi ile bulanık ağırlıklar matrisinin çarpımıyla elde edilir. Bu durumda hesaplanan \tilde{V} matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \tilde{r}_{11} & \cdots & \tilde{w}_n \tilde{r}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{w}_1 \tilde{r}_{m1} & \cdots & \tilde{w}_n \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi \tilde{V} 'nin hesaplanmasından sonra bulanık pozitif ideal çözüm A^+ ve bulanık negatif ideal A^- çözümünün hesaplanması gerekir.

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}, \text{ burada } i=1,2,3,\dots,m \text{ ve } j=1,2,3,\dots,n \text{ olmak üzere;}$$

$$\tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij3}\} \text{ ve } \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij1}\} \quad (17)$$

formülleri ile bulunur. Daha sonra alternatiflerin A^+ ve A^- 'den uzaklıklarının hesaplanması gereklidir. Bu hesaplamada d uzaklıkları ifade eder ve hesaplama aşağıdaki formüller ile yapılır:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i=1,2,3,\dots,m \quad (18)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i=1,2,3,\dots,m \quad (19)$$

Yöntemde son olarak alternatiflerin ideal çözüme yakınlıkları hesaplanır. Bunun için bulanık sayıların birine olan uzaklıklarının hesaplanmasında kullanılan Vertex metodu kullanılır. $\tilde{A}=(a_1,a_2,a_3)$ ve $\tilde{B}=(b_1,b_2,b_3)$ gibi iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklık vertex yöntemine göre aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$d_v(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (20)$$

Alternatifler arasında seçim yapılabilmesi veya alternatiflerin değerlendirilebilmesi için yakınlık katsayıları hesaplanmalıdır. Yakınlık katsayısı her bir alternatif için aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır (Chen, Lin, ve Huang, 2006).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (21)$$

Alternatifler için yakınlık katsayısı CC_i değerlerine göre sıralanarak karar verilir. Yakınlık katsayısı 1'e eşit ise söz konusu alternatifin değeri bulanık pozitif ideal çözüme, yakınlık katsayısı 0'a eşitse alternatifin değeri bulanık negatif ideal çözüme eşittir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.4. Uygulama

Çalışmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bulanık TOPSIS (Bulanık AHP+ Bulanık TOPSIS) yöntemleri ile bütünlük bir karar destek modeli önerilmiştir. Yöntemde enerji sektöründe çalışan yöneticilerle yapılan görüşmeler sonrasında yapılan anket çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda doğal gaz sektörünün geleceği, enerji sektöründeki beklentileri değerlendirilmiş; konu Bulanık AHP+Bulanık TOPSIS yöntemleri ile araştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada; karar vermede etkili olan kriterlerin önem ağırlıkları Bulanık AHP ile belirlenmiş, alternatiflerin sıralaması ise Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Araştırma kapsamında çalışmada kullanılan kriterler ve alt kriterlerinin ağırlıklarının, sıralamasının belirlenmesi için enerji sektöründe çalışan uzman, müdür, yönetici 28 kişi ile (KV) görüşülmüştür. Görüşülen kişilerin dağılımı şu şekildedir: özel sektörde çalışan enerji şirketi yöneticilerinin sayısı 15 (7' i 15 yıl ve üzeri, 4' ü 10-15 yıl, 4' ü 8-10 yıl tecrübeli) dir, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı enerji şirketlerinde çalışan yöneticilerinin sayısı ise 13 (5' i 15 yıl ve üzeri, 5' i 10-15 yıl, 3' ü 8-10 yıl tecrübeli) dir. Çalışmada enerji sektöründe çalışan yöneticilerle yapılan görüşmeler neticesinde kriterler ve alt kriterlerin oluşturulmuştur. Sonrasında oluşturulan kriterler ve alt kriterlerin (7 ana kriterler/21 alt kriterler) değerlendirilmesi için araştırmayı temsil edebilecek şekilde enerji sektöründe çalışan uzman 65 kişiye yönelik bir anket çalışması (dilsel ifadelerin yer aldığı bir anket çalışması) yapılmıştır. Çalışmada enerji uzmanları tarafından ülkemizin doğal gaz talebi için ülkemizde 2030 yılında elektrik üretiminde olması muhtemel iki doğal gaz talep senaryosu çalışılmıştır. Bu kapsamda çalışmada yüksek ve düşük iki enerji senaryosunun kriterleri ağırlıkları bulanık AHP yöntemi ile belirlenirken, sıralaması Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır.

Bulanık AHP (sözel karşılaştırma matrisi oluşturulmuş, değerlerin ortalaması alınmış, bulanık üçgen sayıların geometrik ortalaması bulunmuş, bulanık ağırlık değerleri hesaplanmış, durulaştırılmış, son aşamada normalize edilmiştir) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri (kriterler KV'ler vasıtasıyla değerlendirilmiş bulanık sayılara dönüştürülmüş, yakınlık katsayısı hesaplanmış, hesaplanan yakınlık katsayıları yardımıyla alternatifler sıralanarak çözüm hesaplanmıştır) kullanılarak oluşturulan/doldurulan anketler ve görüşmeler neticesinde değerlendirilecek,

elektrik sektörü için iki doğalgaz senaryosu (düşük ve yüksek talep senaryosu) oluşturulmuştur. Çalışmada Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak, en uygun seçim kararının alınması hedeflenmiştir.

Dünyada doğal gaz talebini doğalgazın satış fiyatı belirlemekte olup satış fiyatı birçok faktöre göre değişmektedir. Doğalgaz fiyatlarında ülkemiz için ana belirleyici unsur gazın uluslararası anlaşmalarla (çok azı spot piyasalardan LNG olarak) ithal edilmesidir. Doğalgazı yurt dışından ithal ettiğimiz için uluslararası enerji piyasalarındaki doğalgazın üretim ve satışında önemli olan diğer kaynakların fiyatları ile tedarikçi ülkelerle yapılan anlaşmalar gizli fiyat formülleri (anlaşmalarda aldığımız doğal gazın fiyatları gizlidir) belirleyici olmaktadır. Doğal gazın fiyatını; petrol, altın, kömür fiyatları ile faiz (libor+) oranları, döviz kurları, ihracatçıların pazar çeşitliliği, uluslararası anlaşmalar, boru hattıyla/gemiyle(LNG) gaz temini gibi birçok farklı unsur (anlaşmadaki ağırlıkları oranında), çevresel etkiler, enerji santrali yapım maliyeti, işletim ve bakım onarım maliyetleri belirlemektedir/etkilemektedir. Örnek olarak, doğalgaz alım satımında petrol fiyatlarının esas alınmasından dolayı petrol fiyatlarının artışı doğal gaz fiyatlarında da artışa sebep olmaktadır. Çalışma kapsamında söz konusu kriterler/alt kriterler olarak dikkate alınmıştır. İhracatçı ülkelerin satış yapabilecekleri pazarların çeşitlilik göstermesi, talebin üretimlerinden fazla olması doğal gaz fiyatlarını yükseltmektedir. Daha az maliyetli olarak iletimi sağlayan boru hatları yatırımlarının yapım bedelleri dünya çapında düşüş göstermektedir. Kömürün alternatifi olarak kullanılabilen doğalgaz; kömür ve petrol fiyatları arttığında yoğun talep görür ve bu sebeple doğal gazın fiyatı artar. Döviz kurlarındaki dalgalanmalar uluslararası alım satımlarda etkili olduğundan ülkelerin para birimi değer kaybettiğinde doğalgaz satış fiyatı artmaktadır. Görüldüğü üzere doğalgaz fiyatı, ithal edilen bir ürün/emtia olarak arz/talep, taşıma masrafları ile alternatiflerin çokluğu veya azlığı gibi ekonomik etkenlerden yoğun şekilde etkilenmektedir. Söz konusu gerekçeler çalışma kapsamında kriter/alt kriterler olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda çalışmada dikkate alınan kriterler ve ilgili alt kriterler aşağıda sunulmuştur:

1. Çevresel Etkiler: Çevresel Atıklar, Çevreye Verdiği Zararlar, Su Kaynaklarının Kullanımı
2. Santral Teknolojisi Etkisi: Kapasite Kullanım Oranı, Kullanılan Teknolojinin Güvenilirliği, Yedek Parça Temini.
3. Santral Etkileri: İstihdam, Turizme Etkisi, Bölgeye Katkısı.
4. Santral Karlılık Durumu: Yatırım Maliyeti, Elektrik Satış Fiyatı, Başbaşa Noktasının Analizi, İşletme Giderleri, Ham Madde Maliyeti.
5. Santral Kurulum: Kurulum Süresi, Coğrafi Uygunluk, Elektrik Şebeke Yapısı.
6. Santral Birim Elektrik Üretim Maliyeti: Santral İşletme, Bakım, Rehabilitasyon ve Yakıt Maliyetleri.
7. Santralde Kullanılan Doğalgazın Fiyatı: Doğalgazın Uluslararası/Anlaşmalardaki, Ülkemizdeki Fiyatı, Petrol/Altın/Kömür/Yenilenebilir Kaynakların Fiyatları, Boru Hattıyla/Gemiyle(LNG) Tedarikinin Etkisi.

Bulanık ikili karşılaştırma matrisleri için Tablo 5'te gösterilen bulanık sayılar kullanılmıştır. Bulanık karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasından sonra mertebeye analizi kullanılarak ağırlıklar hesaplanmıştır. Çalışmada ülkemizi imzaladığı uluslararası "al ya da öde" hükümlü anlaşmalar Çok Kriterli Karar Verme yönteminde kısıt olarak verilmiştir.

3.4.1. Türkiye'nin Elektrik Üretiminde 2019-2030 yılları arası Doğal Gaz Talebi

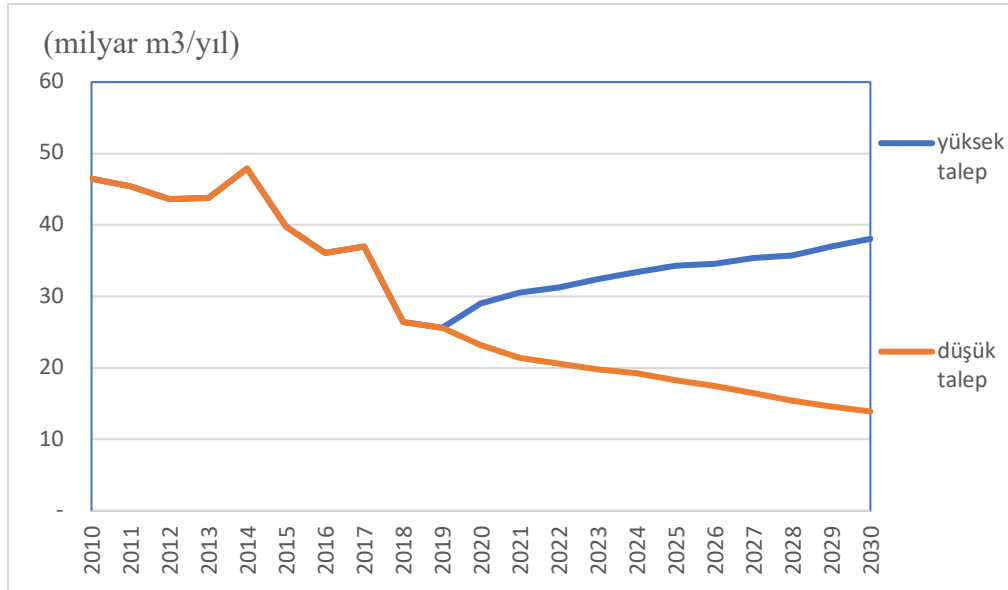
Ülkemizin doğal gaz kullanımını ilk 1987 yılında başlamış olup müthiş bir artış göstererek 2017 yılında yaklaşık 53,8 milyar metre küp ile tepe noktasına ulaşmış olup 2018 yılında 49,3 milyar metre küpe, 2019 yılında 46,8 milyar metre küptür. Söz konusu artışta en önemli pay doğal gazın elektrik üretiminde kullanılmasıdır. Türkiye' de elektrik üretiminde doğal gazın kullanım oranı 1990 yılında % 6 iken bu rakam pik yaparak 2015 yılında % 48,5'e ulaşmıştır. Ülkemizde sektörlerdeki doğal gaz kullanımını Tablo 7.' de sunulmuştur.

Tablo 7. Türkiye'nin Sektörlere göre Doğal Gaz Kullanımı (BOTAŞ, 2016)

Sektörler	2012 yılı Talep (x1000 m3)*	2013 yılı Talep (x1000 m3)*	2014 yılı Talep (x1000 m3)*	2015 yılı Talep (x1000 m3)*
SANAYİ	13.568	14.022	13.580	14.802
KONUT	10.611	11.262	10.670	11.630
ELEKTRİK	19.807	19.876	23.523	25.404
GÜBRE	561	561	561	561
TOPLAM	44.546	45.721	48.333	52.398

1990 yılında BOTAS ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yapılan doğal gaz talep projeksiyonlarında; 2020 yılında doğal gaz talebinin 82,7 milyar metre küp civarı olacağı tahmin edilmiştir. EPDK, 2008 yılında 2030 yılında doğal gaz talebinin 75 milyar metre küp civarında olacağını tahmin etmiştir. (ETKB, 2013) Söz konusu senaryoda yeni yapılması planlanan doğal gaz elektrik santrallerinin yeri büyüktür. Zaman içinde doğal gaz talep projeksiyonları azalmış ve Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2012 yılında yaptığı projeksiyonda 70 milyar metre küpe düşmüştür. (ETKB, 2013) ETKB 2009 yılında yaptığı bir çalışmada ise ülkemizde doğal gaz kullanımının yıllık artış oranı % 5 civarında olacağını öngörmüş, 2016 yılında ise bu oranı % 4' e düşürmüştür. Çalışma kapsamında ETKB, EPDK ve BOTAS'ın enerji senaryoları irdelendikten sonra enerji uzmanları vasıtasıyla çalışmanın kriterleri belirlenmiştir.

Literatürde konu hakkında çok az çalışma yapılmış olup yapılan çalışmalar (Saaty, 1980; Saaty, 1990, 1994, 2008; Kumar, 2016; Ghodsypour, 1998; Buckley, 2003; Incekara, 2017; Incekara 2019, Incekara 2020) enerji sektörü ile ilgilidir. Bulanık AHP (sözel karşılaştırma matrisi oluşturulmuş, değerlerin ortalaması alınmış, bulanık üçgen sayıların geometrik ortalaması bulunmuş, bulanık ağırlık değerleri hesaplanmış, durulaştırılmış, son aşamada normalize edilmiştir) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri (Alternatiflerin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları ve bu değerlerle hesaplanan yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Yakınlık katsayısı 1'e en yakın değer en uygun ve aranan niteliklerdeki çözümü ifade ederken '0' değerine en yakın değer ise uygun olmayan çözümü ifade etmektedir) kullanılarak oluşturulan/doldurulan anketler ve görüşmeler neticesinde değerlendirilerek/ önceliklendirilerek/ağırlıklandırılarak, söz konusu iki doğalgaz senaryosu (düşük ve yüksek) oluşturulmuştur. Çalışmada doğal gaz ve enerji sektöründeki çok farklı projeksiyonlar/senaryolardan dolayı -görülen lüzum üzerine- Bulanık AHP+Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanarak yeni bir matematiksel model kullanarak 2019-2030 yılları arası ülkemizin yüksek ve düşük talep senaryosu altında elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı hesaplanmıştır. Çalışma sonucu 2019-2030 yılları arası ülkemizde elektrik üretiminde doğalgaz kullanım miktarı (yüksek ve düşük senaryo altında) Şekil 2' de verilmiştir. 2019 ile 2030 yılları arasında yüksek doğal gaz kullanım talep senaryosuna göre elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı % 40 oranında artarak 38,2 bcm' e ulaşacağı, düşük talep senaryosuna göre ise elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı %36 azalarak 13,9 bcm seviyesine düşeceği hesaplanmıştır.



Şekil 2. Türkiye'nin 2019-2030 yılları arası Elektrik Üretimde Doğalgaz Kullanım Miktarı

Çalışmanın yüksek talep senaryosunda; doğal gaz talebinin tarihsel gelişimine paralel olarak enerji sektörü gelecekte gaz tüketiminin itici gücü olacağı durumuna paralel bir talep ile %40 artacağı hesaplanmıştır. Çalışmanın düşük talep senaryosunda; Türkiye'nin doğal gaz talebinin; elektrik üretiminde doğalgazın payının AB'nin enerji hedefleri doğrultusunda ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artışı olması beklendiğinden dolayı ülkemizde doğal gaz kullanımının azalacağı görüşünün etkisiyle ülkemizde elektrik üretiminde doğal gaz kullanımının %36' lık bir azalış göstereceği hesaplanmıştır.

4. Sonuç

2012 yılında, ülkemizde enerji sektörünün toplam kurulu kapasitesinin yaklaşık üçte birini doğal gaz çevrim santralleri oluşturuyordu. Aynı yıl doğal gazdan elektrik üreten santraller, doğal gazın yaklaşık % 43,6' ini (ETKB,2013; Incekara, 2017) kullanmıştır.

Doğal gaz talebinin gelecekte alacağı şekle/senaryoya bağlı olarak, Türkiye'nin enerji ithalatı faturası ağırlaşacak ve dışa bağımlılığı artacak, ya da ağır bir yük olmaktan çıkacaktır. Bu kapsamda doğal gazın doğru/gerçeğe yakın projeksiyon tahminlerinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Doğal gazda imzalanan uluslararası sözleşmeler “al ya da öde” hükmünde olduğundan imzalanacak fazla doğal gaz anlaşmalarının ülkemiz ekonomisine yükü çok ağır olacaktır (Incekara, 2019). Bu durum ancak doğru projeksiyonlarla ve önlemlerle ülkemizin dış borç yükü azalabilecektir. Şöyle ki; ülkemizin doğal gaz ihtiyacı doğru bir şekilde hesaplandıktan sonra fazla olan doğal gazın Avrupa'ya ihracı için gerekli anlaşmalar önceden imzalanırsa ülkemizin “al ya da öde” hükmünden doğacak yükü hafiflemiş olacaktır. 2020 yılından sonra devreye girecek olan Türk Akım(Rus gazı), TANAP, Doğu Akdenizdeki Offshore sahaları, Irak doğal gaz boru hattı projeleri ile Yunanistan'a ve AB' e doğal gaz net satış miktarımız hesaplanarak ülkemizin gelecekteki doğal gaz ithalat talebi belirlenebilecektir.

Türkiye'nin doğalgaz talebi 2018 yılında 48,5 milyar metre küp olup; çalışmada bulanık mantıklı bir matematiksel model (Bulanık AHP+Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanarak) ile ülkemizde elektrik üretiminde kullanılan doğalgaz miktarı yüksek ve düşük talep senaryoları hesaplanmıştır. Bulanık AHP (sözel karşılaştırma matrisi oluşturulmuş, değerlerin ortalaması alınmış, bulanık üçgen sayıların geometrik ortalaması bulunmuş, bulanık ağırlık değerleri hesaplanmış, durulaştırılmış, son aşamada normalize edilmiştir) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri (Alternatiflerin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları ve bu değerlerle hesaplanan yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Yakınlık katsayısı 1'e en yakın değer en uygun ve aranan niteliklerdeki çözümü ifade ederken '0' değerine en yakın değer ise uygun olmayan çözümü ifade etmektedir) kullanılarak oluşturulan/doldurulan anketler ve görüşmeler neticesinde değerlendirilerek/önceliklendirilerek/ağırlıklandırılarak, ülkemizin elektrik üretiminde muhtemel iki doğal gaz senaryosu oluşturulmuştur. Çalışmada enerji uzmanları tarafından ülkemizin elektrik üretiminde doğal gaz talebi için yüksek ve düşük iki doğal gaz senaryosu kriterlerinin ağırlıkları Bulanık AHP yöntemi ile belirlenirken, sıralaması Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Çalışmada Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak, en uygun seçim kararının alınması hedeflenmiştir.

Dünyada doğal gaz talebini doğalgazın satış fiyatı belirlemekte olup satış fiyatı birçok faktöre göre değişmektedir. Doğalgaz fiyatlarında ülkemiz için ana belirleyici unsur gazın uluslararası anlaşmalarla ithal edilmesidir. Doğalgazı yurt dışından ithal ettiğimiz için uluslararası enerji piyasalarındaki doğalgazın üretim ve satışında önemi olan diğer kaynakların fiyatları ile tedarikçi ülkelerle yapılan anlaşmalar gizli fiyat formülleri (anlaşmalarda aldığımız doğal gazın fiyatı gizlidir) belirleyici olmaktadır. Bu kapsamda çalışmada yüksek ve düşük talep senaryolarında kullanılan kriterler ve alt kriterlerinin ve ağırlıklarının belirlenmesi için enerji sektöründe çalışan uzman, müdür, yönetici 28 kişi ile (KV) görüşülmüştür. Çalışmada enerji sektöründe çalışan yöneticilerle yapılan görüşmeler neticesinde kriterler ve alt kriterlerin oluşturulmuştur. Sonrasında oluşturulan kriterler ve alt kriterlerin (7 ana kriterler/21 alt kriterler) değerlendirilmiştir.

Çalışmanın yüksek talep senaryosunda; doğal gaz talebinin tarihsel gelişimine paralel olarak enerji sektörü gelecekte gaz tüketiminin itici gücü olacağı görüşü ağırlık kazanmıştır. 2019 ile 2030 yılları arasında yüksek talep senaryosuna göre elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı % 40 oranında artarak 38,2 bcm' e ulaşacağı hesaplanmıştır. Yüksek talep senaryosunda; Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın doğalgaz talebinin (küresel) 2018-2035 döneminde yüzde 40 artış beklemesinin (çalışmada birinci sırada yer alan neden) ve LNG talebinin yüzde 100'ün üzerinde artarak 700 milyar metreküp seviyelerine çıkması, LNG' nin yüzde 32'lik payının 2035 yılında % 50'e çıkmasını öngörmesinin etkisi büyüktür. IEA' a göre; günümüzde dünya doğalgaz ticaretinin yüzde 32'sini LNG oluştururken, kalan yüzde 68'i boru gazından gelmektedir. ABD' nin küresel LNG piyasasındaki payı 2030' da % 20'e yükselecek olması (kendi kaya gazını LNG yapması ile) ve bu kapsamda doğal gaz fiyatları (özellikle boru gaz fiyatları) çok fazla düşecek olması tahmini ile; dünyada doğal gazın daha yaygın olarak kullanılacak olması görüşü etkisiyle ülkemizde doğal gaz kullanımının artacağı beklenmektedir. Çalışmada düşük talep senaryosunda; 2019 ile 2030 yılları arasında elektrik üretiminde yerli/yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneleceği görüşü (Kyoto Protokolü ile Paris Anlaşmasındaki taahhütlerimiz (çalışmada birinci sırada yer alan neden) ile AB enerji politikaları/hedefleri/direktifleri/programları etkisiyle...) etkisiyle toplam elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı %36 azalarak 13,9 bcm seviyesine düşeceği hesaplanmıştır. Her iki senaryonun yıllara göre değişimi Şekil 2' de sunulmuştur.

Çalışmada yüksek ve düşük doğal gaz talep senaryoları altında yapılan hesaplamalarda 2030 yılında ülkemizin elektrik üretiminde doğal gaza ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Bu amaç doğrultusunda; ülkemiz doğal gaz arz güvenliğini sağlamak, çeşitlendirmek için Doğu-Batı Enerji koridoru çerçevesinde “Al ya da öde” hükümlü doğal gaz anlaşmaları imzalamak için çeşitli proje çalışmaları yapmaktadır (Incekara, 2019). Doğu-Batı Enerji Koridoru, Kafkasya ve Orta Asya ülkelerinin enerji kaynaklarının Batı pazarlarına güvenli güzergah üzerinden ulaştırılması hedefi doğrultusunda ülkemizden geçen TANAP, Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı, İran, Mavi Akım, Türk Akım doğal gaz boru hattı projelerine benzer doğal gaz projelerini (Hazar Geçişli (Türkmenistan-Türkiye-Avrupa), NABUCCO, Kazakistan, Türkmenistan, Doğu Akdeniz Offshore, Irak, Mısır, İsrail, Katar) gerçekleştirerek, ülkemizin hem enerji/doğal gaz arz güvenliğini artıracak hem de ülkemizin 2030 yılında ihtiyaç duyduğu doğal gazı çok daha ucuza ithal edebilecektir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

BOTAŞ, (2012). Yıllık Faaliyet Raporu. 35-44.

BOTAŞ, (2016).Yıllık Faaliyet Raporu. 33-46.

Buckley, J.J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis. Fuzzy Sets and Systems, 17: 233-247. doi:[10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9)

Buckley, J.J. (2003). Fuzzy Probabilities. New Approach and Applications, Physica-Verlag, New York. Erişim adresi: <https://www.springer.com/gp/book/9783540250333>

Chan, F.T.S., Kumar N. (2007). Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach. Omega International Journal of Management Science, 35:417-431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.08.004>

Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95: 649-655. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)

Chen, S.J., Hwang, C.L. (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. Berlin Heidelberg: Springer. Erişim adresi: <https://www.amazon.com/Fuzzy-Multiple-Attribute-Decision-Making/dp/0387549986>

Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems, 114, 119. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)

Chen, C.T. (2001). A Fuzzy Approach to Select the Location of the Distribution Center. Fuzzy Sets and Systems, 118: 65–73. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00459-X](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00459-X)

Chen, G., Pham, T.T. (2001). Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems. CRC Press, USA. doi: <https://doi.org/10.1115/1.1421114>

Chen, C.T., Lin, C.T., Huang, S.F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. International Journal of Production Economics, 102: 289-301. doi: [10.1016/j.ijpe.2005.03.009](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009)

Deng, H. (1999). Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison. International Journal of Approximate Reasoning, 21: 215-231. doi: [https://doi.org/10.1016/S0888-613X\(99\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S0888-613X(99)00025-0)

Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2000). Enerji Raporu. 61-80.

Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2010). Enerji Raporu. 78-91.

MMO (2020). MMO Enerji Raporu. 42-46.

Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, Newyork. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2805-6_12

Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 48. doi:[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)

Saaty, T.L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. Interfaces, 24(6): 19-43. doi: <https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>

Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, 1(1): 83-98. doi: [10.1504/IJSSCI.2008.017590](https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590)

Shukla, R.K., Gray, D., Agarwal, A. (2014). An integrated approach of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS in modeling supply chain coordination. Production & Manufacturing Research, 2(1): 415-437. doi: <https://doi.org/10.1080/21693277.2014.919886>

Thengane, S.K., Hoadley, A., Bhattacharya, M.S., Bandyopadhyay, S. (2014). Cost-benefit analysis of different hydrogen production technologies using AHP and Fuzzy AHP. International Journal of Hydrogen Energy, 39: 152-159. doi: [10.1016/j.ijhydene.2014.06.015](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.06.015)

UNECE Raporu, Birleşmiş Milletler Avrupa Enerji Komitesi Raporu (2016). 26-39.

Wang, Y.M., Luo, Y., Hua, Z. (2008). On the Extent Analysis Method for Fuzzy AHP and its Applications. European Journal of Operational Research, 186: 735- 747. doi: [10.1016/j.ejor.2007.01.050](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.01.050)

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Algorithms. Information and Control, 12(2): 94-102. doi: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(68\)90211-8](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(68)90211-8)

Zarte, M., Pechmann, A., Nunes, I.L. (2018). Sustainable Evaluation of Production Programs Using A Fuzzy Inference Model—A Concept. Procedia CIRP, Vol:73: 241-246. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.012>



Journal of Turkish Operations Management

Application of r-vine copula method in Istanbul stock market data: A case study for the construction sector

Hajar FARNOUDKIA¹, Vilda PURUTÇUOĞLU^{2*}

¹Department of Statistics, Middle East Technical University, Ankara, Turkey
e-mail: hajar.farnoudkia@metu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-9201-663X>

²Department of Statistics, Middle East Technical University, Ankara, Turkey
e-mail: vpurutcu@metu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-3913-9005>

*Corresponding author

Article Info	Abstract
<p>Article History: Received: 27.05.2020 Revised: 29.07.2020 Accepted: 18.10.2020</p> <p>Keywords: Stock market, R-vine copula, Connectivity</p>	<p>In the stock market, the relationship between the sectorial changes can be very informative in order to predict the changes in prices of assets from each sector. In order to understand these sectorial relations, various studies have been conducted. In one of the recent studies, the construction sector in Turkey was investigated in terms of its effect in other Turkish sectors since it is one of the leading sectors in Turkey and its assets have a significant impact in stock markets. Hereby, in this study we detect the sectorial relationship of the construction sector via the Regular vine, also known as R-Vine, approach. The R-Vine copula is a specific type of copula which enables us to be flexible in the distributional assumptions of the observations while stating their joint distribution function. By this way, we can investigate the structure of the country's financial path, i.e., network, under a graphical model.</p>

1. Introduction

The detailed analyses of the stock market data have been increasingly noticed since such analyses help us to better understand the customer's demand and priorities and make profits. Indeed, the analyses of this type of time series data are challenging because the data have high dimensions and highly nonlinear structure. In order to represent these complex structures, various methods have been suggested in the literature. Some of these methods are based on advanced computational approaches such as neural networks, machine learning methods (Guresen, et al. 2011; Kara, et al. 2011; Kimoto, et al. 1990; Mizuno, et al. 1998; Qian, et al. 2007 and Yand et al. 2002) and data mining techniques (Enke and Thawornwon, 2005; Ou and Wang, 2009 and Yang, et al. 2002). These methods are distribution-free but there are some approaches such as granger causality test (Ramachandra, et al. 2014) and the co-integration analyses which depend on the transformed version of random variables (Ogunbiyi, et al. 2017) as well as some parametric mathematical methods which are based on some constraints about the interrelationship of the variables based on their probability distributions like independent predictors and normality assumption (Dobra and Lenkoski, 2009). There are also some linear and nonlinear modeling approaches which are specifically designed for the time series data such as autoregressive models (Abegaz and Wit, 2013), moving average models and volatility models (Engle and Patton, 2007). In terms of vine copula, there are several studies in economics that only some of them are going to be mentioned here such as the study of Patton (2012) which is a review of copula models for time series economic data and Sriboonchitta, et al. (2014) in which the D-Vine copula is used in the inference of pairwise and conditional dependence between variables in three different countries. In another study, the vine copula approach is used to perform a new production function in economic data (Constantino, et al. 2019). Furthermore, in the study of Song, et al. (2019), two

multivariate copulas (C and D-Vine copulas versus factor copula) are compared by some economic data apart from a comparison between three groups of data.

In this study, we apply a combination of these approaches in order to better understand the structure of a particular sectorial data in Turkey based on R-Vine copula. Herein, we are interested in the detection of the plausible path between the construction sector and other sectors by using the Istanbul Stock Market (ISM) data. Because to the best of our knowledge there is no such analysis for the ISM data. For this purpose, we use all the sectorial data given in ISM and detect the most related sectors with the construction sector via data-mining techniques and then, we generate different dimensional clusters. Later, we apply these results for constructing parametric and nonlinear models via copula method. This modeling approach is used frequently for its flexibility to capture the nonlinear relationship between random variables, i.e., between predictors and response variable under distinct distributions of observations. In the analysis via data mining, we use the findings of Erkuş and Purutçuoğlu (2019) which perform distinct clustering approaches for totally 23 sectors in the ISM data. In this work, due to the consensus of the outcomes in clustering, we merely take the results of the k-means algorithm. We apply the R-vine copula approach in whole sectorial data without clustering in order to have a general view. By this way, we can present a country's financial path among sectors and can interpret the effects of the sectorial changes in a complex nonlinear model by using the findings of the k-means algorithm. In these analyses, we prefer the R-Vine copula method since it is able to describe the high dimensional joint distribution of the sectors via a connectivity term, called pair copula terms. Moreover, we construct some alternative models by using the finding of the k-means algorithm. By those newmodels, we aim to describe the sectorial relationships specifically with the construction sectors in small copula models. In the selection of the connectivity term, the R-Vine copula can assume different structures while presenting the relationship in every pair of sectors. Therefore, it can be adapted in distinct datasets. Furthermore, as it can divide the joint distributions into pair of marginals, it can simplify the parameter estimation of the complex regression models.

On the other hand, due to the large number of parameters and high correlations between sectors, the parameter estimation in such a complex model can be done via Bayesian methods (Dobra and Lenkoski, 2009). Although the Bayesian algorithm can accurately estimate the parameters, they are computationally demanding Whereas in this study, we infer our model parameters via the maximum likelihood method, rather than any Bayesian method, since it is as accurate as Bayesian approach when the number of observations is large and also computationally efficient.

Hereby, in the following part, we initially explain the copula in general, then, vine copula and finally represent the R-Vine copula approach. In Application part, k-means clustering method is explained briefly and the findings of the R-Vine copula under the clusters generated by the k-means algorithm are presented. The clusters from k-means algorithm are created in such a way that the selected cluster includes the construction sector and its close neighbourhoods. Lastly, in conclusion, we give our outputs and summarize the results obtained from the R-vine copula model.

2. Materials and Methods

2.1 Copula

Copula approach (Genest and Favre, 2007) is one of the well-known methods to investigate the joint behaviour between the variables when the data structure or the joint density is problematic or complicated. The base theorem of the Copula is the Sklar's theorem (Trivedi and Zimmer, 2007). This theorem indicates that for every data, there is a unique copula which can fit the best model for the joint density of the variables (Brechmann and Schespsmeier, 2013). The theorem can be simply presented basically as follows:

Theorem: Every joint distribution function of two or more variables can be written by their marginal distributions and a copula as $F(x) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_d(x_d))$ where $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)$ and F is the d -dimensional distribution of the random variable x . Accordingly, the multivariate copula formula can be written as $C(u_1, u_2, \dots, u_d) = F(F_1^{-1}(u_1), F_2^{-1}(u_2), \dots, F_d^{-1}(u_d))$ for $u_1 = F_1^{-1}(u_1), u_2 = F_2^{-1}(u_2), \dots, u_d = F_d^{-1}(u_d)$ where d denotes the number of variables.

In the application, the inverse of the cumulative distribution functions is used as the copula units u_i s, and then, a copula formula applies those units in order to fit the best model as their joint density function.

The copulas are divided into two main parts (Brechmann and Schespsmeier, 2013): These are Archimedean and Elliptical Copulas. The Archimedean copulas consist of the Gaussian and student-t copula with one and two parameters, in order. As the characteristic of this copula branch, they are both symmetric. Furthermore, the Gaussian copula has no tail dependence, whereas, student-t copula with ν degrees of freedom, has the tail dependence. The parameters and the properties of this copula type are summarized in Table 1. In this table, the Kendall's tau (τ) term

represents the value of the correlation (ρ) between variables in a non-parametric way and the tail dependence denotes the numerical value of the acceptable tail features of the Archimedean copula.

Table 1. The list and properties of the Archimedean copulas. $T_{v+1}(\cdot)$ denoted the student-t value under (\cdot) given probability and $v + 1$ degrees of freedom.

Names	Parameter range	Kendall's τ	Tail dependence
Gaussian	$\rho \in (-1,1)$	$2/\pi \arcsin (\rho)$	0
Student-t	$\rho \in (-1,1), v > 2$	$2/\pi \arcsin (\rho)$	$2T_{v+1}(-\sqrt{v+1} \sqrt{\frac{1-\rho}{1+\rho}})$

On the other hand, the Elliptical copulas are composed of one parameter families, such as Frank, Joe, Clayton and Gumbel copulas which can be fitted to non-symmetric or one- sided tail dependent distributions and two parameter families, which are made by combining one-parameter elliptical families. Therefore, they are more flexible than the Archimedean copulas. By this way, we are able to model the two-sided tail dependent data where necessary. The properties and the list of this type of copulas are represented in Table 2.

Table 2. The list and properties of the Elliptical copulas. θ and δ are the parameters of the given copulas.

Name	Generator function	Parameter range	Tail dependence
Clayton	$\frac{1}{\theta}(t^{-\theta} - 1)$	$\theta > 0$	$(2^{-\frac{1}{\theta}}, 0)$
Gumbel	$(-\log t)^\theta$	$\theta \geq 1$	$(0, 2 - \frac{1}{\theta})$
Frank	$-\log \left[\frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1} \right]$	$\theta \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$	$(0,0)$
Joe	$-\log [1 - (1 - t)^\theta]$	$\theta > 1$	$(0, 2 - \frac{1}{\theta})$
Clayton-Gumbel (BB1)	$(t^{-\theta} - 1)^\delta$	$\theta > 0, \delta \geq 1$	$(2^{-\frac{1}{\theta\delta}}, 2 - \frac{1}{\delta})$
Joe-Gumbel (BB6)	$(-\log [1 - (1 - t)^\theta])^\delta$	$\theta \geq 1, \delta \geq 1$	$(0, 2 - \frac{1}{\theta\delta})$
Joe-Clayton (BB7)	$(1 - (1 - t)^\theta)^{-\delta} - 1$	$\theta \geq 1, \delta > 0$	$(2^{-\frac{1}{\delta}}, 2 - \frac{1}{\theta})$
Joe-Frank (BB7)	$-\log \left[\frac{1 - (1 - \delta t)^\theta}{1 - (1 - \delta)^\theta} \right]$	$\theta \geq 1, \delta \in (0,1]$	$(0,0)$

In this table, instead of using the copula function, unlike Gaussian or student-t distribution, we apply their generator functions. By this way, it is possible to write a high-dimensional version of the family by only a simple expression (Brechmann and Schepsmeier, 2013). Accordingly, a bivariate copula term can be written as $C(u_1, u_2) = \varphi^{[-1]}(\varphi(u_1) + \varphi(u_2))$ for the Elliptical family, where φ is the generator function and $\varphi^{[-1]}$ stands for the pseudo inverse that is equal to the inverse of the generator function only for non-negative values and zero for negative values. More mathematical details about the selection of the generator function and the elliptical copula can be found in Brechmann and Schepsmeier, (2013).

Finally, the parameter estimation in the copula model can be done by the maximum likelihood method (MLE). For one-parameter families, the parameters can be also estimated by the Kendall's tau (τ) correlation coefficient for the one-to-one relationship with the τ .

2.2 Vine Copula

It is mentioned earlier about the Sklar's theorem that for each dataset, there is an exclusive way to express the joint

density. But catching the best model cannot be easy when the model has a high dimensional and complicated structure. In order to solve these computational challenges, the vine copula approach has been proposed (Brechmann and Schepsmeier, 2013). The vine copula solves these problems in a very simpler way in the sense that it can write the joint density function by conditional expressions in pair of densities without any specific assumption or omitting some terms. We can represent its application in an example by using the following three-dimensional joint density: We can write the joint distribution as $f(x_1, x_2, x_3) = f_1(x_1)f(x_2|x_1)f(x_3|x_1, x_2)$ among all possible ways of writing as an example. Then, by using the definition for the conditional probability function, $f(x_2|x_1) = \frac{f(x_1, x_2)}{f_1(x_1)}$. On the other hand, according to the Sklar's theorem

$$f(x_1, x_2) = c_{1,2}(F_1(x_1), F_2(x_2))f_1(x_1)f_2(x_2). \tag{1}$$

Thereby, $f(x_2|x_1) = c_{1,2}(F_1(x_1), F_2(x_2))f_2(x_2)$ and

$$f(x_3|x_1, x_2) = c_{2,3|1}(F(x_2|x_1), F(x_3|x_1))c_{1,3}(F_1(x_1), F_3(x_3))f_3(x_3). \tag{2}$$

Finally, we can define the joint function as

$$f(x_1, x_2, x_3) = c_{1,2}(F_1(x_1), F_2(x_2)) \times c_{2,3|1}(F(x_2|x_1), F(x_3|x_1)) \times c_{1,3}(F_1(x_1), F_3(x_3)) \times f_1(x_1) \times f_2(x_2) \times f_3(x_3). \tag{3}$$

From these derivations, it is obviously seen that the model can be presented in terms of a pair of joint functions (conditional or non-conditional) that can be summarized as 1-2, 1-3 and 2-3|1. Indeed, there are some other ways of writing this joint distribution such as 1-2, 2-3 and 1-3|2. Also, regarding the order of the pair of functions, some other alternative ways for expressing the joint density can be possible.

There are different kinds of copulas. The Regular vine, shortly, R-Vine copula is the general form of vine copula and due to its generality, it is flexible in the construction of the network model. The C and D-Vine copulas are the specific version of R-Vine. They are appropriate models for some data structures mostly corresponding to prior knowledge. In this study, due to its generality, we prefer the R-Vine copula for the model of the construction sector.

2.2.1 R-Vine Copula

In the construction of a model for any kind of datasets, there are various ways to write the order of variables, their combinations and the conditioned variables according to the decomposition method which we prefer to represent their joint densities. To depict the structure of the vine copula, we show an example of a 4-dimensional C and D- Vine structure in Figure 1.

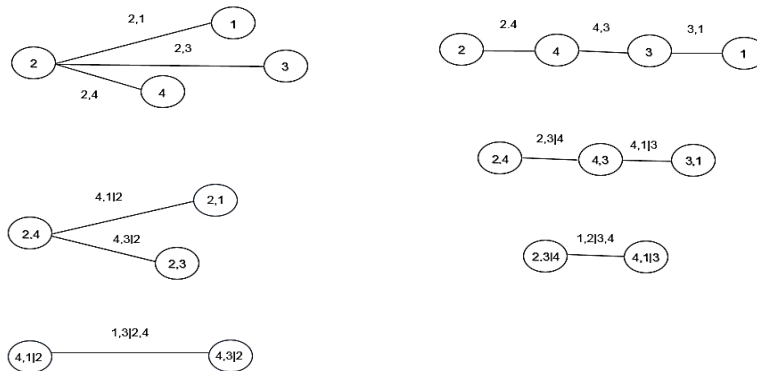


Figure 1: The C-Vine (left side with order {2,4,1,3}.) and D-Vine (right side with order {2,4,3,1}) structure for 4-variable case.

As seen in Figure 1, each row indicates a tree. In the C-Vine copula, the order of variables is determined in each tree while for the D-Vine copula, the order is determined only in the first tree and the remaining trees are written consequently. Whereas, the R-Vine can be expressed as their mixtures. For example, the first tree can be D-Vine for the first two paths and then, C-Vine for the third variable. So, one of the challenging issues in the R-Vine selection can be the order and also the structure of the networks. Because there are $\binom{d}{2}$ amounts of pairs, where d is the number of variables. Accordingly, in order to select the best model description, we need some statistical tests, alternatively in order to compare the proposal models, we need certain model selection criteria such as AIC (Akaike information

criteria) or BIC (Bayesian information criteria). In this study, among many of alternatives, we perform the Young and Clark test which can select the optimal model with the maximum score based on the sum of scores (Brechmann and Schepsmeier, 2013). This test computes two-by-two comparisons of all alternative models and then, computes a chi-square test statistic for its significance.

3. Application

In this part, we describe the data and the clustering results of Erkuş and Purutçuoğlu (2019) before presenting the application of the R-Vine copula model. In their analyses, to investigate the relationship between the construction sector and other factors, the k-means clustering algorithm is applied for the cluster number $k = 3$ and 4. In general, the clustering is an unsupervised method that separates the dataset into k clusters by considering similarities. In the calculation, the k value can be determined by different methods such as the elbow graph or within cluster sum of square scores. In the k-means algorithm, once a k value is found, the algorithm selects k random points which are not necessarily among the observations. Then, it arranges each data point to the nearest k points. Later, it updates the centroid of each cluster and again assigns each data point regarding to the new centroid. The algorithm continues this process until no change is observed in the clusters.

Description of data

The data used in this study are a weekly average time series dataset from all sectors of ISM starting from February 2002 to August 2019.

Table 3. The clusters of sectors for 3 and 4-cluster cases. (Erkuş and Purutçuoğlu, 2019).

	3-cluster case	4-cluster case
Cluster 1	Banking Construction Finance Investment Minerals Printing Sports Telecommunication Tourism	Chemical product Food Industry Machines Service Supermarket Technology Textile Transportation
Cluster 2	Electricity	Electricity
Cluster 3	Chemical products Food Industry Information Technology Insurance Leasing Machines Metals Service Supermarket Technology Textile Transportation	Construction Printing Sports Telecommunication Tourism
Cluster 4	-	Banking Finance Information Technology Insurance Investment Leasing Metals Minerals

It is composed of 23 sectors, as the return series. These sectors are listed as the banking, chemical products, construction, electricity, finance, food, industry, information technology, insurance, real estate investment, leasing, machines, metals, minerals, printing, service, sports, supermarkets, technology, telecommunication, textile, tourism and the transportation. In Table 3, we present the clustering results of these 23 sectors based on 3 and 4 clusters respectively, as presented in the study of Erkuş and Purutçuoğlu (2019).

In the application of the R-Vine copula, we describe the model of the construction sector by including all 23 sectors, the sector in Cluster 1 under 3-cluster case and the sectors in Cluster 3 under 4-cluster case as seen in Table 3.

3.1 R-Vine analysis by including all sectors

The data used in this part contain 23 sectors, i.e., variables. In the modeling, the significant relationships between sectors are chosen based on the Kendall's τ value. When the absolute value of Kendall's τ greater than 0.5, we find a meaningful relationship between the corresponding variables. The significant copulas between each sectorial pair with their associated Kendall's τ are also listed in Table 4. From the outputs it is seen that there are high and positive correlations between each pair apart from the relationship between banking and investment, which is negative and relatively low. However, it is found that the sectorial change in the construction sector is mostly correlated to the sectorial change of mineral and this interaction is positive.

Table 4. The list of significantly related variables based on the whole ISM data

Pair of variables	Copula family	Kendall's τ
Chemical, industry	Gumbel (180 ⁰ rotated)	0.92
Supermarket, services	BB1	0.90
Machines, industry	Frank	0.89
Industry, supermarket	Frank	0.88
Insurance, machines	BB1	0.86
Investment, industry	BB1 (180 ⁰ rotated)	0.866
Metals, industry	BB1 (180 ⁰ rotated)	0.86
Banking, finance	BB7	0.82
Service, transportation	Gumbel	0.82
Insurance, industry	BB7	0.82
Textile, machines	BB7	0.80
Information, technology	BB7	0.80
Food, service	BB7	0.80
Leasing, textile	BB7 (180 ⁰ rotated)	0.79
Finance, investment	BB7 (180 ⁰ rotated)	0.77
Telecommunication, service	BB7	0.76
Minerals, finance	BB7	0.75
Printing, investment	BB7	0.75
Construction, minerals	BB7	0.65
Banking, investment	Gaussian	-0.68

On the other hand, we draw all the estimated interactions between sectors in Figure 2 as an undirected graph for visualization.



Figure 2: The estimated network of the ISM dataset including all sectors by the R-Vine approach

3.2 R-Vine analysis by including the sectors in Cluster 1 under 3-means clustering

This analysis is based on 9 variables, namely, banking, construction, finance, investment, mineral, printing, sports, telecommunication and tourism sector as shown in Table 3. Similar to the previous application, when we investigate the sectorial relationships between the construction and other sectors based on their correlational structures, via the R-Vine copula approach, we obtain the structure as presented in Table 5. From Table 5, it is found that there are correlational structures between the telecommunication-construction sectorial pair and the banking-investment sectorial pair. The remaining 5 variables are found uncorrelated from these sectorial changes.

Table 5. The list of significantly related variables based on Cluster 1 of 3-means clustering results of the ISM data

Pair of variables	Copula family	Kendall's τ
Telecommunication, construction	BB7 (180 ⁰ rotated)	0.69
Banking, investment	Gaussian	-0.68

3.3 R-Vine analysis by including the Cluster 3 in 4-means clustering

Finally, from the R-Vine copula modeling of Cluster in 4-means clustering results, it is seen that based on 5 sectorial model, composed of construction, printing, sports, telecommunication and tourism sectors, the change in the construction sector is related to both telecommunication and printing sector on a positive direction. The list of the significant relations is represented in Table 6.

Table 6. The list of significantly related variables based on Cluster 3 of 4-means clustering results of the ISM data

Pair of variables	Copula family	Kendall's τ
Construction, printing	BB7 (180 ⁰ rotated)	0.59
Construction, telecommunication	Gaussian	0.55

According to the output obtained through the R-Vine copula approach on the whole data, it is seen that the ratio of the significant relations to the total combination is $20/\binom{23}{2} = 0.079$ that contains only 1 pair with the construction sector. This means that among 20 edges, only one of them is related to the relationship of the construction sector while for the first clusters of 3-means clustered data which are done based on the relation with the construction sector, although this

ratio decreases to $2/\binom{9}{2} = 0.057$. But one of the two significant relations is related to the construction sector. Furthermore, for the third cluster of the 4-means clustering that contains 5 variables including the construction sector, it is found that the number of significant relationships is 2 and the ratio is $2/\binom{5}{2} = 0.2$ that both edges describe a relationship of the construction sector with other elements in the same cluster. As a result, it is seen that this kind of clustering makes the analysis easier and it can produce an alternative way for the dimension reduction of the complicated model. In the number of variables, for instance in the data used for this study, in order to investigate the important factors for the construction section, instead of working with 23-dimensional data with only one edge related to construction, dealing with 9 or better with 5 variables can give us a better fortune to concentrate on our proposed factor. Research and publication ethics were followed in this study.

4. Conclusions

In this study, we have investigated a network architecture in order to model the Turkish sectorial path by using the Istanbul Stock Market data from 2002 to 2019, specifically, focusing on the sectorial change in the construction. In modeling, we have performed the copula approach and generated alternative forms of copula expressions. Specifically, we have chosen the mixture of the C-Vine and D-Vine copula, called the R-Vine copula, due to its flexibility in the implementation. For the analysis, we have used the k-means clustering results of Erkuş and Purutçuoğlu (2019) for the same data. From the results, we have seen that the proposed method can detect the sectorial relationship between construction and other sectors when the network model is composed of 23, 9 and, 5 sectors. The strength of their plausible interactions can also be estimated successfully via the maximum likelihood estimation method. We consider that the proposed modeling approach can be used to describe the highly connected, nonlinear relationships in finance as an alternative approach of time series models and machine learning methods.

Acknowledgement

The authors thank the editor and anonymous referees for their valuable comments which significantly empowered the quality of the paper.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

Contribution of researchers

Dr. Hajar Farnoudkia: She did the statistical analysis and wrote the manuscript and followed the publishing process.
Prof. Dr. Vilda Purutçuoğlu: She suggested and designed the main subject of this study and also provided the data from one of her previously published proceedings. She controlled the manuscript and made lots of change and corrections. Finally, the last version was revised and verified by her.

References

- Abegaz, F., Wit, E. (2013). Sparse time series chain graphical models for reconstructing genetic networks, *Biostatistics*, 14(3), 586-599. doi: <https://doi.org/10.1093/biostatistics/kxt005>
- Brechmann, E., Schepsmeier, U. (2013). Cdvine: Modeling dependence with c-and d-vine copulas in r. *Journal of statistical software*, 52(3), 1-27. doi: <https://doi.org/10.18637/jss.v052.i03>
- Constantino, M., Candido, O., Borges, E., Silva, T.C. and Tabak, B.M. (2019). Modeling vine-production function: An approach based on Vine Copula,” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 531, p.121724. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121724>

- Dobra, A., Lenkoski, A., (2009). Copula Gaussian graphical models, *Technical report, Department of Statistics, University of Washington*. doi: <https://doi.org/10.1214/10-aos397>
- Guresen, E., Kayakutlu, G., Daim, T.U. (2011). Using artificial neural network models in stock market index prediction,” *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10389-10397. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.068>
- Engle, R.F., Patton, A.J. (2007). What good is a volatility model? *In Forecasting volatility in the financial markets*, 47-63. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-075066942-9.50004-2>
- Enke, D., Thawornwon, S. (2005). The use of data mining and neural networks for forecasting stock market returns, *Expert Systems with applications*, 29(4), 927-940. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.06.024>
- Erkuş, E. C. and Purutçuoğlu, V. (2019). Description of Turkish construction sector via Istanbul Turkish Stock Market data, *Proceeding of 5th 5th International Congress on Natural and Engineering Sciences (ICNES 2019)*, Istanbul, Turkey. url: <https://avesis.metu.edu.tr/yayin/4177fc8a-7be2-40bf-8240-ebabf048265e/description-of-turkish-construction-sector-via-istanbul-stock-market-data>
- Genest, C., Favre, A.C. (2007). Everything you always wanted to know about copula modeling but were afraid to ask, *Journal of hydrologic engineering*, 12(4), 347-368. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2007\)12:4\(347\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2007)12:4(347))
- Kara, Y., Boyacioglu, M.A., Baykan, Ö.K. (2011). Predicting direction of stock price index movement using artificial neural networks and support vector machines: The sample of the Istanbul Stock Exchange, *Expert systems with Applications*, 38(5), 5311-5319. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.027>
- Kimoto, T., Asakawa, K., Yoda, M., Takeoka, M. (1990). Stock market prediction system with modular neural networks, *In 1990 IJCNN international joint conference on neural networks*, 1-6, IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/ijcnn.1990.137535>
- Mizuno, H., Kosaka, M., Yajima, H., Komoda, N. (1998). Application of neural network to technical analysis of stock market prediction, *Studies in Informatic and control*, 7(3), 111-120. doi: [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)41825-8](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)41825-8)
- Ogunbiyi, M. A., Olawale, S. O., Oyaromade, R. (2017). The Relationship between Construction Sector and Economic Growth in Nigeria: 1981-2013. url: https://www.researchgate.net/profile/Moses_Ogunbiyi/publication/319188649_The_Relationship_between_Construction_Sector_and_Economic_Growth_in_Nigeria_1981-2013/links/599ac198aca272e41d408562/The-Relationship-between-Construction-Sector-and-Economic-Growth-in-Nigeria-1981-2013
- Ou, P., Wang, H. (2009). Prediction of stock market index movement by ten data mining techniques, *Modern Applied Science*, 3(12), 28-42. doi: <https://doi.org/10.5539/mas.v3n12p28>
- Patton, A.J. (2012). A review of copula models for economic time series, *Journal of Multivariate Analysis*, 110, 4-18.
- Qian, B., Rasheed, K. (2007). Stock market prediction with multiple classifiers, *Applied Intelligence*, 26(1), 25-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2012.02.021>
- Ramachandra, T., Rotimi, J. O. B., Rameezdeen, R. (2014). The relationship between construction sector and the national economy of Sri Lanka. *In Proceedings of the 17th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, 1263-1271. Springer, Berlin, Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-35548-6_128
- Song, Q., Liu, J. and Sriboonchitta, S. (2019). Risk Measurement of Stock Markets in BRICS, G7, and G20: Vine Copulas versus Factor Copulas, *Mathematics*, 7(3), 274. doi: <https://doi.org/10.3390/math7030274>

Sriboonchitta, S., Liu, J., Kreinovich, V. and Nguyen, H.T. (2014). A vine copula approach for analyzing financial risk and co-movement of the Indonesian, Philippine and Thailand stock markets. *In Modeling Dependence in Econometrics*, 245-257. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-03395-2_16

Trivedi, P.K., Zimmer, D.M. (2007). Copula modeling: An introduction for practitioners, *Now Publishers Inc.* doi: <https://doi.org/10.1561/0800000005>

Yang, H., Chan, L., King, I. (2002). Support vector machine regression for volatile stock market prediction, *In International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning*, 391-396. doi: https://doi.org/10.1007/3-540-45675-9_58



Journal of Turkish Operations Management

Bir Vakıf Üniversitesi'nin Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Öğrencilerine İlişkin Öznel İş Yükü ve Akademik Motivasyon Düzeyleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması

Pelin TOKTAŞ^{*1}, Gülin Feryal CAN², Aysel GÜVEN³

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: ptoktas@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-6622-4646>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: gfcan@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-7275-2012>

³Sağlık Meslek Yüksekokulu, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: aguyen@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-7511-7105>

MAKALE BİLGİ

Makale Geçmişi:

Geliş: 18.08.2019
Revize: 07.04.2020
Kabul: 16.09.2020

Anahtar Kelimeler:

Öznel iş yükü,
Akademik motivasyon,
NASA TLX,
AMS

ÖZET

Öğrencilerin eğitim süreçlerindeki motivasyon düzeyleri, onların akademik başarılarını etkileyen en önemli unsurlardan birisidir. Öğrencilerin akademik motivasyonları üzerinde birçok faktör etkili olmakla birlikte, bunlar arasında öznel iş yükü seviyesi büyük bir rol oynamaktadır. Çalışmada, bir vakıf üniversitesinin Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu (SHMYO) öğrencilerinin öznel iş yükü ile akademik motivasyon düzeylerini belirlemek ve aralarındaki ilişkiyi incelemek amaçlanmıştır. Bununla birlikte, sınıflar arası ve cinsiyetler arası farklılıklar olup olmadığı da araştırılmıştır. Çalışmaya, bir vakıf üniversitesinde öğrenimlerini sürdüren, 10 ayrı bölümden, toplam 431 SHMYO öğrencisi katılmıştır. Öğrencilerin öznel iş yükü düzeylerinin belirlenmesi için Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi İş Yükü İndeksi (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index-NASA TLX), akademik motivasyon düzeylerinin değerlendirilmesi için ise, Akademik Motivasyon Ölçeği (Academic Motivation Scale-AMS) kullanılmıştır. NASA TLX, öznel iş yükünün işle ilgili fiziksel gereklilikler, zihinsel gereklilikler, gösterilmesi gereken çaba düzeyi, sergilenen performans, zaman baskısı, ve başarısızlık hissi boyutlarını dikkate alarak değerlendirmektedir. AMS ise, motivasyon düzeyini içsel motivasyon, dışsal motivasyon ve motivasyonsuzluk boyutlarında belirlemek için tasarlanan bir ölçektir. Bu çalışma, öznel iş yükü ile akademik motivasyon arasındaki ilişkiyi SHMYO öğrencileri açısından inceleyen literatürdeki ilk çalışmadır.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 18.08.2019
Revised: 07.04.2020
Accepted: 16.09.2020

Keywords:

Subjective workload,
Academic motivation,
NASA TLX,
AMS

ABSTRACT

Motivation levels of students are one of the most important factors affecting their academic success. Although many factors are effective on students' academic motivation, subjective workload level plays a major role among them. In this study, it is aimed to determine the subjective workload and academic motivation levels of the students at Vocational School of Health Services (VSHS) of a foundation university and to examine the relationship between them. However, it was also investigated whether there were differences between classes and genders. A total of 431 VSHS students from 10 different departments participated in the study. The National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA TLX) was used to determine the subjective workload levels of the students and the Academic Motivation Scale (AMS) was used for the assessment of academic motivation

levels. NASA TLX evaluates the subjective workload by considering the dimensions of physical requirements, mental requirements, level of effort, performance, time pressure and frustration level. AMS is a scale designed to determine the level of motivation in the dimensions of intrinsic motivation, extrinsic motivation and non-motivation. This study is the first study in the literature examining the relationship and differentiation between subjective workload and academic motivation in terms of VSHS students.

1. Giriş

Motive olma eylemi ile birlikte gelişen motivasyon, öğrenci davranışlarını ve tutumlarını eğitim sürecinin her adımında etkileyen önemli bir faktördür (Deci ve Ryan 2000). Öğrenci, motive olduğu sürece bir şey yapmak için harekete geçme isteğinde olacaktır. Aslında bu durum, sadece öğrenciler için değil bütün insanlar için geçerlidir. Akademik motivasyon olarak tanımlanan eğitim sürecindeki motivasyon düzeyi, öğrencilerin akademik başarılarını etkileyen en önemli ve güncel unsurlardan birisidir. Akademik motivasyon içsel motivasyon, dışsal motivasyon ve motivasyonsuzluk olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Bu ayrım, özerklik teorisine dayanılarak yapılmıştır. Özerklik teorisine göre, insanın doğduğu andan itibaren içsel bir uyarılma ve öğrenme isteği bulunmaktadır (Deci ve Ryan 2000; Deci 1975; Deci ve Ryan 1985).

İçsel motivasyon, öğrencinin kendiliğinden oluşan başarı isteğidir ve bu nedenle, eğitimciler açısından çok önemlidir. Öğrencide doğal bir şekilde ortaya çıktığı için yüksek kalitede öğrenmeyi ve yaratıcılığı beraberinde getirir. İçsel motivasyon kendi içinde üçe ayrılarak incelenir. Bunlar, bilmeye yönelik içsel motivasyon (İMBİ), başarmaya yönelik içsel motivasyon (İMBA) ve harekete yönelik içsel motivasyon (İMH)'dir. İMBİ'de, kişi yeni şeyler öğrenmekten zevk alır ve bu zevki yaşamak için bir işi yapma isteğindedir. İMBA'da kişi, başarılı olma tutkusuyla yeni şeyler yapmak ister. İMH'de ise kişi, yeni bir davranışta bulunurken sonucunda duyacağı tatmin için söz konusu davranışı yapma isteğindedir (Vallerand vd. 1992). Dışsal motivasyon ise, tanımaya yönelik dışsal motivasyon (DMT), kendini ispata yönelik dışsal motivasyon (DMKİ), düzene yönelik dışsal motivasyon (DMD) olmak üzere üç alt gruba ayrılarak incelenmektedir. Dışsal motivasyon düzeyleri, düzene yönelik dışsal motivasyondan tanımaya yönelik dışsal motivasyona doğru içselleşmektedir (Karagüven 2012). DMT'de, kişi bireysel fayda elde etmek ve kişisel önem için davranışta bulunur. Bir davranış, birey tarafından değer verilmesi söz konusu olduğunda ortaya çıkmaktadır. DMKİ'de, yapılacak olan davranışın suç olarak görülüp görülmemesi ya da bireyin kişisel beklentilerinin karşılanmasına bağlı olarak değişmesi söz konusudur. Kişiyi zorlama ve korkulacak durumlardan kaçınmak için yapılan davranışlara yönlendirmektedir. Bununla birlikte DMKİ, alınan sonuçlara göre bir sonraki motivasyon durumunun şekillenmesi halidir. Ancak kişi bu motivasyon türünde, yaptığı davranışı hoşlandığı için sergilemez, zorunlu olduğu için sergiler. DMD'de ise kişi, dışsal bir ödül elde etmek ya da bir cezadan sakınmak amacıyla bir davranış sergiler. Davranış sonucunda elde edilecek ödül ya da cezaya göre davranışa karşı olan motivasyon değişimi yaşanır (Deci ve Ryan 2000; Vallerand vd.1992). Dışsal motivasyonda güdülenme süreci söz konusudur. Öğrenci, gerçekleştireceği işin sonucunda elde edebileceklerini düşünerek harekete geçer. Burada, eğitimcilerin kullandıkları öğretme stratejileri büyük önem taşımaktadır. Eğitimcilerin öğrencilerden istedikleri her görev için bu görevi, ilgi çekici ve zevkli hale getirebilmeleri dışsal motivasyon açısından önem taşımaktadır (Deci ve Ryan 2000).

Motivasyonsuzlukta ise, öğrenci isteksizdir ve başarmak için harekete geçmek istemez. Bu durum, herhangi bir görevin güzel sonuçlarından yararlanmak istememek veya kendini bu görevi yerine getirebilecek yeterlilikte görmemekle alakalıdır (Deci ve Ryan 2000). Motivasyonsuzluk halinde kişiler, kendi eylemleriyle elde edecekleri sonuçlar arasında bağlantı kuramazlar. Kendilerini yetersiz hissedebilirler (Karagüven 2012). Motivasyonsuzluktan yola çıkılarak motivasyonun, bireyin bir davranışı sergilemek için istekli hale gelmesinde önemli rol oynadığı ve öğrenme-öğretme sürecinin etkililiğini artırma gücüne sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Öğrencilerin akademik motivasyonları üzerinde birçok faktör etkili olmakla birlikte, bunlar arasında öznel iş yükü seviyesi önemli bir yere sahiptir. Öznel iş yükü seviyesi, öğrencinin eğitim hayatındaki performansını, tepkilerini, dikkatini, stres ve yorgunluk düzeyini doğrudan etkilemektedir. İş yükü, bir kişinin iş performansına ve işe yönelik tepkilerine etki eden çeşitli baskılar olarak tanımlanabilir (Weiner 1982). Bununla birlikte iş yükü, bir görevin gerekleri ile performans, beceriler, davranışlar ve kişinin algılama koşulları arasında oluşan etkileşimdir (Hart ve Staveland 1988). İş yüküne ilişkin tanımlardan yola çıkılarak; iş yükünün bir yandan kişinin algılaması ile ilişkili olduğu diğer yandan ise, kişinin yaptığı iş ile de doğrudan etkileşimde olduğu söylenebilir. Bu durum, fiziksel ve zihinsel açılarından farklı yeteneklere sahip olan kişilerin farklı iş yükü algılarına sahip olabileceklerini de göstermektedir.

Çalışmada, bir vakıf üniversitesinin Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu (SHMYO) birinci ve ikinci sınıf öğrencilerinin öznel iş yükü ve akademik motivasyon düzeylerini belirlemek ve aralarındaki ilişkiyi incelemek amaçlanmıştır. Buna göre; öğrenciler üzerinde iş yükünün motivasyona olan etkisi gözlemlenmiş ve elde edilen analiz sonuçları paylaşılmıştır. Araştırma grubundaki öğrencilerin öznel iş yükü düzeylerine göre motivasyon düzeylerinin etkileneceği ve farklılıklar göstereceği düşünülmüştür. Bu çalışma, öznel iş yükü ve akademik motivasyon arasındaki ilişkiyi SHMYO öğrencileri açısından inceleyen literatürdeki ilk çalışmadır.

Çalışmada, öğrencilerin öznel iş yükü düzeylerinin belirlenmesi için Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi İş Yükü İndeksi (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index-NASA TLX) ölçeği kullanılmıştır. NASA TLX, Hart ve Staveland (1986) tarafından geliştirilmiştir. NASA TLX ölçeği, bir işi gerçekleştirirken kişi tarafından işiyle ilgili öznel zorlanma düzeyini 6 farklı boyutu dikkate alarak belirlemektedir. Söz konusu 6 boyut, zihinsel gereklilik (mental demand), fiziksel gereklilik (physical demand), zaman baskısı (temporal demand), performans düzeyi (performance), çaba düzeyi (effort), başarısızlık hissi düzeyi (frustration level)'dir. Akademik Motivasyon Ölçeği (Academic Motivation Scale-AMS) ise, motivasyon düzeyini içsel motivasyon, dışsal motivasyon ve motivasyonsuzluk boyutlarında belirlemek için tasarlanan bir ölçektir. AMS, motivasyon düzeyini belirlemek için geliştirilen 7 alt boyut ve 28 farklı soru için katılımcıların 1 ila 7 (Hiç uyuşmuyor - tam olarak uyuşuyor) arasında yaptıkları derecelendirmelere dayanmaktadır. Sorulara verilen puanlar toplanarak elde edilen skorlara göre, katılımcıların motivasyonları içsel motivasyon, dışsal motivasyon ve motivasyonsuzluk düzeyleri bakımından üç ana boyutta incelenmektedir.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde, NASA TLX ve AMS kapsamında gerçekleştirilen literatür çalışması yer almaktadır. Üçüncü bölümde, NASA TLX ve AMS'nin işleyişlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, uygulama anlatılmış, beşinci bölümde ise sonuçlara değinilmiştir. Son bölüm ise, tartışma bölümü olarak planlanmıştır.

2. Literatür Araştırması

Bu bölümde, NASA TLX ve AMS kapsamında literatürde gerçekleştirilen çalışmalara değinilmiştir. NASA TLX açısından literatür incelendiği zaman, birçok çalışmada kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmada, 2013-2018 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmalardan özetle bahsedilmiştir. Şeker (2014), yaş, cinsiyet, medeni durum ve eğitim seviyesi gibi faktörlerin Teknoloji ve Yenilik Hibe Programları Müdürlüğü'nde çalışan uzmanların öznel iş yükü düzeyleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışanların öznel iş yükü düzeyleri, NASA TLX ile ölçülmüş, elde edilen sonuçlar Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemlerinde girdi olarak kullanılmıştır. Burada amaçlanan, uzman havuzundan en uygun kişinin seçimini sağlamaktır. Akyeampong vd. (2014), hidrolik ekskavatörlerin kullanımı sırasında ortaya çıkan öznel iş yükü seviyesini belirlemek için NASA TLX kullanmışlardır. Çalışmada, hidrolik ekskavatörlerde kullanılan üç farklı insan makine ara yüz tasarımının öznel iş yükü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Malekpour vd. (2014), NASA TLX yöntemi ile 120 hemşirenin iş yüklerini analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, yoğun bakım bölümünde çalışan hemşirelerde yüksek düzeyde zihinsel iş yükü olduğu ve fiziksel iş yükünün diğer boyutlara göre daha düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, haftalık çalışma saatleri, vardiya süresi, bir hemşirenin sorumlu olduğu hasta sayısı faktörleri ile öznel iş yükü arasında yüksek korelasyon elde edilmiştir. Karadağ ve Cankul. (2015) tarafından, 178 hekimin öznel iş yükleri NASA TLX kullanılarak belirlenmiş ve öznel iş yükünün hekimlerin sosyo-kültürel özelliklerine göre farklılık gösterip göstermediği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yaş, meslekteki toplam çalışma süresi, çalışılan bölüm, nöbet sayısı ve meslekle ilgili genel memnuniyete göre öznel iş yükünün farklılık gösterdiği görülmüştür. Lowndes vd. (2018), cerrahi ekipman ve prosedürlerdeki gelişmelerin, ameliyathanelerde insan-sistem etkileşimleri açısından cerrahın iş yükünü ve performansını etkileyip etkilemediğini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, 34 cerrahın algıladıkları iş yükü düzeylerinin belirlenmesi için NASA TLX kullanılmış ve ameliyat prosedürleri zorlaştıkça fiziksel ve zihinsel yükün arttığı görülmüştür. Paxion vd. (2016), sürücü deneyimi, sürüş koşullarının zorluğu, sürücünün gerilim düzeyinin öznel iş yükü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, karmaşık sürüş koşullarında fiziksel gereklilik, zihinsel gereklilik, zaman baskısı, çaba boyutlarına ilişkin puanlarda artış gözlemlenmiştir. Puspawardhani vd. (2016), otomobil parçaları üreten bir işletmede çalışan 48 işçinin öznel iş yükü düzeylerini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, gece vardiyasında çalışan işçilerde, zihinsel gereklilik puanlarının yüksek olduğu ve sabah vardiyasında ise, zaman baskısı puanının en düşük olduğu belirlenmiştir. Delice (2016), The National Aeronautics and Space Administration-Raw Task Load Index (NASA-RTLX) yöntemini uygulayarak; üç hastanenin acil servislerinde çalışan hekimlerin öznel iş yüklerini değerlendirmiştir. Çalışmada, performans boyutu puanının doktorların kendilerini başarılı görmelerinden dolayı öznel iş yüklerine en az etki eden faktör olduğu görülmüştür. Zihinsel gereklilik, zaman baskısı, çaba ve genel iş yükü puanı açısından, kadın hekimlerin algıladıkları iş yükü düzeylerinin erkeklere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Kahya vd. (2018) beyin bilgisayar ara yüzü sistemlerinin kullanımı nedeniyle kişide oluşan bilişsel

yükü analiz etmişlerdir. Katılımcıların farklı görevleri gerçekleştirerek, görevler esnasında göz bebeği değişim oranları, göz kırpma oranları ve galvanik deri dirençleri değerlendirilmiştir. Her bir görevin gerçekleştirilmesinden sonra katılımcılara NASA TLX uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, göz kırpma oranının farklı görev türlerindeki bilişsel zorlanma düzeyini ayırt etmede uygun bir gösterge olduğu belirlenmiştir. Mansikka vd. (2018), 18 pilota simülator eşliğinde uçak kullanımı sırasında NASA TLX ve Modifiye Edilmiş Cooper Harper (MCH) yaklaşımlarını uygulayarak; bu yaklaşımlar tarafından üretilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, MCH ve NASA TLX sonuçları arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. Tubbs-Cooley vd. (2018) tarafından, NASA TLX yöntemi yeni doğan, çocuk ve yetişkin yoğun bakım ünitelerinde görev yapan hemşirelerin öznel iş yüklerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Sonuçlara göre, yoğun bakımda çalışan hemşirelerin diğer bölümlerdeki hemşirelere göre daha yüksek öznel iş yüküne sahip oldukları belirlenmiştir. Zheng ve Jie (2019), araştırmalarında, NASA-TLX ve göz kırpma değerlerini, uçuş simülatoründe gerçekleştirilen uçuş testleri kapsamında, standart araç kalkış, manuel kalkış ve standart araç yaklaşımı olmak üzere üç uçuş senaryosunda karşılaştırmışlardır.

AMS açısından literatürde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde ise, ölçeğin yaygın bir şekilde farklı gruplar için kullanıldığı belirlenmiştir. Bu nedenle, 2014-2019 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmalara özetle değinilmiştir. Gömleksiz ve Serhatlıoğlu (2014) tarafından, öğretmen adaylarının akademik motivasyon düzeylerine ilişkin değerlendirmeleri ve bu değerlendirmelerin cinsiyet, sınıf düzeyi ve bölüm değişkenlerine göre farklılaşp farklılaşmadığı AMS kullanılarak belirlenmiştir. Özdemir (2015) tarafından yapılan çalışmada, yaş, cinsiyet, ödevle ayrılan zaman, okula bağlılık, akademik motivasyon ve okul tükenmişliği arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Terleme vd. (2015) tarafından, Namık Kemal Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin akademik motivasyon düzeyleri, yüksek okul kapsamında bulunan programlar arasındaki seviye farklılıkları, farklılıkların nedenleri analiz edilmiştir. Sıcak ve Başören (2015), Batı Karadeniz’de yer alan bir ildeki ortaöğretim kurumlarının 9., 10., 11. ve 12. sınıflarından 4041 öğrenciye AMS uygulayarak; cinsiyet ve sınıf açısından farklılık olup olmadığını belirlemiştir. Ayrıca, okuldan memnun olma ile akademik motivasyonun alt boyutları arasında bir ilişki olup olmadığı da araştırılmıştır. Akar ve Aydın (2016), öğretim elemanlarının mesleki yeterliklerini gerçekleştirme düzeyleri ile öğrencilerin akademik motivasyonları arasındaki ilişkiyi AMS kullanarak incelemişlerdir. Calp ve Bacanlı (2016), beşinci sınıflar açısından yeterlik algısı, özerklik ve özerklik desteği gibi çeşitli değişkenlerin akademik motivasyon ve akademik başarıya etkisini araştırmışlardır. Direktör ve Nuri (2017) tarafından, benlik saygısı ile akademik motivasyon arasındaki ilişkide, otomatik düşüncenin etkisi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, Kuzey Kıbrıs’taki bir üniversitenin psikolojik danışma ve rehberlik ile zihinsel engelliler öğretmenliği bölümlerinde eğitim gören 210 lisans öğrencisine Rosenberg Benlik Saygısı Ölçeği, Genişletilmiş Otomatik Düşünce Ölçeği ve AMS uygulanmıştır. Köybaşı (2017) tarafından, İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi İlköğretim Matematik Bölümü öğrencilerinin bireysel değer yönelimleri ile akademik motivasyonları arasındaki ilişki AMS ve Bireysel Değerler Ölçeği kullanılarak incelenmiştir. Nayir ve Tekmen (2017), bir vakıf üniversitesinin Eğitim Fakültesi Okul Öncesi Öğretmenliği, Sınıf Öğretmenliği, İlköğretim Matematik Öğretmenliği, Türkçe Öğretmenliği ve İngilizce Öğretmenliği Anabilim dallarında öğrenim gören 219 öğretmen adayının, problem çözme becerilerini ve akademik motivasyonlarını inceleyerek; öğrenme ortamlarını akademik motivasyon ve problem çözme becerisi açılarından değerlendirmişlerdir. Önal (2017), matematik öğretmenliği adaylarının artırılmış gerçeklik eğitim uygulamaları kapsamında, akademik motivasyon düzeylerini AMS kullanarak belirlemiştir. Zembat vd. (2018) tarafından, okul öncesi öğretmen adaylarının öğretmenlik mesleğine yönelik tutumları ile akademik motivasyonları ve başarıları arasındaki ilişki AMS ve Mesleğe Yönelik Tutum Ölçeği kullanılarak araştırılmıştır. Yangınlar (2019) tarafından, bir vakıf üniversitesinde öğrenim gören Uluslararası Lojistik ve Taşımacılık bölümü, Lojistik Yönetimi veya Uluslararası Ticaret ve Lojistik bölümlerindeki üçüncü ve dördüncü sınıf öğrencilerinin akademik motivasyonları ile mesleki kaygı düzeyleri arasındaki ilişki AMS kullanılarak değerlendirilmiştir. Fatima vd. (2018) çalışmalarında, akademik motivasyon türlerini tahmin etmede bağımsız ve etkileşimli öz-yeterlik ve algılanan sosyal destek rollerini incelemişlerdir. Yusri vd. (2018), öğrencinin öz yeterliliğini ve akademik motivasyonunu arttırmak için yabancı dil öğreniminde ileri ödeme modelinin etkinliğini belirlemeyi amaçlamışlardır. Silva vd. (2018) tarafından, Brezilya’daki Beden Eğitimi öğretmenlerinin akademik motivasyon düzeyleri AMS kullanılarak belirlenmiştir. Gholizadeh vd. (2019), Shahid Chamran Üniversitesi öğrencilerinin akademik motivasyon ve akademik öz yeterlik düzeylerini Gizli Büyüme Eğrisi Modeli ile test etmişlerdir. Lai vd. (2019), Yi etnik azınlık gençlerinin kırsal okul ortamlarındaki akademik başarılarını arttırmak için, sınıf arkadaşı desteğinin ve etnik kimliğin akademik motivasyonlarını teşvik etmedeki etkisini incelemişlerdir. Nguyen ve Nguyen (2019) tarafından, AMS’nin yapısal geçerlilik ve güvenilirliği Vietnamlı üniversite öğrencileri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Javaeed vd. (2019), Pakistan Azad Keşmir Tıp Fakültesi lisans öğrencilerinin akademik motivasyon seviyelerini AMS uygulayarak değerlendirmişlerdir. Islam ve Chakrabarty (2019), en önemli ailevi faktörler (örneğin, ebeveyn eğitimi, ebeveyn mesleği, aile tipi, aylık hane halkı geliri, kardeş başarısı) ile öğrencilerin akademik motivasyonu ve başarısı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Poteliüniene (2018), birinci sınıf beden eğitimi öğretmen adaylarının akademik motivasyon düzeylerini belirlemiş ve akademik motivasyonları ile eğitimlerinden memnun olma düzeyleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

NASA TLX ve AMS kapsamında yapılan literatür araştırmasından da görüldüğü gibi, SMYO öğrencileri için öznel iş yükünün ve akademik motivasyon düzeylerinin belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bununla birlikte, yine söz konusu öğrenci grubu için cinsiyet ve sınıf bazında farklılıkların olup olmadığı analiz edilmemiştir. Ayrıca, öznel iş yükü ile akademik motivasyonun alt boyutları arasında ilişkinin olup olmadığı da araştırılmamıştır. Çalışma, bu yönleriyle literatüre katkı sağlayabilecek bir orijinalliktedir.

3. Materyal ve Metot

3.1. NASA TLX

NASA TLX ölçeği iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; her bir boyut için 0 ila 100 arasında bir puanlandırma yapılmaktadır. Puanlandırma skalası, beşer puan aralıklarla değişmektedir. Bu bölümde kullanılan puanlandırma sistemi aşağıda Şekil 1’de verilmiştir. Her bir boyut için 0-100 arasında atanan puanlar S_i ; $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ olarak ifade edilir.

İkinci bölümde ise, hangi boyutun öznel iş yükü açısından daha öncelikli olduğunu belirleyen ikili karşılaştırmalar bulunmaktadır. 6 boyut ile toplamda 15 farklı ikili karşılaştırma gerçekleştirilmektedir. Her bir boyutun, ikili karşılaştırmalarda kaç defa (f_i) karşılaştırıldığı diğer boyuta göre daha baskın görüldüğü belirlenmektedir. Sonrasında f_i değeri, toplam ikili karşılaştırma sayısı olan 15’e bölünerek; her bir boyut için ağırlıklar (w_i) Eşitlik (1)’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$w_i = \frac{f_i}{15}; i = 1, \dots, 6 \quad (1)$$

NASA Task Load Index

Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7-point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.

Name	Task	Date
Mental Demand	How mentally demanding was the task?	
Physical Demand	How physically demanding was the task?	
Temporal Demand	How hurried or rushed was the pace of the task?	
Performance	How successful were you in accomplishing what you were asked to do?	
Effort	How hard did you have to work to accomplish your level of performance?	
Frustration	How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?	

Şekil 1. NASA TLX’in birinci bölümünde gerçekleştirilen puanlandırmalar (NTRS, 2019)

Burada f_i ; i . boyutun ikili karşılaştırmalarda kaç defa daha baskın geldiğini belirten frekans değeridir. Örneğin; çaba boyutu, 15 ikili karşılaştırmada 3 kez karşılaştırıldığı diğer boyuta göre yapılan görev açısından daha zorlayıcı olarak görüldüyse; çaba boyutuna ilişkin ağırlık değeri $w_i = \frac{3}{15} = 0,2$ olarak elde edilir. Tablo 1’de ikili karşılaştırmalar gösterilmiştir.

NASA TLX ölçeğinin puanlandırma bölümünden elde edilen 0-100 arasındaki puan değerleri, ikili karşılaştırmalar bölümünden elde edilen ağırlık değerleriyle çarpılarak; öznel iş yükü skorları (görev ağırlık indeksi-task load index-TLX) Eşitlik (2)'deki gibi elde edilmektedir.

$$TLX = \sum_{i=1}^6 S_i \times w_i \quad (2)$$

Tablo 1. NASA TLX'in ikinci bölümünde kullanılan ikili karşılaştırmalar

Karşılaştırılan boyutlar	
Çaba	Performans
Zaman baskısı	Çaba
Performans	Başarısızlık hissi
Fiziksel gereklilik	Performans
Zaman baskısı	Başarısızlık hissi
Fiziksel gereklilik	Başarısızlık hissi
Fiziksel gereklilik	Zaman baskısı
Zaman baskısı	Zihinsel gereklilik
Başarısızlık hissi	Çaba
Performans	Zaman baskısı
Zihinsel gereklilik	Fiziksel gereklilik
Başarısızlık hissi	Zihinsel gereklilik
Performans	Zihinsel gereklilik
Zihinsel gereklilik	Çaba
Çaba	Fiziksel gereklilik

3.2. Akademik Motivasyon Ölçeği (Academic Motivation Scale-AMS)

AMS, Vallerand vd. (1992) tarafından geliştirilmiştir (Deci ve Ryan 1985). Giriş bölümünde de belirtildiği gibi, İçsel motivasyon kapsamında üç (İMBİ, İMBA, İMH), dışsal motivasyon kapsamında üç (DMT, DMKİ, DMD) ve motivasyonsuzluk kapsamında bir alt boyut (MS) değerlendirilmektedir. Her bir alt boyut, dörder maddeden oluşur. Alt boyutlardan alınan puanlar 4 ile 28 arasında değişmektedir. Alt boyutların her birinden alınan puanlar 28'e yaklaştıkça bireyde, o boyutun yüksek olduğu anlaşılır.

Başlangıçta “Neden okula gidiyorsunuz?” sorusu ve hemen altında “Çünkü...” ifadesi yer alır. Katılımcının “çünkü” ifadesini, sıradaki maddeyle tamamlayarak kendisine uygun gelen şıkkı işaretlemesi istenir. Motivasyonsuzluk boyutundaki ifadeler, diğer boyutların ifadelerine göre terstir. Örneğin; “...bilmiyorum, zaten okulda ne yaptığımı bir türlü anlayamadım.” gibi. Ancak, puanlama yapılırken bu maddeler diğerleri gibi puanlanır. Özetle, ölçekte ters puanlanan madde bulunmamaktadır. Diğer alt boyutları oluşturan ifadeler ise olumludur. Örneğin; “...ileride daha itibarlı bir iş sahibi olabilmek için.” gibi (Vallerand vd. 1992). Bununla birlikte aşağıda yer alan Tablo 2’de, 28 sorudan oluşan AMS’nin hangi sorularının akademik motivasyonun hangi boyutunu değerlendirdiği sunulmuştur. İlgili sorular ise ifadeleriyle Tablo 4’te yer almaktadır.

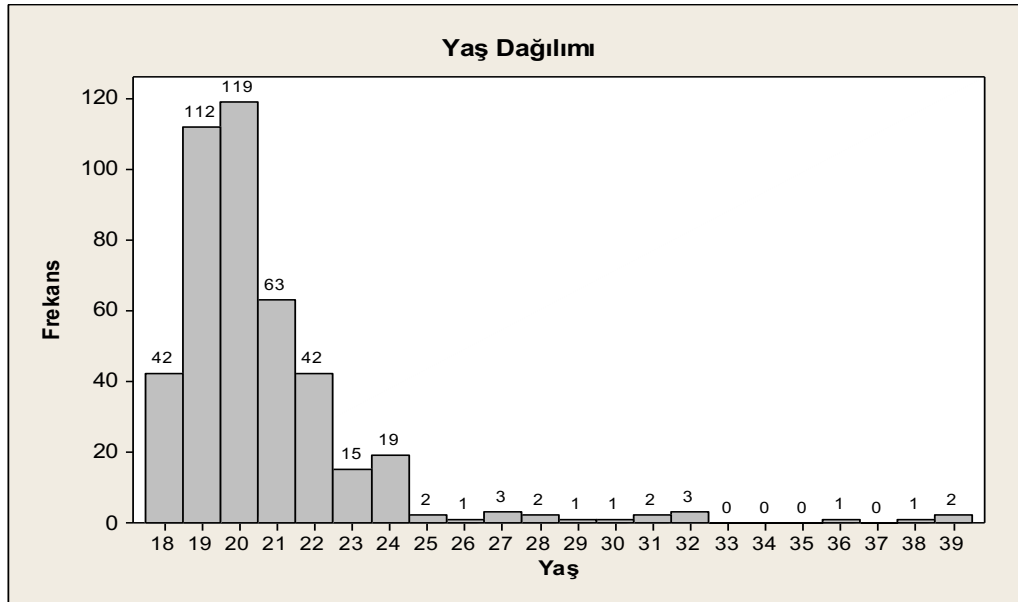
Tablo 2. Akademik motivasyonun alt boyutları ve ilişkili oldukları sorular

Akademik Motivasyonun Alt Boyutları	Değerlendirildiği Sorular
İMBİ	2, 9, 16, 23
İMBA	6, 13, 20, 27
İMH	4, 11, 18, 25
DMT	3, 10, 17, 27
DMKİ	7, 14, 21, 28
DMD	1, 8, 15, 22

Çalışmada, SMYO kapsamındaki farklı bölümlerde okuyan öğrencilere, NASA TLX ile AMS'nin yer aldığı ve öğrencilere ait demografik bilgilerin de sorgulandığı bir anket, ilgili üniversitenin 1 Mart 2018 tarihli ve 17162298.600-154 sayılı anket uygulama izni ile gönüllük esasına göre uygulanmıştır. Çalışmaya ait veriler, 2018 yılında toplanmıştır. Makalede, araştırma ve yayın etiğine yüksek hassasiyet gösterilmiştir.

4. Uygulama

Çalışmaya, bir vakıf üniversitesinde öğrenimlerini sürdüren 10 ayrı bölümden (Ağız ve Diş Sağlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği, Fizyoterapi, Ameliyathane Hizmetleri, Anestezi, Diyaliz, İlk ve Acil Yardım, Patoloji Laboratuvar Teknikleri, Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri) toplam 431 SHMYO öğrencisi katılmıştır. 431 öğrencinin 282'si kız (%65), 149'u erkek (%35)'tir. Yine, 431 öğrencinin 224'ü ikinci sınıf öğrencisi, 207'si ise birinci sınıf öğrencisidir. Öğrencilerin yaş dağılımı Şekil 2'de gösterilmektedir.

**Şekil 2.** Öğrencilerin yaş dağılımı

Bununla birlikte, öğrencilerin yaşlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler ise Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Öğrencilerin yaşlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Tanımlayıcı istatistikler	$n = 431$
Ortalama	20,64
Standart sapma	2,77
En küçük değer	18
En büyük değer	39

Katılımcıların 1 ila 7 (Hiç uyuşmuyor-tam olarak uyuşuyor) arasında yaptıkları derecelendirmelerle üniversiteye gitme amaçlarını, Tablo 4'te verilen ifadeleri uygun şekilde işaretleyerek cevaplandırmaları istenmiştir. İfadelere verilen cevaplara ait frekans ve yüzde değerleri Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. AMS için bütün öğrencilerin yaptıkları değerlendirmeler

	1	2	3	4	5	6	7
1. Sadece lise diploması ile ileride iyi bir iş bulamayabilirim.	57 (%13,4)	36 (%8,5)	36 (%8,5)	49 (%11,5)	61 (%14,3)	53 (%12,4)	134 (%31,4)
2. Yeni bir şeyler öğrenirken zevk alıyorum ve tatmin oluyorum.	36 (%8,5)	45 (%10,6)	51 (%12)	51 (%12)	81 (%19)	60 (%14,1)	102 (%23,9)
3. Üniversite eğitiminin, seçtiğim alana daha iyi hazırlanmamda yardımcı olacağını düşünüyorum.	41 (%9,6)	34 (%8)	39 (%9,1)	60 (14,1)	79 (%18,5)	67 (%15,7)	107 (%25,1)
4. Bana ait düşünceleri başkalarıyla paylaşırken çok yoğun duygular yaşıyorum.	46 (%10,8)	50 (%11,7)	54 (%12,6)	69 (16,2)	65 (%15,2)	69 (16,2)	74 (%17,3)
5. Dürüst olmak gerekirse bilmiyorum, aslında üniversitede boşa zaman harcıyorum gibiyim.	116 (%27,2)	63 (%14,8)	48 (%11,2)	57 (%13,3)	52 (%12,2)	43 (%10,1)	48 (%11,2)
6. Derslerimde kendimi aşarken zevk aldığım için.	49 (%11,2)	58 (%13,6)	51 (%12)	67 (%15,7)	60 (%14,1)	64 (%15)	77 (%18,1)
7. Üniversiteyi bitirebileceğimi kendi kendime kanıtlamak için.	62 (%14,6)	46 (%10,8)	50 (%11,8)	75 (%17,7)	68 (%16)	56 (%13,2)	67 (%15,8)
8. İleride daha itibarlı bir iş sahibi olabilmek için.	38 (%8,9)	35 (%8,2)	38 (%8,9)	64 (%15)	58 (%13,6)	74 (%17,3)	120 (%28,1)
9. Daha önce hiç görmediğim şeyleri keşfederken zevk aldığım için.	36 (%8,5)	40 (%9,4)	54 (%12,7)	50 (%11,7)	68 (%16)	77 (%18,1)	101 (%23,7)
10. Aslında, istediğim iyi bir iş alanına girebilmemi sağlayacak.	44 (%10,3)	44 (%10,3)	52 (%12,2)	63 (%14,8)	71 (%16,6)	63 (%14,8)	90 (%21,1)
11. İlginç yazılar okumaktan zevk aldığım için.	64 (%15)	40 (%9,4)	49 (%11,5)	75 (%17,6)	72 (%16,9)	64 (%15)	62 (%14,6)
12. Önceden üniversiteye gitmek için iyi nedenlerim vardı ama şimdi devam edip etmeme konusunda kararsızım.	96 (%22,5)	64 (%15)	55 (%12,9)	51 (%11,9)	52 (%12,2)	55 (%12,9)	54 (%12,6)
13. Kişisel hedeflerimden birine ulaşmak için kendimi aşarken yaşadığım mutluluktan dolayı.	49 (%11,5)	47 (%11)	46 (%10,8)	68 (%16)	53 (%12,4)	63 (%14,8)	100 (%23,5)
14. Şu da bir gerçek ki; üniversitede başarılı olduğum zaman kendimi önemli hissediyorum.	39 (%9,2)	48 (%11,3)	46 (%10,8)	65 (%15,3)	57 (%13,7)	58 (%13,6)	112 (%26,4)
15. İleride iyi bir hayat yaşamak istiyorum.	39 (%9,2)	47 (%11,1)	47 (%11,1)	45 (%10,6)	48 (%11,3)	49 (%11,5)	150 (%35,3)
16. İlğimi çeken konular hakkında bilgilerimi arttırırken duyduğum mutluluktan dolayı.	46 (%10,8)	42 (%9,9)	32 (%7,5)	62 (%14,6)	65 (%15,3)	67 (%15,7)	112 (%26,3)
17. Meslek edinme açısından daha iyi bir seçim yapmamı sağlayacak.	35 (%8,3)	47 (%11,1)	49 (%11,6)	47 (%11,1)	68 (%16)	68 (%16)	110 (%25,9)
18. Önemli yazarların yazdıklarına tamamen kendimi kaptırduğumda hissettiğim mutluluktan dolayı.	45 (%10,6)	47 (%11,1)	43 (%10,2)	79 (%18,7)	88 (%20,8)	60 (%14,2)	61 (%14,4)
19. Neden üniversiteye gittiğimi bilemiyorum, açıkçası pek de umurumda değil.	127 (%29,6)	52 (%12,2)	43 (%10,1)	42 (%9,9)	58 (%13,6)	53 (%12,4)	51 (%12)
20. Zor olan akademik çalışmalarda zorlandığımı hissetmekten zevk aldığım için.	51 (%12)	50 (%11,7)	68 (%16)	66 (%15,5)	58 (%13,6)	60 (%14,1)	73 (%17,1)
21. Kendi kendime zeki olduğumu göstermek için.	57 (%13,4)	48 (%11,3)	58 (13,6)	68 (%16)	73 (%17,1)	53 (%12,4)	69 (%16,4)
22. İlğimi çeken birçok konu hakkında daha fazla şey öğrenmeye devam etmemi sağlıyor.	35 (%8,3)	42 (%9,9)	55 (%13)	62 (%14,6)	65 (%15,3)	66 (%15,6)	99 (%23,3)
23. İlgimi çeken birçok konu hakkında daha fazla şey öğrenmeye devam etmemi sağlıyor.	41 (%9,6)	43 (%10,1)	53 (%12,4)	67 (%15,7)	56 (%13,1)	87 (%20,4)	79 (%18,5)
24. İnanıyorum ki birkaç yıl daha aldığım bu eğitim, çalışma hayatım için gereken yeteneklerimi geliştirecek.	49 (%11,5)	34 (%8)	46 (%10,8)	56 (%13,2)	54 (%12,7)	66 (%15,5)	120 (%28,2)
25. Birbirinden farklı ve ilginç konuları okurken hissettiğim büyük hazdan dolayı.	62 (%14,6)	40 (%9,4)	60 (%14,1)	74 (%17,4)	54 (%12,7)	47 (%11,1)	88 (%20,7)
26. Bilmiyorum, zaten üniversitede ne yaptığımı bir türlü anlamadım.	122 (%28,7)	40 (%9,4)	35 (%8,2)	57 (%13,4)	53 (%12,5)	71 (%16,7)	47 (%11,1)
27. Üniversitedeki çalışmalarında mükemmel olmaya çalışmak, bireysel tatmin yaşamamı sağlıyor.	27 (%6,3)	50 (%11,7)	58 (%13,6)	75 (%17,6)	80 (%18,8)	63 (%14,4)	73 (%17,1)
28. Kendi kendime derslerde başarılı olabileceğimi görmek istiyorum.	35 (%8,2)	39 (%9,2)	45 (%10,6)	73 (%17,1)	59 (%13,8)	77 (%18,1)	98 (%23)

431 öğrenciye çalışma kapsamında, algılanan iş yüklerini belirlemek için uygulanan NASA TLX ölçeği için alt boyut puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Öznel iş yükü alt boyut puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Öznel iş yükü boyutları	<i>n</i>	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma
Zihinsel iş yükü	431	0	33,33	9,87	8,32
Fiziksel iş yükü	431	0	33,33	8,76	7,91
Zaman baskısı	431	0	33,33	9,85	8,26
Performans	431	0	33,33	10,56	9,03
Çaba	431	0	33,33	10,78	9,12
Başarısızlık hissi	431	0	33,33	7,17	7,77

Bununla birlikte, öğrencilerin öznel iş yükü puanlarının normal dağılıma uygun olup olmadıklarını belirlemek için aşağıda yer alan hipotezler kurularak; Anderson Darling normallik testi uygulanmıştır.

H_0 : Öznel iş yükü puanları normal dağılıma sahiptir.

H_1 : Öznel iş yükü puanları normal dağılıma sahip değildir.

Anderson Darling normallik testi sonuçlarına göre, öğrencilerin öznel iş yükü puanları normal dağılıma sahiptir ($p = 0,56$). Benzer şekilde, kızlar ve erkekler için de, öznel iş yükü puanları normal dağılıma sahiptir ($p = 0,854$), ($p = 0,413$).

Cinsiyet bazında, NASA TLX ölçeği kapsamında değerlendirilen altı farklı öznel iş yükü boyutu puanlarının farklılık gösterip göstermediği ise, Mann Whitney U testi ve Bağımsız örneklem t testi yapılarak belirlenmiştir ve elde edilen sonuçlar Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. Cinsiyet bazında, NASA TLX ölçeği kapsamında değerlendirilen altı farklı öznel iş yükü boyutunun karşılaştırılması

Öznel İş Yükü Boyutları	Kız (<i>n</i> = 279)		Erkek (<i>n</i> = 149)		Karşılaştırma (<i>p</i> değeri)
	Ortalama (Standart Sapma)	Normallik Testi (<i>p</i> değeri)	Ortalama (Standart Sapma)	Normallik Testi (<i>p</i> değeri)	
Zihinsel iş yükü	10,40 (8,73)	0,000	9,03 (7,42)	0,000	0,239 ¹
Fiziksel iş yükü	8,77 (7,90)	0,000	8,84 (7,97)	0,000	0,996 ¹
Zaman baskısı	9,59 (8,21)	0,000	10,39 (8,36)	0,000	0,368 ¹
Performans	10,61 (8,92)	0,000	10,53 (9,27)	0,000	0,755 ¹
Çaba	10,72 (9,13)	0,000	10,87 (9,00)	0,000	0,740 ¹
Başarısızlık hissi	7,28 (7,98)	0,000	7,06 (7,40)	0,000	0,972 ¹
Öznel iş yükü puanı	57,92 (22,59)	0,200	55,69 (21,33)	0,200	0,323²

¹ Mann Whitney U testi

² Bağımsız örneklem t testi

Tablo 6'daki sonuçlara göre, NASA TLX ölçeğinin altı farklı öznel iş yükü boyutu puanlarının normal dağılıma sahip olmaması sebebiyle Mann Whitney U testi uygulanmış, cinsiyete bağlı bir farklılık tespit edilememiştir. Cinsiyet bazında, öznel iş yükü puanları açısından bir fark olup olmadığı, aşağıda yer alan hipotezler için iki örneklem t testi uygulanarak araştırılmıştır.

H_0 : Cinsiyetler açısından öznel iş yükü puanları arasında anlamlı bir fark yoktur.

H_1 : Cinsiyetler açısından öznel iş yükü puanları arasında anlamlı bir fark vardır.

İki örneklem t testi sonucuna göre, kızlar için öznel iş yükü puanları ile erkekler için öznel iş yükü puanları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir ($t - \text{değeri} = 0,88$; $p = 0,323$).

Birinci sınıf ve ikinci sınıf öğrencileri arasında, NASA TLX ölçeği kapsamında değerlendirilen altı farklı öznel iş yükü boyutunun puanlarının farklılık gösterip göstermediği ise, yine Mann Whitney U testi ve Bağımsız örneklem t testi yapılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 7’de yer almaktadır. Tablo 6’da verilen karşılaştırmalarda aşağıdaki hipotezler kullanılmıştır.

H_0 : Öznel iş yükü boyutu (i) için, birinci sınıf ve ikinci sınıf öğrencilerinin puanları arasında anlamlı bir fark yoktur ($i = 1,2, \dots, 6$).

H_1 : Öznel iş yükü boyutu (i) için, birinci sınıf ve ikinci sınıf öğrencilerinin puanları arasında anlamlı bir fark vardır ($i = 1,2, \dots, 6$).

Tablo 7’de verilen sonuçlara göre, her bir sınıf için, öznel iş yükü puanları haricindeki tüm öznel iş yükü boyutlarına ait puanlar, normal dağılıma uygunluk göstermemektedir. Bu durumda, sınıflara göre iş yükü puanlarının karşılaştırılmasında bağımsız örneklem t testi kullanılırken diğer tüm boyutlarda Mann Whitney U testi kullanılmıştır. Sonuç olarak, 0,01 anlamlılık düzeyinde zihinsel gereklilik, performans ve çaba puanları için, sınıflar arasında anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir. 0,05 anlamlılık düzeyinde ise, sınıflar açısından fiziksel gereklilik puanları arasında anlamlı bir fark ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, birinci sınıfların ve ikinci sınıfların zaman baskısı, başarısızlık hissi ve öznel iş yükü puanları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 7. Sınıf bazında, NASA TLX ölçeği kapsamında değerlendirilen altı farklı öznel iş yükü boyutunun karşılaştırılması

Öznel İş Yükü Boyutları	Birinci sınıf ($n = 207$)		İkinci sınıf ($n = 221$)		Karşılaştırma (p değeri)
	Ortalama (Standart Sapma)	Normallik Testi (P değeri)	Ortalama (Standart Sapma)	Normallik Testi (P değeri)	
(1) Zihinsel iş yükü	8,98 (8,74)	0,000	10,80 (7,81)	0,000	**0,002 ¹
(2) Fiziksel iş yükü	8,20 (7,14)	0,000	9,35 (7,68)	0,000	*0,047 ¹
(3) Zaman baskısı	9,37 (8,45)	0,000	10,33 (8,08)	0,000	0,130 ¹
(4) Performans	8,25 (8,15)	0,000	12,76 (9,29)	0,000	**0,000 ¹
(5) Çaba	8,98 (9,02)	0,000	12,45 (8,82)	0,000	**0,000 ¹
(6) Başarısızlık hissi	8,00 (8,44)	0,000	6,47 (7,03)	0,000	0,070 ¹
Öznel iş yükü puanı	55,46 (20,69)	0,200	58,71 (23,40)	0,200	0,130²

¹ Mann Whitney U testi

² Bağımsız örneklem t testi

* 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

** 0.01 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Yaş gruplarına göre ise öznel iş yükü puanlarının tanımlayıcı istatistikleri ise Tablo 8’de görülmektedir.

Tablo 8. Yaş grupları için öznel iş yükü puanlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Yaş grupları	n	Ortalama	Standart sapma
18-19	154	55,31	20,65
20-21	182	58,83	23,60
22-23	56	57,56	24,05
≥ 24	39	54,26	21,00

Yaş grupları arasında öznel iş yükü puanı açısından farklılık olup olmadığı, tek yönlü ANOVA testi uygulanarak belirlenmiştir. Bu kapsamda kurulan hipotezler ise aşağıda yer almaktadır.

H_0 : Yaş gruplarına göre öznel iş yükü puanları arasında anlamlı bir fark yoktur.

H_1 : En az bir yaş grubu için öznel iş yükü puanları diğerlerinden farklıdır.

Tek yönlü ANOVA testi sonuçlarına göre, yaş grupları açısından öznel iş yükü puanları arasında anlamlı bir fark olduğu değerlendirilmemektedir ($F = 0,90$; $p = 0,440$). SHMYO öğrencilerinin, AMS alt boyut puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. AMS alt boyutlarına ait tanımlayıcı istatistikler

AMS alt boyutları	<i>n</i>	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma
İMBİ	428	0,00	28,00	18,25	4,96
İMBA	428	0,00	28,00	16,54	4,25
İMH	428	0,00	28,00	16,87	4,80
DMT	428	4,00	28,00	18,39	5,47
DMKİ	428	0,00	28,00	16,51	4,74
DMD	428	0,00	28,00	17,77	4,99
MS	428	0,00	28,00	16,86	4,77

AMS ana boyutlarına ait tanımlayıcı istatistikler de, Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. AMS ana boyutlarına ait tanımlayıcı istatistikler

AMS boyutları	<i>n</i>	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma
İM	428	0,00	28,00	17,22	3,57
DM	428	2,67	28,00	17,55	3,89
MS	428	0,00	28,00	16,86	4,77

Cinsiyetler arasında, AMS kapsamındaki alt boyutların puanları arasında bir farklılık olup olmadığı normallik varsayımının sağlanamaması nedeni ile Mann Whitney U testi uygulanarak belirlenmiştir. Bu kapsamda kullanılan hipotezler aşağıda verilmiştir:

H_0 : Cinsiyetler açısından *j*. AMS alt boyutu puanları arasında anlamlı bir fark yoktur ($j = 1,2, \dots, 7$).

H_1 : Cinsiyetler açısından *j*. AMS alt boyutu puanları arasında anlamlı bir fark vardır ($j = 1,2, \dots, 7$).

Elde edilen sonuçlar ise, Tablo 11’de verilmiştir. Sonuçlara göre, cinsiyetler açısından sadece dışsal motivasyon tanıma boyutu (DMT) için cinsiyetler arasında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 11. Cinsiyetler arasında, AMS kapsamındaki alt boyutların karşılaştırılması

(j) AMS boyutları ($j = 1,2, \dots, 7$)		Kız ($n = 279$)		Erkek ($n = 149$)		Karşılaştırma (p değeri)
		Ortalama (Standart Sapma)	Normallik Testi (p değeri)	Ortalama (Standart Sapma)	Normallik Testi (p değeri)	
İçsel motivasyon	(1) İMBİ	18,60 (5,10)	0,004	17,58 (4,62)	0,200	0,051 ¹
	(2) İMBA	16,69 (4,44)	0,000	16,25 (3,87)	0,001	0,386 ¹
	(3) İMH	16,99 (4,84)	0,015	16,64 (4,73)	0,200	0,605 ¹
Dışsal motivasyon	(4) DMT	18,89 (5,50)	0,000	17,45 (5,29)	0,010	*0,015 ¹
	(5) DMKİ	16,72 (4,88)	0,000	16,11 (4,44)	0,014	0,303 ¹
	(6) DMD	17,96	0,014	17,40	0,051	0,367 ¹

		(5,19)		(4,57)		
Motivasyonsuzluk	(7) MS	17,16 (4,81)	0,000	16,27 (4,66)	0,073	0,050 ¹

¹Mann Whitney U testi

*0,05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Sınıflar arasında, AMS kapsamındaki alt boyutların puanları arasında bir farklılık olup olmadığı ise Mann Whitney U testi ve Bağımsız örneklem t testi uygulanarak belirlenmiştir.

H_0 : Sınıflar açısından j . AMS alt boyutu puanları arasında anlamlı bir fark yoktur ($j = 1,2, \dots, 7$).

H_1 : Sınıflar açısından j . AMS alt boyutu puanları arasında anlamlı bir fark vardır ($j = 1,2, \dots, 7$).

Elde edilen sonuçlar Tablo 12’de verilmiştir. Sonuçlara göre, sınıflar açısından AMS alt boyut puanları kapsamında anlamlı bir farklılık yoktur ($p > 0,05$).

Tablo 12. Sınıflar arasında AMS kapsamındaki alt boyutların karşılaştırılması

(j) AMS boyutları (j = 1,2, ...,7)		Birinci sınıf (n = 207)		İkinci sınıf (n = 221)		Karşılaştırma (p değeri)
		Ortalama (Standart Sapma)	Normallik Testi (p değeri)	Ortalama (Standart Sapma)	Normallik Testi (p değeri)	
İçsel motivasyon	(1) İMBİ	18,05 (5,17)	0,074	18,43 (4,75)	0,019	0,589 ¹
	(2) İMBA	16,58 (4,48)	0,051	16,49 (4,04)	0,000	0,632 ¹
	(3) İMH	16,59 (5,04)	0,066	17,04 (4,57)	0,082	0,458 ²
Dışsal motivasyon	(4) DMT	18,36 (5,41)	0,000	18,41 (5,53)	0,014	0,769 ¹
	(5) DMKİ	16,91 (4,79)	0,001	16,14 (4,67)	0,000	0,101 ¹
	(6) DMD	18,04 (4,86)	0,200	17,51 (5,10)	0,059	0,270 ²
Motivasyonsuzluk	(7) MS	17,41 (4,86)	0,000	16,33 (4,65)	0,004	0,105 ¹

Cinsiyetler açısından, öznel iş yükü ile akademik motivasyon arasındaki ilişkinin araştırılmasında, normallik varsayımının sağlanması nedeniyle Pearson korelasyon katsayısı testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 13’de verilmektedir.

Tablo 13. Cinsiyetler açısından, öznel iş yükü ile akademik motivasyon boyutları arasındaki ilişki

Cinsiyet	Kız (n = 279)			Erkek (n = 149)		
	İM	DM	MS	İM	DM	MS
Öznel İş yükü	0,179* (0,003)	0,235* (0,000)	0,135** (0,024)	0,213* (0,009)	0,331* (0,000)	

* 0.01 anlamlılık derecesinde önemli

** 0.05 anlamlılık derecesinde önemli

Tablo 13 incelendiğinde, kızlar ve erkekler için öznel iş yükü ile içsel motivasyon ve dışsal motivasyon arasında pozitif yönlü zayıf bir ilişki olduğu söylenebilir. Erkekler için öznel iş yükü ile motivasyonsuzluk boyutu arasında ilişki tespit edilememişken, kızlar için pozitif yönlü zayıf bir ilişki tespit edilmiştir.

Sınıflar açısından, NASA TLX ölçeği boyutları ile AMS boyutları arasındaki ilişkinin araştırılmasında, normallik varsayımının sağlanması nedeniyle Pearson korelasyon katsayısı testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 14'te verilmektedir. Tablo 14'te, NASA TLX ölçeği boyutları ile AMS boyutları arasında ilişki tespit edilenler verilmiştir. Boş gözeler anlamlı bir ilişkinin olmadığı boyutları göstermektedir. Birinci sınıflar için; zaman baskısı ile dışsal motivasyon arasında, başarısızlık hissi ile motivasyonsuzluk arasında, öznel iş yükü ile dışsal motivasyon arasında pozitif yönlü, zayıf bir ilişki vardır. Kızlar içinse; öznel iş yükü ile AMS'in tüm boyutları arasında pozitif yönlü, zayıf bir ilişki tespit edilmiştir.

Tablo 14. Sınıflar açısından, öznel iş yükü ile akademik motivasyon boyutları arasındaki ilişki

Sınıflar	Birinci sınıf (n = 207)			İkinci sınıf (n = 221)		
	İM	DM	MS	İM	DM	MS
AMS Boyutları						
Zaman baskısı		0,150* (0,031)				
Başarısızlık hissi			0,500** (0,031)			
Öznel iş yükü		0,268* (0,000)		0,251* (0,000)	0,278* (0,000)	0,222* (0,001)

* 0.01 anlamlılık derecesinde önemli

** 0.05 anlamlılık derecesinde önemli

Tablo 14'te, öznel iş yükünün zaman baskısı ve başarısızlık hissi dışında kalan diğer dört boyutuyla AMS'nin alt boyutları arasında istatistiksel açıdan herhangi bir ilişki bulunamadığı için söz konusu boyutlar tabloda yer almamaktadır. Bu nedenle sadece, AMS'nin herhangi bir alt boyutuyla en az bir ilişki derecesi elde edilebilen öznel iş yükü boyutları tabloda yer almaktadır.

5. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada, bir vakıf üniversitesinin SHMYO'nun 10 farklı bölümünde okuyan öğrencilerin akademik motivasyon düzeyleri, öznel iş yükü düzeyleri, cinsiyet ve sınıf bazında farklılaşmaların olup olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, öznel iş yükü düzeyi ile akademik motivasyon düzeyi arasında bir ilişki olup olmadığı da araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, farklı cinsiyet grupları için, öğrencilerin öznel iş yükleri arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Zihinsel gereklilik, fiziksel gereklilik, performans ve çaba boyutları için, birinci sınıf ve ikinci sınıflar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, öğrencilerin yaşlarının öznel iş yükü üzerinde bir etkisi olmadığı görülmüştür. Öğrencinin hangi sınıfta olduğunun da, akademik motivasyon düzeyi üzerinde bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Farklı cinsiyetler için dışsal motivasyonun tanınma alt boyutu haricinde, akademik motivasyon düzeyleri arasında anlamlı bir fark tespit edilememiştir. Öznel iş yükü ile akademik motivasyon düzeyleri arasındaki ilişki incelendiğinde ise, farklı cinsiyetler için öznel iş yükü ile akademik motivasyon düzeyleri arasında güçlü olmayan bir ilişki mevcuttur. (Erkekler için öznel iş yükü ve motivasyonsuzluk düzeyi arasındaki ilişki hariç) Birinci sınıflar için, zaman baskısı ile dışsal motivasyon arasında, başarısızlık hissi ile motivasyonsuzluk arasında ve öznel iş yükü ile dışsal motivasyon arasında güçlü olmayan bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. İkinci sınıflar için ise, öznel iş yükü ile akademik motivasyon düzeyleri arasında güçlü olmayan bir ilişkinin olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma, SMYO öğrencileri açısından akademik motivasyon ve öznel iş yükünün değerlendirildiği ilk çalışma özelliğini taşımaktadır. Bununla birlikte, akademik motivasyon ve öznel iş yükü arasındaki ilişki, cinsiyet ve sınıf bazında farklılıkların olup olmadığı da araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, genel anlamda SMYO öğrencilerinin öznel iş yükünün çaba boyutunda en fazla zorlandıkları, başarısızlık hissi boyutunda ise en düşük zorluk seviyesini yaşadıkları belirlenmiştir. Çaba boyutunda ortaya çıkan bu sonucun, aldıkları eğitimin uygulama ağırlıklı olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Başarısızlık hissi boyutu için elde edilen sonuç ise, öğrencilerin kendilerine güven düzeylerinin yüksek olduğunu göstermektedir.

SMYO öğrencilerinin akademik motivasyon düzeyini ölçmek için kullanılan AMS sonuçlarına göre, dışsal motivasyon boyutunun tanınma alt boyutunda yüksek, kendini ispat alt boyutunda en düşük puanlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara

göre, öğrencilerin kendilerini gerçekleştirme arzularının yüksek olduğu yani mesleklerinde iyi olmayı hedefledikleri söylenebilir. Ancak kendini ispat boyutunda yaşanan düşüklük, öğrencilerin bu konuda bir gayret içerisine girmek istemediklerini belirtmektedir. Özetle öğrenciler, mesleklerini en iyi şekilde icra edip herhangi bir rekabet ortamına girmek istememektedirler. Bu durumun, SMYO'dan mezun olacak olan öğrencilerin çoğunluğunun bir şekilde sağlık kurumlarında istihdam edilebilmeleri ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. AMS'nin üç ana boyutu değerlendirildiğinde ise, en düşük düzeyin motivasyonsuzlukta olduğu saptanmıştır. Buradan, öğrencilerin eğitim süreçlerinde yüksek motivasyona sahip oldukları düşünülmektedir. Yine bu durumun, iş garantisi ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Pelin Toktaş, araştırma için gerekli istatistiksel testlerin uygulanması; Gülin Feryal Can, bilimsel yayın araştırması, test sonuçlarının yorumlanması; Aysel Güven, ilgili anketin uygulanarak gerekli verilerin toplanması konularında katkı sağlamışlardır.

Teşekkür

İstatistiksel yazılımın, yazarların kullanımı için kurulum işlemlerini gerçekleştiren Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi teknisyenleri Burak Kar ve Ömer Bekteş'e teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akar, H., Aydın, S. (2016). Öğretim elemanlarının mesleki yeterliklerini gerçekleştirme düzeyleri ile öğrencilerin akademik motivasyonu arasındaki ilişki. *Journal of International Social Research*. 9(43). http://www.academia.edu/download/44933619/akar_huseyin.pdf Erişim tarihi: 28.12.2020.

Akyeampong, J., Udoka, S., Caruso, G., Bordegoni, M. (2014). Evaluation of hydraulic excavator Human–Machine Interface concepts using NASA TLX. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 44(3), 374-382. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.12.002>

Calp, Ş., Bacanlı, H. (2016). Algılanan akademik yeterlik ve özerklik desteğinin özerk akademik motivasyon ve akademik başarıyla ilişkisi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*. 1(40). <https://pdfs.semanticscholar.org/50a3/efc6fe69961d22bd356b6b70a7d81760a710.pdf> Erişim tarihi: 28.12.2020.

Deci, E.L., (1975). *Intrinsic motivation*. New York: Plenum. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-4446-9>

Deci, E.L., Ryan, R.M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York: Plenum. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2271-7>

Deci, E.L., Ryan, R.M., (2000). The “what” and “why” of goal pursuits: human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*. 11, 227-268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

Delice, E.K., (2016). Acil servis hekimlerinin nasa-rtlx yöntemi ile zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesi: bir uygulama çalışması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. 30(3), 645-662. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=117029458&site=ehost-live> Erişim tarihi: 28.12.2020.

Direktör, C., Nuri, C., (2017). Benlik saygısının akademik motivasyon üzerindeki etkisi: Otomatik düşüncenin aracı rolü. *Yaşam Becerileri Psikoloji Dergisi*, 1(1), 66-75. <https://doi.org/10.31461/ybpd.316130>

Fatima, S., Sharif, H., Zimet, G. (2018). Personal and Social Resources Interplay Synergistically to Enhance Academic Motivation. *International Journal of Educational Psychology*, 7(2), 196-226. <http://dx.doi.org/10.17583/ijep.2018.3017>

- Galy, E., Paxion, J., Berthelon, C. (2018). Measuring mental workload with the NASA-TLX needs to examine each dimension rather than relying on the global score: an example with driving. *Ergonomics*. 61(4), 517-527. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1369583>
- Gholizadeh, M., Shehni Yailagh, M., Allipour Biregani, S., Hajiyakhchali, A. (2019). A latent growth curve model of academic motivation and academic self-efficacy of Shahid Chamran University students. *International Journal of Psychology (IPA)*, 13(1), 157-182. <https://dx.doi.org/10.24200/ijpb.2018.115517>
- Gömleksiz, M.N., Serhatlioğlu, B. (2014). Öğretmen adaylarının akademik motivasyon düzeylerine ilişkin görüşleri. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 173(173), 99-128. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=7a0695a9-c2c7-4d08-961e-205b93353f3b%40sdc-v-sessmgr02> Erişim tarihi: 28.12.2020.
- Hart, S.G., Staveland, L.E. (1986). NASA task load index (TLX). *Human Performance Res. Grp. NASA Ames Res. Center, Moffett Field, CA, USA, Computerized Version v1. 0.* <https://ntrs.nasa.gov/citations/20000021488> Erişim tarihi: 28.12.2020.
- Hart, S.G., Staveland LE (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*. 52, 139-183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Islam MN, Chakrabarty, S., “A Study of the Relationship between Familial Factors and Academic Motivation and Achievement in High School Students”, *Psychological Studies*, 1-10, (2019). <https://doi.org/10.1007/s12646-019-00500-7>
- Javaeed, A., Asghar, A., Allawat, Z., Haider, Q., Mustafa, K. J., Ghauri, S.K. (2019). Assessment of Academic Motivation Level of Undergraduate Medical Students of Azad Kashmir, Pakistan. *Cureus*, 11(3). <https://dx.doi.org/10.7759%2Fcureus.4296>
- Kahya, E., Özkan, N.F., Ulutaş, B.H. (2018). Beyin bilgisayar ara yüzü kullanımının bilişsel yüklenme açısından değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1-24. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=aa338609-7137-4bde-8929-488e06cba197%40sdc-v-sessmgr03> Erişim tarihi: 28.12.2020.
- Karadağ, M., Cankul, İ.H. (2015). Hekimlerde Zihinsel İş Yükü Değerlendirmesi. *The Journal of Academic Social Science Studies*. 35, 361-370. <https://doi.org/10.17049/ahsbd.46804>
- Karagüven, M.H. (2012). Akademik motivasyon ölçeğinin Türkçeye adaptasyonu. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*. 12(4), 2599-2620. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/223140> Erişim tarihi: 28.12.2020.
- Köybaşı, F. (2017). Öğretmen adaylarının bireysel değer yönelimleri ile akademik motivasyonları arasındaki ilişkinin incelenmesi. *İnönü Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(6), 34-44. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/inujse/issue/27483/296293> Erişim tarihi: 28.12.2020.
- Lai, A.H.Y., Chui, C.H.K., Wong, K.Y., Chan, C.L.W. (2019). Academic motivations of Yi youths in China: Classmate support and ethnic identity. *The Journal of Educational Research*, 112(4), 550-563. <https://doi.org/10.1080/00220671.2019.1602820>
- Lowndes, B.R., Forsyth, K.L., Blocker, R.C., Dean, P.G., Truty, M.J., Heller, S.F., Nelson, H. (2018). “NASA-TLX Assessment of Surgeon Workload Variation Across Specialties. *Annals of surgery*. doi: 10.1097/SLA.0000000000003058 https://journals.lww.com/annalsofsurgery/Fulltext/2020/04000/NASA_TLX_Assessment_of_Surgeon_Workload_Variation.16.aspx Erişim tarihi: 28.12.2020.
- Malekpour, F., Malekpour, A.R., Mohammadian, Y., Mohammadpour, Y., Shakarami, A., Sheikh Ahmadi, A. (2014). Assessment of mental workload in nursing by using NASA-TLX. *The Journal of Urmia Nursing and Midwifery Faculty*. 11(11), 892-899. <http://unmf.umsu.ac.ir/article-1-1699-en.html> Erişim tarihi: 28.12.2020.

Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D. (2018). Comparison of NASA-TLX scale, Modified Cooper-Harper scale and mean inter-beat interval as measures of pilot mental workload during simulated flight tasks. *Ergonomics*, (just-accepted). 1-22. <https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1471159>

Mantasiah, R., (2018). Pay it forward model in foreign language learning to increase student's self efficacy and academic motivation. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1028, No. 1, p. 012178). IOP Publishing. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2018JPhCS1028a2178M/doi:10.1088/1742-6596/1028/1/012178 Erişim tarihi: 28.12.2020.

NASA Technical Reports Server (NTRS) web sayfası <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20160008388.pdf> , (2019). Erişim tarihi: 28.12.2020.

Nayir, Ö.Y., Tekmen, B. (2017). Öğretmen Adaylarının Gözüyle Öğrenme Ortamlarının Akademik Motivasyon ve Problem Çözme Becerisine Katkısının İncelenmesi. *Başkent University Journal of Education*. 4(2), 122-135. <http://buje.baskent.edu.tr/index.php/buje/article/view/80> Erişim tarihi: 28.12.2020.

Nguyen, Q.N., Van Nguyen, L. (2019). Assessing the construct validity and reliability of the Academic Motivation Scale in the Vietnamese context. *Current Issues in Personality Psychology*. 7(1), 64-79. <https://doi.org/10.5114/cipp.2019.82752>

Önal, N. (2017). Artırılmış Gerçeklik Eğitim Uygulamaları İlköğretim Matematik Öğretmen Adaylarının Akademik Motivasyonlarını Etkiler mi?. *Itobiad: Journal of the Human & Social Science Researches*, 6(5). <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=6a85959c-0bfc-48e2-baa8-8dd0610e55f7%40sdc-v-sessmgr03> Erişim tarihi: 28.12.2020.

Özdemir, Y. (2015). Ortaokul öğrencilerinde okul tükenmişliği: Ödev, okula bağlılık ve akademik motivasyonun rolü. *Adnan Menderes Üniversitesi Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 6(1), 27-35. <https://dergipark.org.tr/en/pub/aduefebder/issue/33899/375282> Erişim tarihi: 28.12.2020.

Paxion, J., Galy, E., Berthelon, C. (2016, June). Subjective and objective workload: different impacts on driving performance due to situation complexity and experience. In XXVIIIth Annual International Occupational Ergonomics and Safety Conference. <http://www.iso.es/2016/Papers/Paxion.pdf> Erişim tarihi: 28.12.2020.

Poteliūnienė, S. (2018). First-Year Pre-Service Physical Education Teachers' Academic Motivation and Their Satisfaction with Academic Studies. *Pedagogika*. 129(1). <http://dx.doi.org/10.15823/p.2018.16>

Puspawardhani, E.H., Suryoputro, M.R., Sari, A.D., Kurnia, R.D., Purnomo, H. (2016). Mental workload analysis using NASA-TLX method between various level of work in plastic injection division of manufacturing company. In *Advances in Safety Management and Human Factors*. (311-319). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41929-9_29

Sıcak, A., Başören, M., (2015). Ortaöğretim öğrencilerinin akademik motivasyonlarının çeşitli değişkenler açısından incelenmesi (Bartın örneği). *Bartın Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*. 4(2), 548-560. <https://doi.org/10.14686/buefad.v4i2.1082000239>

Silva, P.D.C., Sicilia, Á., Burgueño, R., Lirola, M.J. (2018). Academic motivation in the initial training of physical education teachers. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 18(71). <https://doi.org/10.15366/rimcafd2018.71.009>

Şeker, A. (2014). Using outputs of NASA-TLX for building a mental workload expert system. *Gazi University Journal of Science*. 27(4), 1131-1142. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/83663> Erişim tarihi: 28.12.2020.

Terlemez, B., Şahin, D., Dilek, F. (2015). Namık Kemal Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Akademik Motivasyon Düzeyleri. *Pamukkale Journal of Eurasian Socioeconomic Studies*. 2(2), 67-78. <https://doi.org/10.5505/pjess.2015.09797>

- Tubbs-Cooley, H.L., Mara, C.A., Carle, A.C., Gurses, A.P. (2018). The NASA Task Load Index as a measure of overall workload among neonatal, paediatric and adult intensive care nurses. *Intensive and Critical Care Nursing*, 46, 64-69. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2018.01.004>
- Vallerand. R.J., Pelletier, L.G., Blais, M.R., Brière, N.M., Senécal, C., Vallières, E.F. (1992). The academic motivation scale: a measure of intrinsic, extrinsic, and amotivation in education. *Educational and Psychological Measurement*, 52, 1003-1017. <https://doi.org/10.1177%2F0013164492052004025>
- Weiner, J.S. (1982). The measurement of human workload given at the University of Sussex, Brighton, Sussex, England, on 30 March. *Ergonomics*, 25(11), 953-965. <https://doi.org/10.1080/00140138208925057>
- Yangınlar, G. (2019). Lojistik öğrencilerinin akademik motivasyonları ile mesleki kaygıları arasındaki ilişkinin incelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(35), 273-293. <http://hdl.handle.net/11467/2676>
Erişim tarihi: 28.12.2020.
- Yusri, Y., Mantasiah, R., Jufri, J. (2018). The Use Of Two Stay Two Stray Model in English Teaching to Increase Student's Learning Outcome. *Journal of Advanced English Studies*, 1(1), 39-43. <http://sastra.unifa.ac.id/journal/index.php/jes/article/view/12> Erişim tarihi: 28.12.2020.
- Zembat, R., Akşın-Yavuz, E., Tuñçeli, H.İ., Yılmaz, H. (2018). Öğretmenlik Mesleğine Yönelik Tutum ile Akademik Motivasyon ve Başarı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Journal of Theoretical Educational Science/Kuramsal Eğitimbilim Dergisi*, 11(4). <http://dx.doi.org/10.30831/akukeg.351404>
- Zheng, Y., Jie, Y. (2019). Study of NASA-TLX and Eye Blink Rates Both in Flight Simulator and Flight Test. *International Conference on Human-Computer Interaction*. (pp. 353-360). Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-22507-0_28 Erişim tarihi: 28.12.2020.



Journal of Turkish Operations Management

Demir Çelik Sektöründe Yatırım Kararının Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ile Analizi

Burcu ÖZCAN¹, Elif YILMAZER^{2*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye
e-mail: burcu.ozcan@kocaeli.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-0820-4238>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye
e-mail: yilmazer.eliff@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-7018-451X>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 28.09.2020
Revize: 08.11.2020
Kabul: 16.11.2020

Anahtar Kelimeler:

AHP,
Demir çelik sektörü,
Yatırım analizi

Özet

İşletmeler açısından en uygun yatırım seçeneğinin belirlenmesi bir karar problemi olarak ciddi bir önem taşımaktadır. Yatırım alternatifinin seçilmesi için sorunu çok sayıda etkileyen kriterlerden kaynaklı olarak yatırım seçimi yapmak çok zor bir durum haline gelmektedir. Özellikle de yatırım kararında eğer bir satın alma gibi bir durum söz konusu ise yatırım alternatifi seçilirken çok daha dikkatli olunması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı Türkiye’de ve Dünya’da lokomotif sektör özelliğine sahip olan Demir Çelik Sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede optimal yatırım seçeneğinin seçilmesini sağlamaktır. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak en uygun alternatif seçilmeye çalışılmıştır.

Analysis of Investment Decision in Iron and Steel Sector with Analytical Hierarchy Method (AHP)

Article Info

Article History:

Received: 28.09.2020
Revised: 08.11.2020
Accepted: 16.11.2020

Keywords:

AHP,
Iron steel industry,
Investment analysis

Abstract

Determining the most suitable investment option for businesses is of great importance as a decision problem. It is very difficult to choose an investment alternative due to the criteria that affect the problem in a large number. Especially if there is a situation such as a purchase in the investment decision, it is necessary to be more careful when choosing an investment alternative. The aim of this study is to ensure the selection of the optimal investment option in an enterprise operating in the Iron and Steel Industry. In order to achieve this goal, it was tried to select the most suitable alternative by using Analytical Hierarchy Process, which is one of the Multiple Criteria Decision Making techniques.

1. Giriş

Karar verme hali, bireyin yaşamınınbütün sürecindedevamlı karşı karşıya kaldığı bir olgudur. Zorlu bir süreç olarak karşımıza çıkan karar verme durumu, karar vericilerin belli başlı riskler ve belirsizlikler ile karşı karşıyaykenoptimal olan alternatifin seçilmesinigerektirmektedir (Gençer ve Selçuk, 2019). Gelişen teknoloji ile birlikte birçok firmada karar süreci, bilginin bir araya getirilmesi ve analizi için yoğun bir çaba ve süreci beraberinde getirir. Analizler den elde edilen değerler bir hedefe ulaşmak için sezgisel biçimde incelenmektedir. Yapılan irdelemeler, birçok günlük kararın önseziye bağlı olarak verilmesinin kâfi olmasına karşın, karışık ve mutlak derecede önemli kararlar için sadece bu yöntemin yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Modern karar destek yöntemlerini uygulayan firmalar, küreselleşen iş bağlantılarına liderlik yapmakla birlikte ve bu bağlantılar ağına başkanlık ediyor rekabet konusundakazanç sağlayabilmektedirler. Son yıllarda yükselen modern karar destek metotlarından bir tanesi de Analitik Hiyerarşi Yöntemidir. Analitik Hiyerarşi Yönteminin en önemli özelliği olarak subjektif ve objektif bir şekilde karar verme sürecine rahatlıkla dahil olabilmesidir (Uzun ve Kazan, 2016).

Ekonomik sistemin bir parçası olan kurumsal ve ya kurumsal olmayan işletmeler varlıklarını sürdürürebilmek için zorlu bir rekabetin içinde yer almaktadırlar. Bu rekabet içinden başarılı bir şekilde çıkabilmek gelişen teknolojiye ayak uydurma koşulunu beraberinde getirmektedir.Karar verici karar verirken tüm teknolojik gelişimleri, ekonomik dalgalanmaları göz önüne alarak hareket etmek durumundadır.

Teknolojinin gelişmesi, müşteri talep ve beklentilerinin artması ve aynı zaman da değişime uğraması kurumsal ve ya kurumsal olmayan firmalarda var olan üretim kapasitelerini artırma ve ya ürün skalasını genişletme ihtiyacını uyandırmaktadır. Ancak ekonomik koşullar göz önüne alınarak hem uygun maliyetli bir yatırım gerekmekte hem de yapılan yatırım dan maksimum seviye de verimlilik sağlamak istenilmektedir.

Hızla değişen rekabet ortamında firmaların doğru kararlar verebilmesi için ileriye görebilmeleri gerekmektedir. Firma elinde ki bütün alternatifleri değerlendirmek ve kendisi için en uygun kararı vermek zorundadır.

Çalışmada incelenen demir çelik sektörü ülke ekonomisi için oldukça büyük bir paya sahiptir.Sağlamlığı, güvenilirliği, geniş tüketim çevresi, çevreye karşı duyarlı olması ve birden fazlateknik avantajı ile ileri toplum hayatının vazgeçilmez bir üyesi olan demir ve çelik, geçmiş yıllardan bu güne, sanayileşmenin ilk basamağını ve yükselişin destekleyici kuvvetini ortaya çıkaran stratejik malzemelerdir. Demir çelik sektörü uygulama çevresini ve üretim teknolojilerini iyileştirerek varlığını durmaksızın yenileyen, küreselleşen yeni dünya ilerleyişine adını yazdıran en kuvvetli sektörlerden biri olarak görülmektedir. Sektörün inşaat, otomotiv ve demiryolu başta olmak üzere tüm ürün eşya üretimine direkt etkisi bulunmaktadır. Özellikle altyapı problemlerinin daha çözülemediği gelişmeye devam eden ülkelerde demir çelik sektörü ayrı bir öneme sahiptir (Ersöz vd. 2015).

Demir çelik fabrikaları için günlük üretim tonajı, bir ocakta kaç işçinin çalıştığı, ocağın ne kadar hammadde kullanılarak üretim yaptığı önemli ayrıntılardır. Bütün demir çelik fabrikaları gün sonunda en fazla tonajda üretimin yapılmasını beklemektedir. Ortaya çıkarılan çıktıların çeşitliliği baz alınarak ise klasik endüstrinin ile birlikte teknolojik departmanlarda da Demir - Çelik sektörünün ciddiyetigün geçtikçe fazlalaşmakta olduğu görülmektedir. Demir - Çelik imalatında ortaya çıkan hızlı iyileşmelerin bir sonucu olarak sanayi devrimi gerçekleşmiş ve teknoloji alanında ciddi iyileşmeler gerçekleşmiştir (Ersöz vd. 2015). Tüm bu gelişmelerin etkisiyle kişiler ve ya kurumlar yeni yatırımlar yapma kararı almaya yönelebilmektedir.

Küreselleşmenin getirisi olan uluslararası yarışın giderek artması, şirketlerin yalnızca kendi ulusal pazarları ile için değil, uluslararası pazarlar içinde ürün üretmeleri mecburi bir durum haline gelmiştir. Ekonomik olarak sınırların kalkmış olması ile ulusal kalkınmanın gerçekleşebilmesi için, yapılabilecek stratejik yatırımlar ve ek olarak üzerinde incelleme düşünülmüş ve hazırlanmış projelerin ortaya çıkarılması ile ulusal kalkınmaya destek olunmaktadır (Gedik ve diğ., 2005).

Yatırım projesi, belirlenmiş olan amaca erişmek için sınırlı kaynaklar ve sınırlı zaman sürecinde belli maliyetler bazında ilgili kaynaklar harcanarak, tamamlanması amaçlanan hedef ve işlerin tamamıdır. Şirketlerin yeni tesis oluşturmaları, kapasitede artışına gitmeleri, yeni donanım satın almaları, en uygun kaynak kullanım ihtiyaçları ve yeni teknolojileri süreçlerine dahil etme çalışmaları yatırım projelerinin içeriğindedir (Çımar vd. 2020).

“Yatırım” kavramı hem toplumsal manada hem de ekonomik sıfat olarak çeşitli manalar barındıran bir terimdir. Temel işleyiş çevresi ekonomi olduğu halde çeşitli anlamlarda da kullanılabilir. Yatırım, kaynağın tüketime harcanmadan biriktirilerek ilerleyen dönemlerde elde edilecek karı kesinleştirmek için kullanılmasıdır. Farklı bir tanımla yatırım; ilerleyen zamanlarda elde edilmesi beklenen karın devamlılığını sağlamak amacı ile sermayenin yönlendirilmesi ve belirli bir alanda kullanılmasıdır. Yatırım sadece sermayenin yönlendirilmesi sonucu maddi kar sağlamak için yapılan bir eylem değildir, yatırım bir makam, rütbe, mevki kazanmak amacıyla

da yapılmaktadır. Kişilerin emek ve enerjilerini belirli bir alana başarı sağlayabilmek için yönlendirmesinde bir yatırım örneğidir. Kazanç odaklı bir harekettir (Dağ ve Çelik, 2018).

Ekonomik değişkenlerin kar hedefi kapsamında herhangi bir tarafa yönlendirilmesi ve bu hedef yolunda tüketilmek amacıyla değerlendirilmesi olarak “yatırım” terimini açıklayabiliriz. Bireyin sermayesini faiz karşılığın da bankaya nakil etmesi, tahvil satın alması, herhangi bir ortaklık, gayrimenkul satın alınması, ürün kapasitesini genişletecek ve ya ürün kalitesini artıracak makineler alması yani nakdi değerlerin tesis mallarına dönüşümü olarak nitelendirilir (Çevik ve Gökşen, 2016).

Yatırım harcamaları, ülke ekonomisinde üretim ve istihdam sağlayan en önemli kalemdir ve tüketim kavramları ile birleştirildiğinde milli geliri belirlediği için önem taşımaktadır (Elbir ve Kandır, 2017).

Çok amaçlı karar verme yöntemleri ile Ülkemiz ve diğer diğer ülkeler için gelişmişliğin sembolü konumunda olan demir çelik sektörü ele alınarak bu sektörde bir karar vericiye en doğru kararı vermesine çalışılmıştır.

Literatür araştırmalarından da anlaşıldığı üzere yatırım kararının verilmesi önemli bir konudur. Sayısal ya da sayısal olmayan çok sayıda kriter yatırım kararını şekillendirmektedir. Bu kararın bilimsel yöntem ile desteklenmesi önem arz eder. Çok amaçlı karar verme yöntemlerinden en çok bilinen ve karmaşık problemlerde hiyerarşik yapısı ile modellemeye olanak veren Analitik hiyerarşi yöntemidir. Yine Literatürde farklı alanlarda da AHP tekniği karar verme problemlerinde karar vericilere en iyi alternatifini seçme konusunda yardımcıdır (Ozcan vd. 2018). Bu çalışmada Türkiye’de aktif olarak üretimine devam eden bir demir-çelik fabrikasının yatırım kararının birçok amaçlı karar verme yöntemi olan AHP yöntemiyle yatırım alternatifleri kriterler ve alt kriterler altında değerlendirilerek optimize edilmeye çalışılmıştır. Yatırım harcamalarının önem kazandığı günümüzde alternatifler arasından en uygun olanı bilimsel yöntem ile seçilmiştir. AHP yönteminin ayrıca gerek mühendislik, yönetim, ekonomi, sosyal konular, uygulamaları bulunmaktadır (Yuksel ve Çetin,2018;Gunesli vd,2017;Karabıcak vd,2016)

Makalenin ilk bölümünde Türkiye’de ki demir çelik sektörünün yapısına ve işleyişine yer verilmiştir. İkinci ve üçüncü bölümünde çok amaçlı karar verme konusu, Analitik Hiyerarşi Prosesi ile yöntemin adımları bulunmaktadır. Ayrıntılı bir şekilde sunumuna ve çözümüne yer verilmiştir.

1. Türkiye’de Demir Çelik Sektörünün Yapısı

Demir cevherinin entegre kuruluşlarda ya da elektrik ark ocaklarında eritilmesi ile başlayan çelik üretim çeşitleri yassı ve uzun olarak iki temel grupta değerlendirilir. Fakat asıl çelik ürünleri sayılamayacak çeşitte kullanım alanına sahiptir. Değişen müşteri talepleri, teknolojiye gerçekleşen ilerlemeler ve rekabet gibi durumlar demir çelik sektöründeki ürün çeşitliği skalasını genişletmektedir. Ağır sanayi alanlarının başta gelen sektörlerinden olan demir çelik yapıları inşaat, altyapı, otomotiv, beyaz eşya ve makine endüstrisi benzeri birçok önde gelen endüstrinin hammadde ihtiyacını karşılamaktadır. Buna bağlı olarak bir ülkenin sanayileşmesi güvenilir bir demir çelik endüstrisini ve talebini elinde bulundurmasıyla direkt alakalıdır (Yaşar, 2009).Demir çelik sektörü bütün dünyada olduğu gibi Türkiye’de de ekonomi ve sanayileşme konusunda öncülük etmektedir. Sektör, çelik ürünlerin tüketim ortamlarının gün geçtikçe daha geniş kitlelere yayılması, kullanımının artış olması imalat sanayine ara maddeimal edilmesi ve dışarıyasatış potansiyeli gibi niteliklerinden kaynaklı olarak ülke ve dünya ekonomisi bakımındanciddi bir önem arz etmektedir (Ersöz vd. 2015).

Türkiye’de ilk demir çelik sanayi işletmesi çalışmalarına 1925 tarihinde Kırıkkale’de Askeri Fabrikalar Müdürlüğü’ne bağlı başlatılmıştır. 50.000 ton üretim kapasitesine sahip olan bu fabrika, bütün takım çelikleri, makine yapı çelikleri ve az miktarda inşaat demirleri imal etmeye yönelmiştir. Demir çelik endüstrisinin ana alt yapısı da bu yıllarda ortaya çıkmıştır (Öztürk ve Fındık 2012).

Demir çelik sektörü Türkiye ekonomisinde ve sanayileşmesinde önde gelen sektör konumundadır. Demir çelik endüstrisindegerçekleşenilerlemeler ile yükselme süreci arasındaki ikili ilişkiye bakıldığında ekonominin demir çelikle alakalı alt sektörlerinin ilerlemesinde demir çelik ürünleri ciddi bir görev almaktadır. Bu sektörün önemibaşlıcabütün endüstriyel alanlar içinhammadde sağlamasından kaynaklanmaktadır. Demir çelik sektörünün inşaat demirleri vb. ile birlikte otomotiv, gemi, uçak, demiryolu ve vagon gibi bütüntaşıma işleri yapan araçları ve düşünülebilecek bütün makine, cihaz ve eşya üretimine desteği büyüktür (T.C. Demir-çelik sektörü raporu).

Demir-Çelik endüstrisi Türkiye ekonomisi için hem dış ticaret açığının kapatılması hem de istihdam açısındanbüyük bir öneme sahiptir. Demir-Çelik Türkiye’nin dünya ölçeğinde rekabet gücüne sahip olduğu önemli bir endüstri koludur.

Küreselleşme süreci, ülkeler arasındaki sınırların kalkması ile birlikte uluslararası rekabet gücü önem kazanmaya başlamış ve Türkiye Demir Çelik sektörü sürekli gelişim gösterip büyüyen bir sektör haline gelmiştir. Türkiye 2000 Yılında 14,3 milyon ton üretim ile 17. sırada olmasına karşın, 2012 yılında 35,9 milyon ton üretim ile dünyada en çok çelik üreten 8. ülke konumuna yükselmiştir. Günümüz koşullarında ticaret sınırlarında ki

genişlemeler sayesinde ülkelerin kendi topraklarında ürettikleri ürünler kendi tüketicileri ile sınırlı kalmayıp diğer ülkelere pazarlanabilir bir noktaya gelmiştir. Rekabet, artık küresel bir olgu olup, ölçek ekonomisi, maliyet, hız, teslimat vb. öğeler teknoloji sayesinde, ticareti geliştirmektedir. Teknolojiyi en iyi kullanan ülkeler, şirketler, rekabet ve ticarete yön vermektedirler. Dünya Ekonomi Forumu tarafından Ekim 2019'da açıklanan Küresel Rekabet Endeksi 4.0 verilerine göre Türkiye 62,1/100 puan ile 141 ülke arasında 61. sırada yer almaktadır. (Serin ve Fidan, 2019)

Günümüzde demir-çelik sektörlerinde imalat, yüksek firm odaklı imalat yapan bütünleşmiş işletmeler ve elektrik ark ocaklı işletmeler tarafından yapılmaktadır. Hurdanın ederindeki yükselişin ve bütünleşmiş işletmelerin hammaddesi olarak tanımlanan cevher ederlerindeki inişin sonrasında hurda ile cevher ederleri arasındaki farkın artmasının etkisiyle elektrik ark ocaklı işletmelerin ham çelik imalatı 2015 yılında %13.8 düşüşle 20.48 milyon tona gerilerken, bütünleşmiş işletmelerin ham çelik imalatı %7.3 artışla 11.03 milyon tona yükselmiştir. (Çivi ve Erçay, 2020)

1. Çok Amaçlı Karar Verme Nedir?

Günümüzde faaliyetlerin gördüğü ilgiye göre kıyaslanmaları, ürünün uygun olup olmadığına karar verilmesi ya da karar problemlerinde optimal çözümlerin saptanabilmesi çoğu zaman tek bir kriter veya amaç kullanarak çözülemez bir noktaya geldiği için çok amaçlı karar verme yöntemini kullanmak kaçınılmaz bir son olmaktadır (Kocakaya, 2019).

Karar verme, problemi çözümü ve çevrenin vermiş olduğu imkanları açıklama anlama sürecidir. Problem hedefe giden yolda karşılaşılan bir engeli ifade etmektedir. Karar verme sürecinde de bu problemin ortadan kaldırılması için bir çözüm yolu bulunur (Emhan, 2007).

Çok amaçlı karar verme (ÇAKV) aşaması, kriterler göz önüne alınarak amaçlara erişmede en uygun karar seçeneğinin belirlenmesini hedeflemektedir. Birçok karar problemi bir amacın minimize edilmesinden ve maksimize edilmesinden ziyade birbiriyle çelişen amaçların optimizasyonunu barındırmaktadır. Hedefe ulaşılacak yolda farklı kriterlerin ve bu kriterlere bağlı alternatiflerin olması ortaya problem çıkartmaktadır. Karar vericiler, birbiri ile çatışan amaçları aynı konuma getirecek uzlaştırıcı bir sonuç bulmaya çalışmaktadır. Çok amaçlı karar verme problemlerinde ilk adım, amaca ve ya amaçlara ulaşılmasına yardımcı olacak kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesidir. Belirlenen bu kriter ve alternatiflerin ikili karşılaştırmaları yapılarak önem dereceleri belirlenir. Yager tarafından geliştirilen çok amaçlı karar verme yönteminde seçeneklerin amaçlarına kadaryansıtığı ve derecelendirilmiş tüm amaçların tek bir karar fonksiyonu bazında nasıl bir araya getirebileceği anlatılmaktadır (Aplak ve Türkbey, 2013).

Yöneticilerin alacakları kararlar için yanlış olmayan ve güvenilir varsayımlara ihtiyaçları vardır. Kararı alırken bilimsel kriterlere öncelik vermek her işte olduğu gibi karar verme sürecinde de çok büyük bir öneme sahiptir. Karar verme problemi en objektif kapsamda; bir alternatif grubundan en az bir hedef veya kritere göre en olumlu alternatifin seçimi olarak açıklanabilir. Buna bağlı olarak bir karar probleminin üyeleri karar verecek kişi, seçenekler, ölçütler, sonuçlar, çevre ve karar verecek kişinin önceliklerinden meydana gelir. Buna bakılarak karar verme sürecini bir amaç veya kritere göre var olan alternatifler arasından seçim yapmak olarak tanımlamak mümkündür. (Dağdeviren ve Eren 2001)

Bir karar verici, çok kriterli karar verirken sayılabilir sonlu veya sayılamaz sayıda alternatiften meydana gelen grup içerisinde en az iki ölçüte bağlı incelemenin sonucunda bir seçim yapar. Çok kriterli karar verme Karar Bilimlerinin alt konusudur. ÇKKV, karar sürecini ölçütlere bağlı modelleme ve karar vericinin süreç tamamlandığında sahip olacağı avantajı maksimize edecek koşulda analiz etme sürecine dayanır. Bu yöntem insanların farklı kaynaklardan edindikleri çeşitli bilgileri beklenen düzeyde değerlendirmeye alamaması üzerine geliştirilmiştir. Karar verme basamaklarına bilimsel yöntemlerin eklenmesi sonuçların öznel fikirlerden ayrılmasını ve daha gerçekçi olmasını sağlamaktadır. Zaman sürecinde çeşitli karar alma sorunlarıyla yüzyüze gelen yöneticiler için güç olan kararlardan biri seçenekler kümesinin içerisinde en uygun alternatifin seçilmesidir. Bu seçim sürecinde birbiriyle çakışan, oldukça fazla miktarda ölçüt olduğu için geleneksel seçim süreçlerinin uygulanması güvenilir bir çözüm sunmamaktadır. Bu sebeple karar verme sürecinde en gerçekçi sonuçlara varabilmek için ÇKKV teknikleri günümüzde birden fazla çalışmada kullanılmaktadır (Memik, 2017).

Çok kriterli karar verme yöntemleri; nicel ve nitel kriterlere göre karar seçeneklerinin içinden en uygun olanının seçimiyle ilgilenebilir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin ilgilendiği problemler genelde alternatifler, kriterler ve her bir kriter için hesaplanan ağırlıklar olmak üzere üç ana bileşeni içermektedir. (Ömürbek ve Özcan, 2020)

Bu çalışmada Araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur

3. Analitik Hiyerarşi Proses

Analitik Hiyerarşi Prosesi 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından ortaya çıkarılan ölçme ve karar almak için kullanılan bir matematiksel teoridir. AHP literatürde sık sık araştırılmıştır ve son yıllarda çok ölçütlü karar verme konusunu içeren hemen hemen tüm uygulamalarda uygulanmıştır (Ecer ve Küçük 2008). AHP, birden fazla kriter içermekte olan karmaşık problemlerin çözülmesinde tercih edilen çok kriterli karar verme metodlarından biridir. AHP, karar vericilerin karmaşık problemlerini, ana amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki bağıntıya bağlı hiyerarşik bir yapıda modellemektir (Oğuzlar, 2007). AHP, yöntemi nitel ve nicel verilerin harmanlanarak yorumlanmasını sağlamaktadır. Yöntemi kullanan karar vericinin bilgisinin ve tecrübesinin yöntem üzerinde uygulanacak veriler kadar önemli olduğu koşuluna dayanır (Durdudiller 2006). Karar verme süreçlerinde bireylerin kendi düşüncelerini kullanma oranı günümüzde oldukça artmıştır. AHP ile karar vericilerin çeşitli psikolojik ve sosyolojik konulardaki fikirleri de göz önüne alarak kendi karar verme yeteneklerini tanımlarına olanak sağlanmıştır. Bu metotla karar vericilerin daha doğru ve etkili karar vermeleri hedeflenmiştir (Dağdeviren ve diğ., 2004). Bu süreç, karmaşık bir karar problemini çok kademeli bir hiyerarşik yapının oluşmasına neden olmaktadır. Karar hiyerarşisinin en başında temel amaç bulunmaktadır. Bir alt basamak, kararın kalitesine etki edecek kriterler den meydana gelmektedir. Kriterlerin başlıca amacı, etkileyebilecek özellikleri mevcutsa, hiyerarşiye başka aşamalar katılabilmektedir. Hiyerarşinin en aşağıda ki basamağı ise karar alternatiflerini içermektedir. Karar hiyerarşisinin oluşturulmasında basamak sayısı, sorunun karmaşıklığına ve detay derecesine bağlıdır. AHP'nin ana yararı, basitliği ve bu konuda ortaya konulmuş yazılımın geliştirilebilmiş olmasıdır (Kaya, 2019).

Bazı düşüncelere göre AHP, yapılması gereken işlemleri basitleştirerek ve daha kolaylıkla karşılaştırma yapılmasını sağlar. Bu nedenle AHP, karar vericilerin karşı karşıya kalabilecekleri çok ölçütlü durumlarda, muhakeme yeteneklerini kullanmalarına olanak tanır (Gündüz ve Güler, 2015).

3.1 Yöntemin adımları

Problemin Tanımlanması: Bu aşamada en önemli konu problemimizin bu tekniğe uygun olup olmadığının belirlenmesi ve karar vericinin hedefi istikametinde kriterlerin ve kriterlere ait olan alt kriterlerin saptanmasının ilk aşamasıdır (Dağdeviren ve diğ., 2004).

Kriterlerin Oluşturulması: Problemin amacından başlayarak orta seviyede ve alt seviyedeki kriterler ve en alt düzeydeki alternatifleri belirlemek. (Özcan ve Özyörük, 2008)

Hiyerarşinin Oluşturulması: Analitik hiyerarşi sürecinin karar hiyerarşisinin en başında hedef bulunmaktadır. Alt kademelerinde ise bu hedefi destekleyecek bu hedefi oluşturacak olan kriter ve alt kriterler yer alır. Son kademesinde ise alternatifler yer alır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

Ağırlıklandırılmış matrisin elde edilmesi: Karşılaştırma matrisindeki değerlerin bulunduğu grubun ağırlıklarıyla çarpılması ile yeni bir matris ortaya çıkarılmaktadır. Bu matris ağırlıklandırılmış matris adı ile temsil edilmektedir. Ağırlıklandırılmış matrisin sütunları toplamı 1'e eşit olmaması koşulunda sütunların toplamı 1'e eşit olacak biçimde normalleştirme faaliyeti yapılması zorunludur. Önceliklerin bir noktada eşitlenmesi için ağırlıklandırılmış matrisin büyük dereceden kuvveti alınmaktadır (Ömürbek ve Şimşek, 2014).

İkili Karşılaştırma Matrisinin Elde Edilmesi: Hedef, ölçütler ve alt ölçütler saptandıktan sonra ölçütlerin ve alt ölçütlerin ikili olarak aralarında önem derecelerinin saptanması için Tablo 1'de gösterilen önem dereceleri kullanılır. Ve bütün kriterler bu derecelere göre saptanarak kriterler matrisi oluşturulur (Supçiller ve Çapraz, 2011). Bu hiyerarşik modelde en üst seviyede ana hedef, bir alt seviyede sorunu ve kararı etkileyen kriterler ve en altında sorundaki alternatifler yer alır. Bu hiyerarşik modelde hedef her elamanın etkisinin en üst seviyedeki elemana etkisini hedefler. Aşağıda hiyerarşik bir model örneği gösterilmiştir. Hiyerarşi oluşturulduktan sonra, bir dizi ikili karşılaştırma gerçekleştirilerek analiz edilir. Kriterler önem düzeyine göre ikili olarak karşılaştırılır. Alternatifler, tercih kriterlerinin her birine kıyasla ikili olarak karşılaştırılır. Karşılaştırmalar matematiksel olarak işlenir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

Tablo 1. Saaty'nin önem dereceleri tablosu (Özyörük ve Özcan, 2008)

Önem Derecesi	Tanımı	Açıklama
1	Eşit Önem Sahip	İki etken aynı düzeyde önem taşır.
3	Orta Düzeyde Önemli	Bir etken diğerine göre biraz daha önemli

5	Baskın Düzeyde Önemli	Bir etken değerine göre çok daha fazla önemli
7	Çok Baskın Düzeyde Önemli	Bir etken değerine göre oldukça önemli
9	Mutlak Düzeyde Önemli	Bir etken değerine göre kesinlikle çok önemli
2,4,6 ve 8	Ara Değerler	İki etken arasında çok küçük farklılıklar var.

Problemin Çözülmesi: Bu adımda alternatiflerin her ölçüte göre birbirleriyle karşılaştırılması sonucu ortaya çıkan ikili karşılaştırma matrisiyle (alternatif sonuç matrisi) ölçütlerin birbirleriyle karşılaştırılması ile oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi çarpılarak sonuç elde edilmeye çalışılır. Burada bulunan göreceli önem değerlerine göre hangi alternatifin daha iyi olduğu bulunmuş olur.

Tutarlılık Oranının Hesaplanması: AHP metodunda ikili mukayeseler matrislerinin oluşturulması ve analiz yapılmasından sonra mukayeselerin tutarlılık durumlarına bakılır (Esen ve diğ., 2019). AHP'nin Uygulama Alanları; Ekonomi ve Yönetim sorunları, siyasi sorunlar, gelişen teknoloji sorunları örnek verilebilir (Güngör, 2008).

4. Yatırım Seçiminde AHP Yönteminin Kullanılması

Çalışma demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede yapılmıştır. Çalışma yasal/özel izin gerektirmemektedir. Bu çalışmadaki amaç yatırım kararının doğru belirlenmesidir. Problem işletmenin sahibi olduğu üretim yapılan ocaklarda bazı üretimsel ve zamansal sıkıntılar yaşanmaktadır. İstenilen verime ulaşılamamaktadır. Firmanın yapmayı uygun gördüğü 3 alternatifi bulunmaktadır. Bunlar; 4 olan ocak sayısını 5 e çıkarmak (indüksiyon sistemi), 4 ocağı satıp yerine yeni teknoloji ile dizayn edilmiş 1 tane ocak almak (ark sistemi), elinde ki 4 ocağa özel bakım yaptırmak. Özetle, Ark sisteminin kurulması, özel bakım yapılması ve indüksiyon sisteminin kurulması olmak üzere üç alternatif üzerinde durulmuştur. Altı ana kriter belirlenmiştir. Toz toplama, iş gücü yatırım esnasında üretim durumu, maliyet, ara madde ve enerji kullanımı, günlük üretim miktarı olmak üzere altı tanedir. Kriterler alanında beyin fırtınası yöntemi ile çok sayıda uzman kişiler tarafından belirlenmiştir. Firmanın amacı doğru yatırım modelini bulmaktır. Ana kriterlerin belirlenmesinde rol oynayan koşullar aşağıdaki gibidir;

Toz Toplama (T.T): Bir çeşit havalandırma sistemi olan toz toplama işleminin önemi demir çelik fabrikalarından çok fazladır. Dolayısıyla ocak yatırımı için büyük bir önem arz etmektedir.

İş Gücü (İ.G): Maliyet yatırım kararının verilmesi açısından önemli bir kriterdir. İşletmeler gelir gider dengelerini gözetmelidirler. Yatırım kararının verilmesinde maliyet unsuruna dikkat çekmişlerdir. İşletme maliyeti, satın alma maliyeti ve işgücü maliyeti açısından değerlendirmişlerdir (Kasap ve diğ., 2020). Şu an işletmede bulunmakta olan normal ocak sisteminde ki iş gücü baz alınarak bu iş gücünün yeni ocak sistemine geçildiğinde harcanan maliyetle beraber artması veya azalması durumu göz önüne alınarak belirlenmiş bir kriterdir.

Yatırım Esnasında Üretim Durumu (Ü.D): yatırım sırasında yeni teknoloji ocak sistemine geçmek üretimin aksamasına sebep olacağı için bir firmanın bir ödeme yapmasına sebep olacaktır. Bu durumun ocak maliyeti ile beraber birleştirilmesi durumunda şirkete yapacağı etki düşünülerek bir kriter olarak değerlendirilmektedir.

Maliyet (M): yeni teknoloji ocak maliyeti ve ya yeni ocak alımı arasında ki maliyet farkının çok yüksek olmasından kaynaklı olarak kriter alınmıştır. Maliyet, işletmenin faaliyetini sürdürebilmek amacı ile ihtiyaç duyulan en önemli kriterlerdendir. Üretim faktörlerinin para ile ölçülen değeri olarak ifade edilmektedir. Maliyet yönetimi ile etkin planlanma mümkündür. Yatırımların ve alternatiflerin seçiminde etkilidir (Özcan ve diğ., 2018).

Ara Madde ve Enerji Kullanımı (A.E): yeni teknoloji ocak sisteminin ara madde ve enerji kullanımının daha az olacağı beklendiğinden bir kriter olarak değerlendirilmektedir. Kokten ve Karakaya 2017 yılında yaptıkları çalışmada SWOT (GZFT) Uygulaması ile Demir Çelik Sektöründe enerji maliyetlerinin yüksekliğine vurgu yaparak zayıflıklar kısmında değerlendirmişlerdir (Kokten ve Karakaya, 2017).

Günlük Üretim Miktarı (GÜM): yeni teknoloji ocağın üretim hızı ve kapasitesi ile 5. Ocağın alımında ki kapasite ve hız değerlendirilmesinin yapılabilmesi için kriter olarak alınmıştır.

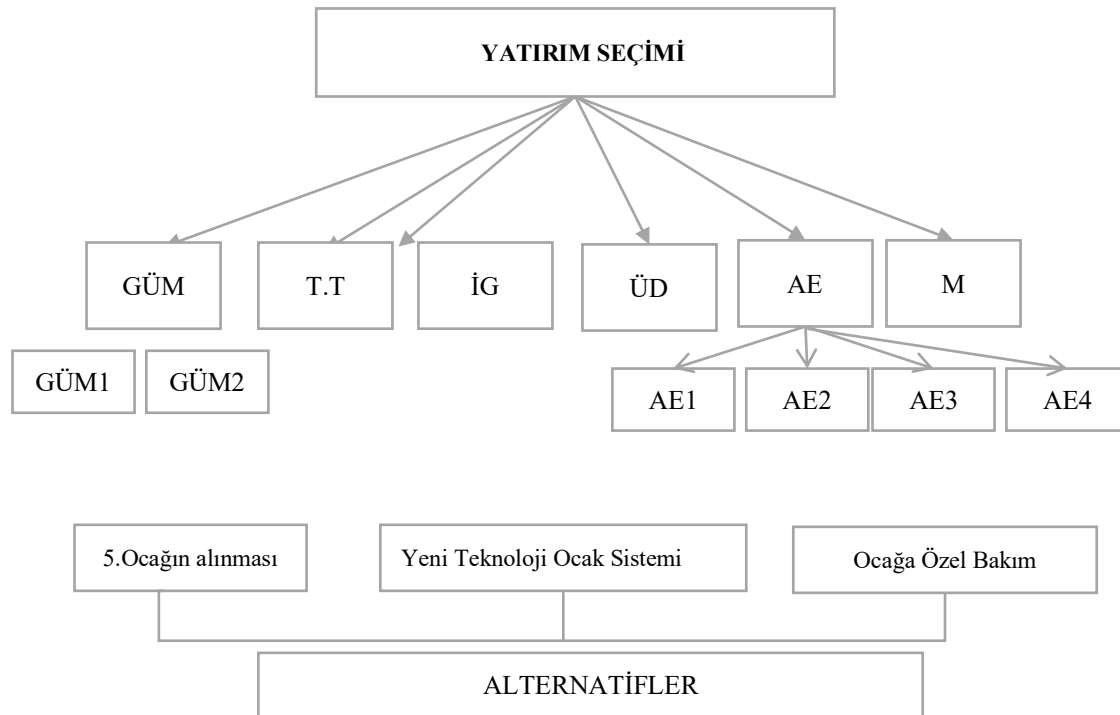
Tablo 2'de Ana kriterler, Alt kriterler ve bunların tanımlamaları açıkça ifade edilmiştir.

Tablo2. Problemin Ana kriterleri ve Alt kriterleri

Ana Kriter	Alt Kriter	Tanım
Toz Toplama (T.T)	-	-
İş Gücü (İ.G)	-	-
Yatırım Esnasında Üretim Durumu (Ü.D)	-	-
Maliyet (M)	-	-
Ara Madde ve Enerji Kullanımı (A.E)	A.E1 A.E2 A.E3 A.E4	Alyaj Tük. Refrakter Mad. Tük. Elektrik Tük. Elektrot Tük.
Günlük Üretim Miktarı (GÜM)	GÜM1 GÜM2	Ham Madde Verimliliği Arızalar

Şekil 1'de günlük üretim miktarı, toz toplama, iş gücü, üretim durumu, ara madde ve enerji kullanımı, maliyet olmak üzere altı ana kriter ve üç alternatif görülmektedir.

Kriterler, sorunun izin verdiği kadar çok seviyede alt kriterler, alt-alt kriterler ve daha fazlasına bölünebilir. Bir kriter tek düze uygulanmayabilir, farklı kademelerde de gösterilebilir. Bu durumda kriter, kriterin farklı yoğunluklarını gösteren alt kriterlere ayrılır. AHP uygulamalarının yayınlanmış içerikleri genel olarak hiyerarşilerinin diyagramlarını ve açıklamalarını yer verir.

**Şekil 1.** Çalışma modelinin hiyerarşik yapısı

Kriterlerin Önem Değerlerinin Belirlenmesi: Bu aşamada kriterler arasında ikili karşılaştırma yapılır. Bu ikili karşılaştırma da önem değerleri firmanın kriterlerin birbirine göre belirlediği önem değerleri belirlenir. Tutarsızlık değeri %10'un üzerinde olmamalıdır. Tablo 3'de görüldüğü üzere tutarsızlık değeri %8 olarak elde edilmiştir. Bu durum tam sınırdadır, ancak kabul edilebilmektedir. Tutarsızlık değerini düşürebilmek için kriterler arasında ki derecelendirme tekrarlanabilir.

Tablo 3. Kriterlerin ikili olarak önem dereceleri bakımından kıyaslanması

Kriterler	GÜM	T.T	M	A.E	İ.G	Ü.D
GÜM	-	3	3	5	9	5
T.T	-	-	1	4	5	9
M	-	-	-	1	5	9
A.E	-	-	-	-	3	9
İ.G	-	-	-	-	-	9
Ü.D	-	-	-	-	-	-
Tutarlılık	0,08					

Alternatiflerin Belirlenmesi: Bu adımda firmanın var olan bütün alternatifleri ve her bir kriter için karşılıkları da aynı şekilde programa girilir. Tablo 4'de alternatifler ve kriterlere karşılık gelen sonuçları verilmiştir.

Tablo 4. Alternatiflerin kriterler karşısındaki durumları

Devam	Artıyor	Azalıyor	Düşük	Yüksek	Çok Düşük	Duruyor/Değişmiyor
→	+	-	↓	↑	-↓	↔
Kriterler Alternatif	Günlük Üretim Mik.	Toz Toplama	Maliyet	Ara Madde ve Enerji Tük.	İş Gücü	Üretim Durumu
5.Ocağın alınması	+	+	↓	Ara Mad. ↔, Enerji +	+	→
Yeni Teknoloji Ocak Sistemi	+	-	↑	-	-	↔
Ocağa Özel Bakım	-	-	-↓	↔	-	→

Alternatif Önem Değerlerinin Programa Girilmesi: Bu aşamada bütün alternatifler kriterler üzerinden ikili karşılaştırmaya alınmıştır. Eğer kriter alt kriterlere sahipse karşılaştırma kriterlerin alt kriterleri üzerinden yapılmaktadır. Bu aşamada da aynı şekilde tutarsızlık değerinin %10 değerinin üzerine çıkmaması beklenmektedir. Tablo 5 de virgül ile ayrılmış değerler sırasıyla alt kriterlerin önem derecelerini vermektedir.

Tablo 5. GÜM, A.E, M ve T.T kriterleri için alternatiflerin ikili karşılaştırma

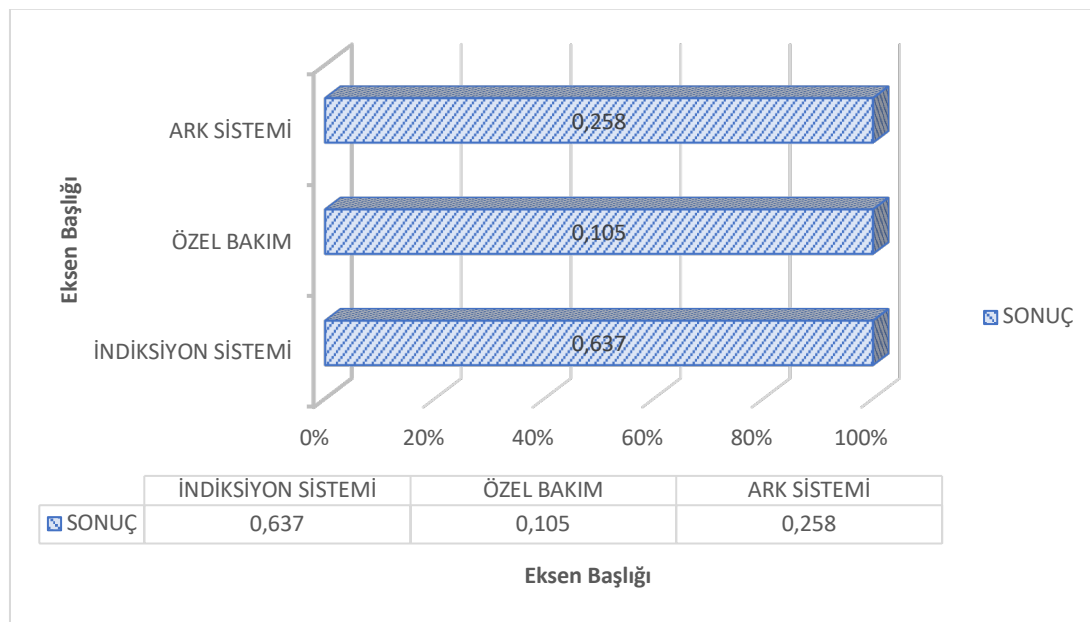
Alternatifler		İndüksiyon	Ark	Bakım	Alternatifler		İndüksiyon	Ark	Bakım
GÜM1, GÜM2 Tutarlılık: 0,03 / 0,03	İndüksiyon Ark Bakım	-,-	5,5 -,	1,1 3,3 -,	T.T: Tutarlılık :0,03	İndüksiyon Ark Bakım	-	5 -	1 3 -
A.E1, A.E2 A.E3, A.E4 Tutarlılık: 0.00/0.00/ 0.00/0.00	İndüksiyon Ark Bakım	-,-,-,-	3,2,5,9 -,,-,-,-	1,1,1,1 3,5,2,9 -,,-,-,-	M: Tutarlılık: 0,01	İndüksiyon Ark Bakım	-	3 -	3 7 -

Tablo 6'de iş gücü ve üretim durumu kriterlerine ikili karşılaştırmalar mevcuttur. Tutarlılık oranı iş gücü için 0.01 iken üretim durumu kriteri içinse 0.04 olarak bulunmuştur. Tüm tutarlılık oranları 0.1'den küçük olduğu için bulunan değerler kabul edilir.

Tablo 6.İ.G ve Ü.D kriterleri için alternatiflerin karşılaştırılması

Alternatifler		İndüksiyon	Ark	Bakım	Alternatifler		İndüksiyon	Ark	Bakım
İ.G: Tutarlılık:0,01	İndüksiyon Ark Bakım	-	3 -	2 2 -	Ü.D: Tutarlılık:0.04	İndüksiyon Ark Bakım	-	5 -	3 3 -

En İyi Alternatifin Seçilmesi:Bu aşama Expert Choice proramı ve AHP yöntemi kullanılarak bir çözüme ulaşım alternatifler arasında en uygununun hangisi olduğuna karar verildiği aşamadır. Alternatiflerin önem derecelendirmeleri belirlendikten sonra ağırlıkları hesaplanır. Bu ağırlıklar hangi alternatifin daha uygun olduğu konusunda bize bilgi vermektedir. Elde edilen sonuca göre yeni teknoloji ocak sistemine geçmek özellikle iş gücü ve toz toplama konusunda ne kadar yeni ocak alımının önüne geçiyor olsa da maliyet bazında değerlendirdiğimizde yeni teknoloji ocak sistemine geçmek yanlış bir karar olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde Türkiye'de ve Dünya'da demir çelik sektörü çok büyük bir önem taşımaktadır. Ancak her firma aynı büyüklük ölçüsüne sahip olmadığı için sonuç firmanın aylık haftalık yıllık sipariş miktarlarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Kişi işletmesi olan demir çelik fabrikaları bu tarz yenilikler yapmakta kurumsal olanlara göre çok daha geri planda kalmaktadırlar. Ülkemiz genelinde kişi işletmesi olarak varlığını sürdüren demir çelik fabrikaları ülke ekonomisine katkı sağlıyor olsada bu tarz yatırımlarda maalesef teknoloji çağını yakalamakta zorlanmaktadırlar. Aşağıdaki grafikte açık bir şekilde yeni ocak alımı baskın gelmektedir. Bu durum yukarıda bahsedilen firmanın ekonomideki yeri ile bağlantılı değişebileceği gibi diğer kriterlerin ikili karşılaştırmaları esnasındaki derecelendirmeye göre de değişebilir. Analitik hiyerarşi prosesinde kriterlerin ve alt kriterlerinde değerlendirilmesi yapılırken firmanın önceliklerine göre sonucun değişebileceği asla unutulmamalıdır. Her zaman için firmanın arz ve talep durumu göz önüne alınmalı ve işletmenin asıl amacına doğru odaklanılmalıdır. Şekil 2'de üç alternatif için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 2. Alternatif Ağırlıkları

Şekil'2 de çok yüksek oranla indüksiyon sisteminin kurulması gelmektedir. Onu takip eden yatırım seçenekleri sırasıyla ark sistemi ve özel bakımdır. Bunun sebebi firmanın kriter önceliğinde yaptığı değerlendirmedir. Ancak gelişen teknoloji ve demir çelik sektörünün değeri düşünüldüğünde Ark Ocak sistemine geçiş yöneticilere daha mantıklı görünmektedir. Ancak maliyet yüksekliği ve özellikle kuruluş aşamasında üretimin duruş yapacak olması bu alternatifin düşük bir orana sahip olmasına neden olmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Gerek günümüz teknoloji çağının getirileri gerekse globalleşen dünyanın getirileriyle kurumsal olsun olmasın her firma bir konuda karar verme süreci yaşarken çok kriterli karar verme sürecine ister istemez dahil olmaktadır. Bunun nedeni olarak globalleşen dünyanın gereksinimlerinin artması, insanların talep ve ihtiyaçlarındaki hızlı dönüşüm, oldukça önemli paya sahip iki etmendir.

Dünyada ve tabii ki ülkemizde varlığını etkin bir şekilde gösteren demir çelik sektörü de bu değişim ve gelişim sürecinden payını almamıştır ve ilerleyen süreçte almaya devam edecektir. Bunun nedeni demir çelik sektörünün bir çok alana yayılmış olmasıdır. Demir çelik sektörü inşaat demiri üretmek gibi barınmayı içinde barındıran sektörlerle başlayıp ilerleyen zamanla birlikte gelişip kendi içinde evrilerek şu anda vagon üretimi için bile üretim yapmaktadır.

Ülkemiz ve dünya genelinde ekonomik ve politik açıdan önemli olan bu sektör bu çalışma sırasında faaliyetine devam eden bir demir çelik fabrikası üzerinden yatırım kararı aşamasında karşılaşılan faktörler açısından değerlendirilmiş ve gerekli analizler yapılmıştır. Bu analizlerin sonucu ile ilgili aşağıdaki yorumları yapmak mümkündür;

Firmanın belirlediği kriterler doğrultusunda da alması gereken karar şekil'2 de görüldüğü gibi indüksiyon sistemine geçiş olarak yer almaktadır. Bu sonuç firmanın kriterlerinin ve ya kriterlerin sahip olduğu alt kriterlerin artması ve ya azalması durumunda değişiklik gösterebileceği gibi kriterler arasında ki derecelendirmeler ya da alternatifler arasında ki derecelendirme sonucunda da değişiklik gösterebilir.

Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de önemli bir yere sahip olan demir çelik sektöründe de bir yatırım kararı verilirken en doğru alternatifin seçilmesi gerekmektedir. Demir çelik faktörü ülkelerin ekonomisini doğrudan etkileyebilme özelliğine sahiptir.

Yukarıda ki sonuçlar işletmenin büyüklüğü işletmenin asıl amacı çerçevesinde çok büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Örneğin aynı sektörde yer alana daha kurumsal bir işletmenin ana kriteri maliyet değilken çalışmada konu alınan işletmenin ana kriterinin maliyet olması sonucu büyük ölçüde etkilemiştir. Dolayısıyla kriter seçimi yapılırken hedefi tam karşılayan kriterler seçmek sadece yeterli olamayacaktır. Firmanın amacına uygun seçilen kriterlerin birbirine göre önem düzeylerinin net olarak belirlenebilmesi sonucun doğruluğu açısından çok büyük önem arz eder.

Sonuca bakılarak firmanın ocak sayısını artırmasının mevcut koşulları altında en doğru karar olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bunun sebebi firmanın kriter önceliğinde yaptığı değerlendirmedir. Ancak gelişen teknoloji ve demir çelik sektörünün değeri düşünüldüğünde Ark Ocak sistemine geçiş yöneticilere daha mantıklı görünmektedir. Ancak maliyet yüksekliği ve özellikle kuruluş aşamasında üretimin duruş yapacak olması bu alternatifin düşük bir orana sahip olmasına neden olur. Bu durum ekonomik koşulların değişmesi durumunda değişebileceği için AHP yöntemi kullanılarak bulunan sonuç sadece bulunduğu koşullar altında yüksek olasılıklı bir doğruluk sağlayabilmektedir.

Ark ocak sistemi ile alakalı olarak ise şunları söylemek mümkündür; dünya çapında çok önemli ekonomik paya sahip olan demir çelik sektörü gelişmeye en açık, ürün bazında düşünüldüğünde en geniş yelpazeye sahip olan sektörlerden biridir, bu sebeple her yönetici kendini geliştirebilecek ürün yelpazesini daha kolay genişletebileceği daha çok verimlilik sağlayabileceği alternatif olan ark ocak sistemini seçmek ister.

Kurumsal olsun olmasın büyümek isteyen her firma öncelikle gelişmekte olan teknolojiye ayak uydurmaya çalışmalı ve gelişmelere açık olmalıdır. Bunlar doğrultusunda büyümek için büyük bir adım atılmış olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Araştırmacıların Katkısı

Yazarlardan Elif Yılmaz, kaynakların taranması, verilerin temini ve yöntemin uygulanması konusunda katkı sağlamış; yazarlardan Burcu ÖZCAN, konunun bulunması, çalışmanın yönlendirilmesi ve makalenin yazılması konusunda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

KAYNAKÇA

Aplak H., Türkbey O., (2013).Çok Amaçlı Karar Sürecinin İki Kişili Sabit Toplamlı Olmayan Oyunlarda Uygulaması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 28(3), 595-606.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gazimmfd/issue/6704/89126/>

Çevik E., Gökşen Y., (2016). Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde AHP-VIKOR Entegrasyonu ile Bir Karar Destek Sistemi Önerisi, *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 7(2),219 – 235.<https://doi.org/10.18354/esam.32181/>

Çivi C., Erçay H., (2020).Çelik Sektöründe Güvenirlikli Üretim ve Örnek Bir Uygulama: S355JR (EN 10025-2) Çeliği Akma ve Kopma Dayanımı Güvenirlik Analizi, *Journal Of Polytechnic dergisi*, <https://doi.org/10.2339/politeknik.579488/>

Dağ M., Çelik M., (2018)., Yatırım Teşvikleri Nedir? Kavram ve Kapsamı Üzerine Bir Değerlendirme, *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*,7(2), 863-875.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlissos/issue/41200/471163/>

Dağdeviren M., Akay D., Kurt M. (2004). İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 19(2), 131-138.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6660/88912/>

Dağdeviren, M., Eren, T., (2001). Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi.*, 16(2), 41-52.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6650/89296/>

Ecer F., Küçük O., (2008). Tedarikçi seçiminde analitik hiyerarşi yöntemi ve bir uygulama,*Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*,11(1), 355-369.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunisosbil/issue/2821/38057/>

Elbir G., Kandır S., (2017). Yatırım duyurularının pay getirileri üzerindeki etkisinin incelenmesi: Demir-çelik sektörü örneği, *Ekonomi Bilimleri Dergisi*,9(1), 16-32.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ebd/issue/35968/403546/>

Emhan A., (2007). Karar verme süreci ve bu süreçte bilişim sistemlerinin kullanılması, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(21),212-224.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/esosder/issue/6135/82282/>

Ersöz T., Düğenci M., Ünver M., Eyiöl B., (2015).Demir Çelik Sektörüne Genel Bir Bakış ve Beş Milyon Ton Üstü Demir Çelik İhracatı Yapan Ülkelerin Kümeleme Analizi ile İncelenmesi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2) 75-90, <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.210941/>

Esen H., Yiğit V., Güldan S., (2019).Hastanelerde AHP ve TOPSIS yöntemi ile personel seçimi: Acil bakım hemşireliği sertifikalı eğitim programı örneği, *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6 (12), 112-128. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/asead/issue/51619/669138/>

Gedik T., Akyüz K., Akyüz İ., (2005). Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi (İç Karlılık Oranı ve Net Bugünkü Değer Yöntemlerinin İncelenmesi), *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7),51-61.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/barofd/issue/3407/46885/>

Gençer Y., Selçuk G.(2019). AHP ve TOPSİS yöntemleri ile otomotiv plazasının en uygun tesis yeri seçimi kararının verilmesi, *Journal of Politics, Economy and Management (JOPEM)*, 2(1), 45-63.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jopem/issue/46420/555788/>

Gündüz H., Güler M., (2015). Termal Turizm İşletmelerinde Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri Kullanılarak Uygun Tedarikçinin Seçilmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*30(1),167-222. <https://dergipark.org.tr/pub/deuibfd/issue/22716/242457/>

Güneşli, İ , Gündoğan, M , Şeker, A . (2017). Facility Location Selection Problem: An Application For Student Selection and Placement Centers. *Journal of Turkish Operations Management*, 1 (1) , 27-38 . <https://dergipark.org.tr/pub/jtom/issue/40160/477706/>

Güngör U., (2008). İmalat programı oluşturmada ürün önceliklerinin belirlenmesi için bir model önerisi, Yüksek lisans tezi, Endüstri mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Erişim adresi: <http://dspace.kocaeli.edu.tr:8080/xmlui/handle/11493/1433/>

İhracat Genel Müdürlüğün Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi, Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, Demir-çelik demir-çelikten eşya sektörü raporu, 2018. Erişim adresi: <https://www.torbalito.org.tr/wp-content/uploads/2019/12/%C4%B0n%C5%9Faat-Malzemeleri-Sekt%C3%B6r%C3%BC.pdf>

Karabıçak, Ç , Boyacı, A , Kocabaş Akay, M , Özcan, B . (2016). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Karayolu Şantiye Yeri seçimine İlişkin Bir Uygulama. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13 (3) ,106-121. <https://dergipark.org.tr/pub/iibfdkastamonu/issue/29634/318361/>

Kasap S., Şahin Y., Çınar T., (2020). Bulanık tabanlı çok kriterli karar verme teknikleri ile demir çelik endüstrisinde en uygun yatırım seçeneğinin belirlenmesi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 31(0), 59-71. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/endustrimuhendisligi/issue/52861/641077/>

Kaya B., (2019). Bulanık AHP ve AHP destekli 360 derece performans değerlendirme yönetim bilgi sisteminin kurulması ve uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, , 611418. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp/>

Kocakaya Y., (2019). Tedarik zinciri yönetiminin AHP ile çözüm uygulaması: Analitik hiyerarşi süreci (AHP) ile otomotiv sektöründe yedek parça üreticisi seçimi, Yüksek Lisans Tezi, , 574265 <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp/>

Kokten E.S. and Karakaya A., (2017). SWOT (GZFT) Uygulaması ile Karabük Demir Çelik Sektörünün Analizi Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017) Baku - Azerbaijan). <https://isites.info/PastConferences/ISITES2017/ISITES2017/papers/C1-ISITES2017ID18.pdf>

Kuruüzüm A., Atsan N., (2001). Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları, *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 1(1) , 83-105. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/aiuibfd/issue/54587/744088/>

Mehmet Durdudiller, (2006). Perakende sektöründe tedarikçi performans değerlemesinde AHP ve bulanık AHP uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksel Lisans Tezi, İstanbul, 182730. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp/>

Memik B., (2017). Personel Performans Değerlendirme süreci için bulanık ortamda bütünleşik bir model önerisi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp/>

Oğuzlar A., (2007). Analitik hiyerarşi süreci ile müşteri şikayetlerinin analizi, Uludağ Üniversitesi, Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi (14) 2007, 122-134. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/aiuibfd/issue/32316/359117/>

Ömürbek N., (2014). Şimşek A., Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(22), 306-327. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/yead/issue/21809/234450/>

Özcan A., Ömürbek N., (2020) Bir Demir Çelik İşletmesinin Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi, *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, (8): 77-98, <https://doi.org/10.21733/ibad.714295/>

Özcan, B, Akman, G, Başlı, H, Gündüz, E . (2018). Çok Kriterli Karar Vermede AHP ve TOPSIS Yöntemleriyle Uçuş Noktası Seçimi . Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi , 34 (3) , 45-57 . <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesfen/issue/42430/471650/>

Öztürk R., Fındık M.(2012). Türkiye’de demir çelik sektörünün yapısal analizi, Ulusal demir çelik sempozyumu, Karabük

Özyörük B., Özcan E.(2008)., Analitik Hiyerarşi Sürecinin Tedarikçi Seçiminde Uygulanması, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 13(1), 133-144.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/sduiibfd/issue/20834/223215>

Serin Z., Fidan O. (2019). Türkiye Demir Çelik Sektörü Rekabeti ve Endüstri 4.0, *Journal of Transportation and Logistics*, 4(2),91-106. <https://doi.org/10.26650/JTL.2019.04.02.04/>

Supçiller A., Çapraz O.(2011). AHP-TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması, *İstanbul Üniversitesi İktisat fakültesi ekonometri ve istatistik dergisi*, 13,1-22.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iuekois/issue/8980/112036/>

Uzun S., Kazan H.(2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE karşılaştırılması: gemi inşada ana makine seçimi uygulaması, *Journal of Transportation and Logistics* 1 (1), 99-113. <https://doi.org/10.22532/jtl.237889/>

Yaşar O. (2009). Türk imalar sanayisinde lokomotif bir sektör: Demir çelik sanayi, *Marmara Coğrafya Dergisi*,0(20), 42-78.Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/marucog/issue/467/3768/>

Yüksel, A ve Çetin M.. (2018). Choosing The Best Port Alternative For Cruise *Journal of Turkish Operations Management*, 2 (1),115-124. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/40793/514560/>



Journal of Turkish Operations Management

Araç rotalama probleminin sezgisel algoritmalar ile çözülmesi: Bir boya fabrikasında uygulama

Harun Reşit YAZGAN¹, Serap ERCAN CÖMERT^{2*}, Ecem Nükte KILIÇ³

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
e-mail: yazgan@sakarya.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8791-0458>

^{2*}Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
e-mail: serape@sakarya.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-0274-0806>

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
e-mail: nukte.kiyak@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0524-515X>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 31.07.2020
Revize: 22.10.2020
Kabul: 24.10.2020

Anahtar Kelimeler:

Kapasiteli araç rotalama problemi,
Clarke-Wright tasarruf algoritması,
Yerel aramalı sezgisel algoritma

Özet

Kapasiteli araç rotalama problemi (KARP), talepleri belirli olan müşterilere, depolardaki ürünlerin, belirli bir kapasiteye sahip araçlarla en kısa mesafeyi izleyerek hizmet vermeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışmada bir boya fabrikasının, Türkiye genelindeki müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için en az maliyetli araç rotalarının belirlendiği Kapasiteli Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Ele alınan rotalama problemi Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma ile çözülmüş en az maliyetli rotalar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar fabrikanın gerçek verileri ile FRIEDMAN testi yardımıyla karşılaştırılmış ve yerel aramalı sezgisel algoritmanın diğerlerinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Solution of the vehicle routing problem with heuristic algorithms: an application in a paint factory

Article Info

Article History:

Received: 31.07.2020
Revised: 22.10.2020
Accepted: 24.10.2020

Keywords:

Capacitated vehicle routing problem,
Clarke-Wright savings algorithm,
Local search heuristic algorithm

Abstract

The capacitated vehicle routing problem (CVRP) aims a distribution of the products to customers with specific demands in the warehouses by following the shortest route with standard capacity vehicles.

In this study, objective of the capacitated routing problem was to minimize travelling cost route while meeting the demand of customer at a paint factory in Turkey was discussed. The routing problem was solved by both the Clarke-Wright Savings Algorithm and a new Local Search Heuristic Algorithm. Two algorithms' results and the company's real results were compared with the FRIEDMAN test and the results illustrated that the local search heuristic algorithm provided the better results than the others.

1. Giriş

Yeni dünya düzenindeki pazar koşulları şirketleri daha rekabetçi haline getirmiştir. Karar vericiler karşılaştıkları problemlere daha hızlı ve yaratıcı çözümler üretirken aynı zamanda bu çözümlerin sürdürülebilir olmasını sağlamalıdır. Bu sebeple oluşturulmuş olan çözümlerin performans göstergeleri klasik hedeflerden daha ziyade sürdürülebilir olmayı sağlayan hedefleri yerine getirecek yaratıcı fikirleri içermelidir. Bu durum içerisinde müşteri beklentilerini karşılayabilmek adına, Tedarik Zinciri halkalarından olan Lojistik bölümünün, en etkin şekilde yönetilmesi beklenmektedir.

Lojistik; bir ürünü tedarikçilerinden müşterilere ulaştırabilmek için gerekli olan tüm faaliyetlerdir. Bu faaliyetler tedarik zinciri olarak adlandırılan bir akış içinde gerçekleştirilir. Lojistik maliyetlerinin en aza indirilmesinde araçların rotalanması çok önemlidir. Araç rotalama problemi (ARP), bir işletmenin konumları belli olan “n” adet müşterisine bir veya birden fazla depodan hizmet verebilmek için araçların en iyi rotalarının belirlenmesi problemidir. Lojistik sisteminde yer alan kısıtlara göre birçok ARP çeşidi bulunmaktadır. Bu kısıtların en önemlileri araç kapasitesi, aracın bir defada yol alabileceği maksimum mesafe ve süre kısıtıdır. Bu çalışmada kapasiteli araç rotalama problemi ele alınmıştır.

Kapasiteli araç rotalama problemi (KARP), talepleri belirli olan müşterilere, depolardaki ürünlerin, belirli bir kapasiteye sahip araçlarla en kısa güzergâhı izleyerek dağıtım yapmaktadır. Literatürde araç rotalama probleminin çözümü için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler kesin, klasik sezgisel ve metasezgisel olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Araç rotalama problemi NP-zor problem sınıfından olduğu için çok değişkenli problemlerde çözüme kesin yöntemlerle ulaşmak oldukça zor ve hatta bazen imkânsız olmaktadır. Problemin kısıtları arttıkça problem daha da karmaşık hale gelmekte ve optimum sonuca ulaşmak daha da zorlaşmaktadır. Bu nedenle problemin boyutu büyüdükçe kısa sürede iyi kalitede sonuçlar üreten klasik sezgiseller ve çözüm uzayındaki olurlu bölgelerde derin araştırmalar yapabilmeyen metasezgiseller tercih edilmektedir (Düzakın ve Demircioğlu, 2009).

Bu çalışmada Gebze’de faaliyet gösteren bir boya fabrikasının Trabzon ve Afyonkarahisar’da bulunan iki ana deposundan Türkiye genelindeki müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için en uygun araç rotalarını belirlediği problem ele alınmıştır. Ele alınan problem sezgisel yöntemlerden Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar firma verileri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın birinci, giriş bölümünde, konu hakkında genel bir bilgi verilmiş; ikinci bölümünde, literatür taraması yapılmış ve üçüncü bölümde ise KARP detaylı bir şekilde incelenmiştir. Dördüncü bölümde, problemin çözümünde kullandığımız sezgisel yöntemler açıklanmış ve beşinci bölümde ise ele alınan araç rotalama problemi Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma ile çözülmüş, sonuçları da Friedman testi yardımıyla karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. Literatür Araştırması

Araç rotalama problemi (ARP) ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından incelendiği ve çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtımını problemini ele aldıkları görülmektedir. Ele aldıkları problemde kendi deposundan hareket eden ve yine depoya dönen, müşterilerin ihtiyaçlarını belirlenen kısıtlar altında karşılayan ve taşıma maliyetlerinin veya kat edilen yolun her bir araç için en aza indirildiği rotalar kümesi belirlenmiştir.

Bu çalışmada KARP ele alınmıştır. Ele alınan probleme Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma ile çözüm aranmıştır. KARP ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Osman (1993) tabu arama algoritması ve tavlama benzetimini kullanarak hibrit bir algoritma geliştirmiş ve KARP’ye çözüm aramıştır. Taillard (1993) KARP’yi çözmek için paralel tabu arama algoritmasını kullanmış ve Osman’ın sonuçlarından daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Rochat ve Taillard (1995) yerel arama yöntemini kullanarak birçok KARP seti için en iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Barbarosoglu ve Ozgur (1999) tabu arama algoritmasını kullanarak KARP’ye çözüm aramışlar ve elde ettikleri sonuçların Osman (1993)’ün sonuçlarından daha iyi olduğunu iddia etmişlerdir. Bullnheimer, Hartl ve Strauss (1999) karınca sistemi algoritmasını geliştirerek KARP’lerin en iyi çözümlerine yakın çözümlere daha kısa sürelerde ulaşmışlardır. Baker ve Ayechev (2003) KARP’nin çözümü için genetik algoritmayı hibritleştirilmişler ve sonuçları genetik algoritmanın sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar hibrit genetik algoritmanın genetik algoritmaya göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Prins (2004) KARP’lerinin çözümü için genetik algoritma temelli bir rota ayırma algoritması geliştirmiştir. Reimann, Doerner ve Hartl (2004) paralel karınca sistemlerini kullanarak büyük boyutlu KARP’ler için etkili çözümler bulmuşlardır. Ho ve Gendreau (2006) tabu arama algoritmasını hibritleştirerek KARP’ye çözüm aramışlardır. Elde edilen sonuçlar hibrit tabu arama algoritmasının tabu arama algoritmasına

göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Wang ve Lu (2009) hibrit genetik algoritma geliştirerek KARP için çözüm aramışlardır. Ai ve Kachitvichyanukul (2009) küçük ve büyük boyutlu KARP'leri çözmek için parçacık sürü algoritmasını kullanmışlar ve bazı çözümler için optimale ulaşmışlardır. Lin, Lee, Ying ve Lee (2009) Tabu arama algoritması ve tavlama benzetimini kullanarak hibrit algoritma geliştirerek küçük boyuttaki problem setleri için bilinen en iyi değerlere ulaşmışlardır. Chen, Huang ve Dong (2010) KARP'yi çözmek için en yakın komşu sezgiselini kullanmışlar ve problem setleri için bilinen en iyi değerlere ulaşmışlardır. Çiçekdeğ (2011) gerçek hayattaki bir KARP'yi çözmek için genetik algoritmayı kullanmıştır. Szeto, Wu ve Ho (2011) küçük ve büyük boyutlu KARP'ler için yapay arı kolonisi algoritmasını kullanmışlar ve küçük boyuttaki problemlerde büyük boyuttaki problemlere göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Kao, Chen ve Huang (2012) KARP'yi çözmek için parçacık sürü algoritmasını ve karınca kolonisi algoritmasını kullanarak hibrit algoritma geliştirmişler ve küçük boyuttaki problemlerin bazıları için optimum sonuçlara ulaştıklarını belirtmişlerdir. Pichpibul ve Kawtummachai (2013) uyarlanmış armoni arama algoritması ile küçük boyuttaki KARP'ler için optimum değerlere ulaşmışlardır. Pichpibul ve Kawtummachai (2013) uyarlanmış armoni arama algoritması ile küçük boyuttaki KARP'ler için optimum değerlere ulaşmışlardır. Stanojević, Stanojević ve Vujošević (2013) geliştirdikleri tasarruf algoritmasının bir versiyonu ile KARP'lerin bazıları için optimum sonuçlarına ulaştıklarını belirtmişlerdir. Abdulmajeed ve Ayob (2014) KARP'leri çözmek için havai fişek algoritmasını kullanmışlar ve küçük boyuttaki problemlerin bazıları için bilinen en iyi değerlere ulaşmışlardır. Yazgan, Ercan ve Arslan (2014) KARP için Clarke-Wright tasarruf algoritması ile en kısa yol yöntemini esas alan yeni bir melez algoritma geliştirmişlerdir. Şen, Yazgan ve Ercan (2015) kümeleme ve genetik algoritma destekli yeni bir algoritma geliştirerek gerçek hayattaki KARP'ler için çözüm aramışlardır. Akpınar (2016) karınca kolonisi algoritması ve en yakın komşu sezgiselini kullanarak küçük boyuttaki KARP'ler için çözüm aramış ve etkili sonuçlar elde etmişlerdir. Uyumaz (2017) KARP'nin çözümü için paralel genetik algoritma kullanmış ve optimal sonuçlara kısa sürede ulaşmıştır.

3. Kapasiteli Araç Rotalama Problemi

KARP, bir veya daha fazla depo bulunan bir işletmede, yükleme kapasiteleri kısıtlı araçların talepleri belli olan müşterilere servis yapmak için izlenmesi gereken rotaların belirlenmesi problemidir (Ai ve Kachitvichyanukul, 2009). Klasik ARP ile bir tutulmasının yanında tek farkı rota üzerindeki müşterilerin tüm taleplerinin toplamı araç kapasitesinden fazla olamamasıdır. ARP ailesinin en iyi bilinen ve üzerinde en çok çalışılan üyesidir.

KARP'nin farklı çeşitleri bulunmaktadır. Örneğin bazı problemlerde her aracın bir sabit çalıştırma maliyeti bulunup bu değer amaç fonksiyonuna eklenmektedir. Bu durumda sabit maliyet unsurundan dolayı amaç fonksiyonunda kullanılan araç sayısı en az yapılmaya çalışılmakta ve çözümde sonuç olarak bazı araçların rotalaması yapılmamaktadır. Başka bir KARP çeşidi ise problemde farklı kapasiteleri olan araçlar kullanılarak dağıtımın söz konusu olmasıdır (Erol, 2006). KARP'nin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

Parametreler:

Q= araç kapasitesi,

N= müşteri veya durak sayısı,

$q_i = i$ ($i > 0$) müşterisinin talep miktarı,

$d_{ij} = i$ müşterisi ile j müşterisi arasındaki uzaklık,

Değişkenler:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer araç } i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine gidiyorsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$i \neq j, \quad i, j \in \{0, \dots, \dots, N\} \text{ ve } 0 \text{ ana depo}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{En az } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, i \neq j}^N d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1, i \neq j}^N x_{ij} = 1, \quad \forall j, \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N x_{ij} = 1, \quad \forall i, \quad i \in \{1, \dots, N\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0, i \neq j}^N x_{ij} + x_{ji} \leq 1, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, i \neq j}^N x_{ij} \leq Q, \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu (1) toplam kat edilen mesafenin en az yapılması gerektiğini ifade etmektedir. (2) ve (3) nolu kısıt, bir müşterinin mutlaka bir araç tarafından ziyaret edilmesi gerektiği ve bir müşteriye ziyaret eden aracın aynı zamanda o müşteriden hareket etmek zorunda olduğunu belirtmektedir. (4) nolu kısıt, depoda başlamayan ve depoda bitmeyen turları elemekte kullanılmaktadır. (5) nolu kısıt ise araçlara yapılan yüklemelerin araç kapasite değeri Q 'yu geçmemesi gerektiğini belirtmektedir (Ruiz, 2004).

4. Metot

Bu çalışmada ele alınan araç rotalama problemini çözmek için Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmaların detayları aşağıda verilmiştir. Bu çalışmada Araştırma ve Yayın Etiğine uyulmuştur.

4.1. Clarke-Wright Tasarruf Algoritması

Clarke-Wright tasarruf algoritması 1964 yılında Clarke ve Wright tarafından ARP'yi çözmek için geliştirilmiştir. Clarke-Wright tasarruf algoritmasında bir adet ana depo ve birden fazla dağıtım noktası vardır (Toth ve Vigo, 2002). Tasarruf algoritmasının adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Her müşteri çifti için tasarruflar $s_{ij} = d_{io} + d_{oj} - d_{ij}$ formülüne göre hesaplanmaktadır. d_{io} i 'den ana depoya seyahat mesafesini, d_{oj} 0 'dan j 'ye olan seyahat mesafesini, d_{ij} ise i 'den j 'ye olan seyahat mesafesini göstermektedir. s_{ij} değerleri büyükten küçüğe sıralanır.

Adım 2: Araç kapasite kısıtı dikkate alınarak iki güzergâh birleştirilir. Tasarruf sağlayamayan uygun birleşmeler olması durumunda sezgisel yöntem sonuçlanmış olur. Kapasite ile doğru orantılı biçimde tasarruf değeri yüksek olanlar birbirine ve depoya bağlanmaya çalışılır. Sıralı algoritmada güzergâhlara aynı anda iki rotaya gidilmez. Güzergâh içerisinde araç kapasitesinin hepsi kullanılmalıdır ya da uygun durumlar yola eklenir. Aşımelerde yeni yollar için çalışma yapılır ve mevcuttan eklemeler yapılır (Yazgan ve diğ., 2014).

4.2. Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma

Bu çalışmada kullanılan ikinci algoritma Kır, Yazgan ve Tüncel (2017) tarafından geliştirilen komşuluk aramasına dayalı yeni bir yerel aramalı sezgisel algoritmadır. Algoritmanın detayları aşağıdaki gibidir.

Ziyaret edilecek noktalar, p elemanı olan S kümesi ile belirtilir $S = \{1, \dots, p\}$. Tüm noktalar P set ile belirtilir $P = \{(x_i, y_i) : i \in S\}$. $\Delta_{ij} = \left((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \right)^{0,5}$ ise S kümesinin elemanları arasındaki mesafeyi belirten mesafe matrisidir. Çözüm, k rotalarının ve aynı zamanda araçların R kümesi, $R_k \subseteq S$ ve t araç sayısı k araç sayısından daha az ve eşittir. Ziyaret edilecek tüm noktaların bir talebi vardır ve toplam talebin karşılanması serbest araçların kapasitesi olarak kabul edilir $\sum d_i \leq tC$.

Amaç fonksiyonu;

$$F = \sum_{k=1}^t \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \pi_{ijk} \Delta_{ij} \text{ hepsi için } i, j \in S, i \neq j \text{ ve } k \leq t.$$

Burada;

$$\pi_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{i. müşteriden j. müşteriye k aracı ile gidiliyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Bir çözüm aranırken kapasite kısıtı dikkate alınmalı ve her atamada kalan kapasite azaltılmadır. Bu nedenle aday çözümün fizibilitesini kontrol etmek için bir fonksiyon belirlemektedir.

$$\sum_{k=1}^t \pi_{ijk} d_j \leq C \quad \text{for all } i, j \in S \text{ and } i \neq j.$$

Algoritmanın performansına ilk çözüm kalitesi etki etmektedir. Algoritmanın detayları adım adım aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Rastgele bir i noktasından başlayıp ve Δ_{ij} 'nin minimum değeri göz önünde bulundurarak burada $S = S^*$ ve $R_k = R_{k^*}$ olduğunda π_{ijk} 1 olarak belirlenir.

Adım 2: $\bar{C}_k = C_k + d_j$ ve $S = S^* \setminus \{j\}$ ve $R_{k^*} = R_k \cup \{j\}$ hesaplanır.

Adım 3: $\bar{C}_k \geq C$ gerçekleşene kadar aşama 1 ve 2 tekrarlanır. Gerçekleşme durumunda $k=k+1$ olur.

Adım 4: $S^* \in \emptyset$ olana kadar önceki tüm adımları uygulanır. Sonunda ise tüm R_{k^*} bize çözümü ifade eder.

İlk çözümün belirlenmesinden sonra, yeni çözümlerin bulunmasına geçilir.

Bundan sonraki süreçte ise, komşuluk aramak için bir yer değiştirme prosedürü çalışır.

Adımlar aşağıdaki gibidir:

Aşama 1: Rulet tekerleği prensibi ile her bir rotadan R_{k^*} her bir denklemden i denklemini kullanarak seçilir.

$$p_k = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \pi_{ijk} \Delta_{ij}}{\sum_{k=1}^t \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \pi_{ijk} \Delta_{ij}}$$

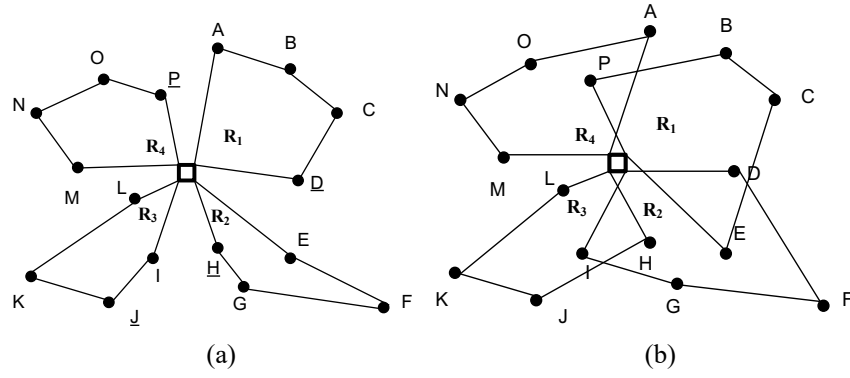
Aşama 2: Δ_{ij} matrisine göre seçilen her noktaya en yakın ikinci noktaları belirleyin.

Aşama 3: R_1 'den başlanır ve seçilen noktayı en yakın ikinci noktasıyla yeniden konumlandırın. Seçilen nokta ve ikinci noktası aynı rotadaysa, yerini değiştirmeyin. Böylece çözüm alanını çok fazla geliştirmeyi önleyebiliriz.

Aşama 4': Yer değiştirirken, $\bar{C}_k = C_k + d_j$ kapasitesi kontrol edilmelidir.

Aşama 5: Aşama 1 de seçilen tüm noktalar için Aşama 2 ve 3 tekrarlanır.

Yer değiştirme prosedürü Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'in (a) kısmında D, H, J ve P noktaları rastgele seçilmiştir. İkinci sırada sırasıyla E, I, H ve A bulunur. Şekil 1'in (b) kısmında, kapasite kısıtlamasının aşılmaması koşuluyla yer değiştirmeden sonra bize komşu bir çözüm gösterilmektedir.



Şekil 1. Yer değiştirme

Ayrıca, önerilen algoritmada döngüyü önlemek için bir hareket listesi vardır. Bu liste, son yinelemelerde bunlardan biri kullanılıyorsa, birkaç yineleme için bazı özel çözüm kümelerinin kullanılmasını yasaklar. Bu nedenle, arama yerel optimum noktaların etrafında dolaşmaz. Listenin boyutunu deneysel olarak belirlemeyi tercih ettik.

Son olarak, önerilen algoritmanın her bir yinelemesinde, iki rotayı ayrı rotalarda bırakmak yerine aynı rotada sunarak gerçekleştirilebilir, çözümü geliştirmek için uygulanır ve yeni bir çözüm olarak tabu olmayan bir çözüm seçilir. Bir ilk çözelti adımları belirlendikten sonraki algoritma, kodlarla Şekil 2’de özetlenebilir (Kır ve diğ., 2017).

```

while ( $F = F_0$  and  $k = 1$ )
 $F^* = F_k$ 
if (İçermez ise ( $F^*$ , tabu list) ve içermez ise (değişiklik listesi)) or ( $F^* > F_{best}$ )
     $c(F^*) = k \times \text{Kapasite ihlali}$ 
    if ( $c(F^*) < c(F)$ )
        set  $F = F^*$  and  $c(F) = c(F^*)$ 
    Güncelleme (frekans matrisi, tabu listesi, değişiklik listesi, değişiklik matrisi,  $k$ )
    end
    if ( $F > F_{best}$  ve  $s$  uygun)
         $F_{best} = F$ 
    end
end
return ( $F_{best}$ )

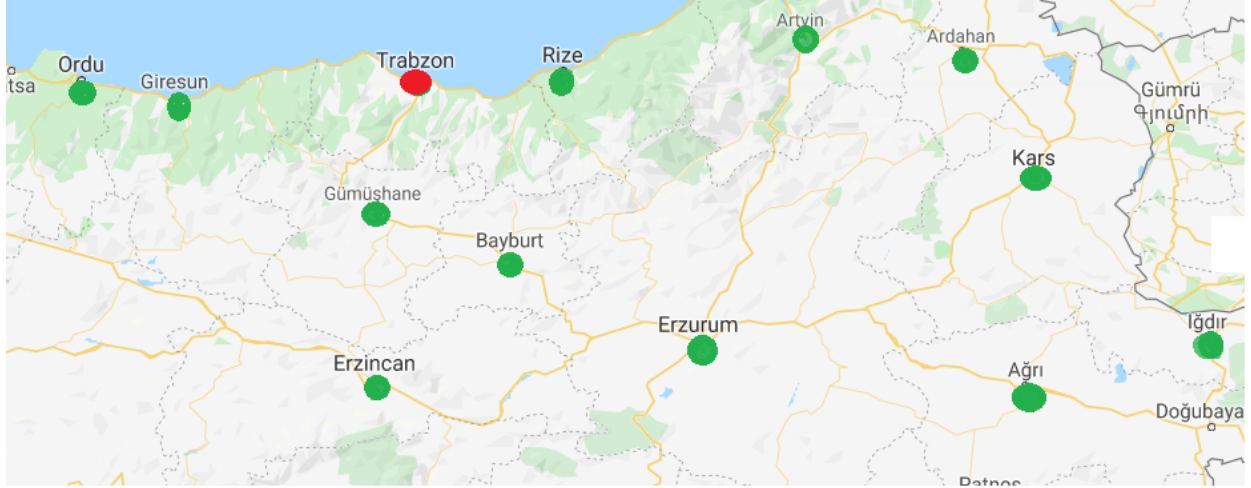
```

Şekil 2. Yerel aramalı sezgisel algoritmanın kodları

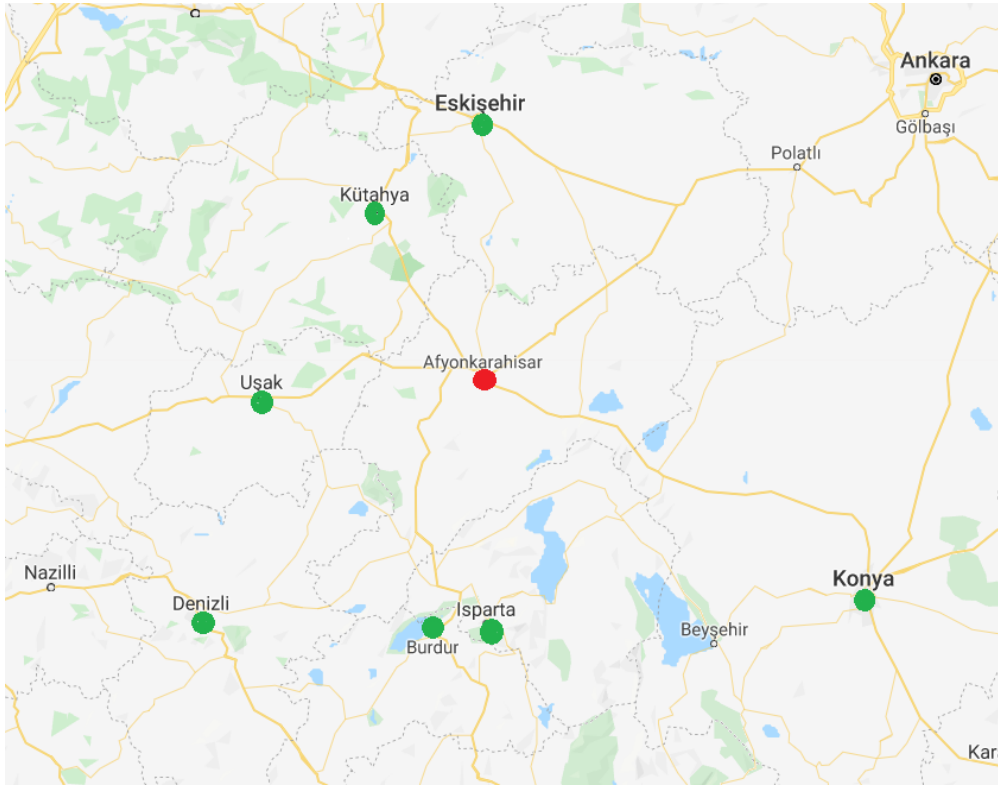
5.Uygulama

5.1 Problemin Tanımı

Bu çalışmada Gebze’de faaliyet gösteren bir boya fabrikasının Trabzon ve Afyonkarahisar’da bulunan iki ana deposundan Türkiye genelindeki müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için en uygun araç rotalarını belirlediği problem ele alınmıştır. Bu makale, yazarlardan Ecem Nükte KILIÇ’ın Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir. Makalede yapılan çalışma için herhangi bir yasal/özel izin gerekmemiştir. Şekil 3 ve Şekil 4’te iki ana depo ve dağıtım yapılacak olan iller gösterilmektedir.



Şekil 3. Trabzon depo ve dağıtım yapılacak iller



Şekil 4. Afyonkarahisar depo ve dağıtım yapılacak iller

Trabzon deposunun dağıtım ürünleri, Trabzon hattından Iğdır hattına kadar olan güzergâhta yapılmaktadır. Bu hatta boya fabrikasının müşterilere dağıtım yaptığı toplam 360 adet müşterisi mevcuttur. Afyonkarahisar deposunun dağıtım ürünleri, Afyonkarahisar hattından Konya hattına kadar olan güzergâhta yapılmaktadır. Bu hatta boya fabrikasının müşterilere dağıtım yaptığı toplam 400 adet müşterisi mevcuttur.

Üç aylık toplanan talepler dikkate alınarak; her gün için bölüm 4'te aşamaları verilen algoritmalar kullanılarak dağıtımın yapılacağı en uygun araç rotaları oluşturulmuştur. Oluşturulan rotaların toplam km'leri hesaplanmış ve Afyonkarahisar depo için Tablo 1'de, Trabzon depo için ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Afyonkarahisar deposundan karşılan üç aylık talepler sonucunda oluşturulan rotaların toplam mesafeleri

Çalışılan Gün Sayısı	Müşteri Sayısı	Toplam Km (A)	Toplam Km (B)
1	13	616,66	486,29
2	4	254,68	243,61
3	9	752,88	751,58
4	10	1073,80	301,15
5	3	277,06	273,72
6	5	142,83	154,07
7	7	472,38	457,80
8	6	296,85	283,19
9	5	409,56	157,46
10	13	597,15	641,06
11	2	44,40	109,28
12	4	109,28	100,00
13	2	98,96	102,96
14	2	357,93	400,00
15	11	605,13	735,40
16	13	842,36	690,00
17	13	842,36	838,36
18	13	1531,55	1470,80
19	11	593,69	911,00
20	4	28,92	50,01
21	8	656,51	588,32
22	6	586,81	556,99
23	2	64,01	59,99
24	8	1148,67	308,00
25	4	347,61	378,76
26	2	104,97	125,02
27	4	254,68	250,04
28	6	315,78	122,00
29	7	579,07	673,00
30	10	1041,11	1029,56
31	6	672,00	449,01
32	19	1856,79	870,00
33	14	1217,50	1035,01
34	2	100,68	147,08
35	13	814,56	628,00
36	11	1513,49	840,01
37	4	351,92	294,16
38	8	823,43	622,00
39	4	413,00	402,00
40	4	351,92	600,00
41	2	186,72	449,01
42	4	534,33	382,00
43	2	93,79	201,84
44	3	623,81	600,00
45	8	823,43	547,01
46	2	100,00	80,00
47	3	206,50	240,01
48	5	438,81	400,00
49	4	530,02	530,02

A: Clarke-Wright Tasarruf Algoritması, B: Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma

Tablo 2. Trabzon deposundan karşılan üç aylık talepler sonucunda oluşturulan rotaların toplam mesafeleri

Çalışılan Gün Sayısı	Müşteri Sayısı	Toplam Km (A)	Toplam Km (B)
1	9	92,93	92,93
2	14	318,36	193,60
3	8	554,11	544,20
4	15	230,59	265,01
5	6	683,17	588,32
6	3	87,76	73,54
7	5	361,38	361,38
8	4	410,43	410,43
9	4	437,09	308,87
10	7	1065,20	1029,56
11	3	74,36	66,19
12	3	92,93	92,93
13	8	1077,25	727,06
14	4	228,02	185,32
15	2	67,66	58,83
16	3	225,43	232,31
17	2	170,36	250,43
18	4	554,98	544,20
19	2	92,93	73,54
20	9	1292,35	743,01
21	2	45,26	67,00
22	4	117,88	90,84
23	3	151,43	217,91
24	5	458,61	480,00
25	2	172,95	164,73
26	2	147,08	105,00
27	6	1021,33	321,00
28	2	1292,35	1289,90
29	4	53,86	52,95
30	5	295,13	212,00
31	4	634,14	329,00
32	4	355,36	807,00
33	2	524,00	878,00
34	2	102,96	88,25
35	5	55,24	76,00
36	4	482,70	441,24
37	3	817,40	957,99
38	5	112,72	88,25
39	3	380,31	535,01
40	2	88,25	73,54
41	5	147,08	117,66
42	2	473,23	642,01
43	4	69,52	58,83
44	2	235,76	267,00
45	5	147,08	117,66
46	2	662,52	732,00
47	7	113,58	73,54
48	3	1127,15	819,00
49	2	192,73	191,20
50	3	58,83	65,99
51	5	100,68	226,00
52	4	367,70	367,70
53	5	293,41	382,00
54	2	270,17	496,00
55	5	53,35	65,99
56	2	367,41	294,16

57	3	100,68	137,01
58	2	196,18	191,20
59	5	127,34	117,66

A: Clarke-Wright Tasarruf Algoritması, B: Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma

Üç ayda boya fabrikasında ürün sevkiyatı yapan araçlar toplamda 20079,95 km yol kat ederken harcadığı yakıt maliyeti 13652,36 TL'dir. Hesaplamalara göre kilometre başına yakılan litre ücreti 0,6799 TL'dir. Toplam mesafeye göre hesaplanan maliyetler Afyonkarahisar depo için Tablo 3'te ve Trabzon depo için Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Afyonkarahisar deposundan yapılan dağıtımların maliyetleri (TL)

Talepler	A	B	C
1	419,27	330,63	428,04
2	173,16	165,63	179,01
3	511,88	511,00	526,50
4	730,08	204,75	748,80
5	188,37	186,10	214,70
6	97,11	104,75	111,74
7	321,17	311,26	339,30
8	201,83	192,54	238,10
9	278,46	107,06	322,34
10	406,00	435,86	425,00
11	30,19	74,30	48,91
12	74,30	67,99	81,32
13	67,28	70,00	74,88
14	243,36	271,96	267,93
15	411,43	500,00	455,31
16	572,72	469,13	579,74
17	572,72	570,00	582,66
18	1041,30	1000,00	1077,57
19	403,65	619,39	447,53
20	19,66	34,00	28,43
21	446,36	400,00	470,93
22	398,97	378,70	417,69
23	43,52	40,79	87,40
24	780,98	209,41	789,75
25	236,34	257,52	260,91
26	71,37	85,00	90,09
27	173,16	170,00	200,07
28	214,70	82,95	223,47
29	393,71	457,57	418,28
30	707,85	700,00	726,57
31	456,89	305,28	475,61
32	1262,43	591,51	1271,21
33	827,78	703,70	852,35
34	68,45	100,00	87,17
35	553,82	426,98	590,09
36	1029,02	571,12	1034,87
37	239,27	200,00	248,04
38	559,85	422,90	570,96
39	280,80	273,32	295,43
40	239,27	407,94	252,14
41	126,95	305,28	162,05
42	363,29	259,72	383,18
43	63,77	137,23	105,30
44	424,13	407,94	431,15
45	559,85	371,91	568,62
46	67,99	54,39	72,00
47	140,40	163,18	164,97

48	298,35	271,96	307,13
49	360,36	360,36	369,72
Toplam:	18153,57	15343,01	19104,96

A: Clarke-Wright tasarruf algoritması, B: Yerel aramalı sezgisel algoritma, C:Firma sonuçları

Tablo 4. Trabzon deposundan yapılan dağıtımların maliyetleri (TL)

Talepler	A	B	C
1	63,18	63,18	84,83
2	216,45	131,63	248,63
3	376,74	370,00	421,20
4	156,78	180,18	175,50
5	464,49	400,00	468,00
6	59,67	50,00	64,35
7	245,70	245,70	260,33
8	279,05	279,05	287,82
9	297,18	210,00	304,20
10	724,23	700,00	819,00
11	50,56	45,00	60,72
12	63,18	63,18	64,35
13	732,42	494,33	734,18
14	155,03	126,00	160,88
15	46,00	40,00	60,00
16	153,27	157,95	157,95
17	115,83	170,27	117,00
18	377,33	370,00	409,50
19	63,18	50,00	64,35
20	878,67	505,17	936,00
21	30,77	45,55	38,03
22	80,15	61,76	87,75
23	102,96	148,16	114,08
24	311,81	326,35	333,45
25	117,59	112,00	128,70
26	100,00	71,39	130,00
27	694,40	218,25	643,50
28	878,67	877,00	760,50
29	36,62	36,00	36,27
30	200,66	144,14	200,66
31	431,15	223,69	438,75
32	241,61	548,68	241,61
33	356,27	596,95	362,70
34	70,00	60,00	100,00
35	37,56	51,67	38,61
36	328,19	300,00	328,77
37	555,75	651,34	558,68
38	76,64	60,00	79,56
39	258,57	363,75	263,25
40	60,00	50,00	60,00
41	100,00	80,00	120,00
42	321,75	436,50	351,00
43	47,27	40,00	58,50
44	160,29	181,53	161,46
45	100,00	80,00	120,00
46	450,45	497,69	462,15
47	77,22	50,00	79,56
48	766,35	556,84	830,70
49	131,04	130,00	187,20
50	40,00	44,87	46,80
51	68,45	153,66	67,28
52	250,00	250,00	380,25

53	199,49	259,72	198,90
54	183,69	337,23	187,20
55	36,27	44,87	46,80
56	249,80	200,00	263,25
57	68,45	93,15	81,90
58	133,38	130,00	175,50
59	86,58	80,00	93,60
Toplam:	13958,79	13244,38	14755,71

A: Clarke-Wright tasarruf algoritması, B: Yerel aramalı sezgisel algoritma, C:Firma sonuçları

5.2. Sonuçların Friedman Testi ile Yorumlanması

Bu çalışmada Afyonkarahisar depo ve Trabzon deponun sonuçlarını istatistiksel olarak karşılaştırmak için 0,05 anlamlılık düzeyinde Friedman testi uygulanmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir. Bu çalışmada ilk olarak Afyonkarahisar depo için;

H₀: “Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma sonucunda bulduğumuz sonuç ile firma verileri arasında maliyet farkı yoktur”

H_a: “Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma sonucunda bulduğumuz sonuç ile firma verileri arasında maliyet farkı vardır”

Olacak şekilde hipotezler tanımlanmıştır. Tablo 5 Afyonkarahisar depo için Friedman test sonuçlarını göstermektedir. Friedman test ($p \leq 0.05$), bu nedenle sıfır hipotezi reddedilir. Bu durumda, sonuçların toplamına baktığımızda Afyonkarahisar depo hattındaki geçmiş verilerinin toplamı 19104,96 TL’dir. Clarke-Wright tasarruf algoritmasının uygulanması ile elde edilen sonucun 18153,57 TL ve yerel aramalı sezgisel algoritmanın uygulanması ile elde edilen sonucun ise 15343,01 TL olduğunu görüyoruz. Bu durumda yerel aramalı sezgisel algoritmayı uyguladığımızda daha iyi sonuçlar elde ettiğimizi söyleyebiliriz. Ayrıca Tablo 6’daki Mean Rank sonuçları da yerel aramalı sezgisel algoritmanın diğerlerine göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini doğrulamaktadır.

Tablo 5. Afyonkarahisar depo için Friedman istatistiği

Total N	49
Chi-Square	44,687
df	2
p-value	0.0000

Tablo 6. Afyonkarahisar depo için Friedman testi sıra ortalamaları

	Mean Rank
A	1,66
B	1,56
C	2,78

Trabzon depo için;

H₀: “Clarke-Wright tasarruf algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma sonucunda bulduğumuz sonuç ile firma verileri arasında maliyet farkı yoktur”

H_a: “Clarke-Wright tasarruf algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma sonucunda bulduğumuz sonuç ile firma verileri arasında maliyet farkı vardır”

Olacak şekilde hipotezler tanımlanmıştır. Tablo 7 Trabzon depo için Friedman test sonuçlarını göstermektedir. Friedman test ($p \leq 0.05$), bu nedenle sıfır hipotezi reddedilebilir. Bu durumda, sonuçların toplamına baktığımızda Trabzon depo hattındaki geçmiş verilerinin toplamı 14755,71 TL’dir. Clarke-Wright tasarruf algoritmasının uygulanması ile elde edilen sonucun 13958,79 TL ve yerel aramalı sezgisel algoritmanın uygulanması ile elde edilen sonucun ise 13244,38 TL olduğunu görüyoruz. Bu durumda yerel aramalı sezgisel algoritmayı uyguladığımızda daha iyi sonuçlar elde ettiğimizi söyleyebiliriz. Ayrıca Tablo 8’deki Mean Rank sonuçları da yerel aramalı sezgisel algoritmanın diğerlerine göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini doğrulamaktadır.

Tablo 7. Trabzon depo için Friedman istatistiği

Total N	59
Chi-Square	32,458
df	2
p-value	0.0000

Tablo 8. Trabzon depo için Friedman testi sıra ortalamaları

	Mean Rank
A	1,73
B	1,68
C	2,59

6. Sonuç

Tedarik zinciri yönetiminde odak noktası; doğru ürünün doğru zamanda tedarik edilmesi, doğru miktarda üretimi ve doğru zamanda ulaştırılmasıdır. Zincirin tüm halkalarında, rekabet avantajı ve katma değer sağlanması hedeflenir.

Bu hedefleri gerçekleştirebilmek araç rotalama işleminin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesiyle mümkündür. Araç Rotalama Problemi, gerçek hayatta her alanda karşılaşılan bir problemdir. Ticaretin başlamasından beri ürünlerin belirli bir yerden başka bir yere taşınması, dünya ekonomisi açısından çok önemli bir yere sahiptir. Bu problemin çözülmesi için araştırmacılar yıllardır çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu sebepten dağıtım sisteminde yapılan ufak bir geliştirme, tatmin edici bir maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Dağıtım merkezinin yeri ve dağıtımın yapılacağı müşteriler, dağıtım sisteminin iki parçasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada Gebze'de faaliyet gösteren bir boya fabrikasının Trabzon ve Afyonkarahisar'da bulunan iki ana deposundan Türkiye genelindeki müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için en uygun araç rotalarını belirlediği problem ele alınmıştır. Trabzon deposunun dağıtım ürünleri, Trabzon hattından Iğdır hattına kadar olan güzergâhta yapılmaktadır. Bu hatta boya fabrikasının müşterilere dağıtım yaptığı toplam 360 adet müşterisi mevcuttur. Afyonkarahisar deposunun dağıtım ürünleri, Afyonkarahisar hattından Konya hattına kadar olan güzergâhta yapılmaktadır. Bu hatta boya fabrikasının müşterilere dağıtım yaptığı toplam 400 adet müşterisi mevcuttur. Üç aylık toplanan talepler dikkate alınarak; her gün için Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma kullanılarak dağıtımın yapılacağı en uygun araç rotaları oluşturulmuştur. Oluşturulan rotaların toplam mesafeleri ve bu toplam mesafeye göre de maliyetler hesaplanmıştır. Son olarak ise elde edilen sonuçlar ve firmadan alınan gerçek sonuçlar FRIEDMAN testi yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Friedman testi sonuçlarını incelediğimizde Afyonkarahisar ve Trabzon depo için algoritmalar ile elde edilen sonuçlar ile firma sonuçları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Afyonkarahisar depo hattındaki firma verilerinin toplamı 19104,96 TL'dir. Clarke-Wright tasarruf algoritması uygulaması ile elde edilen sonucun 18153,57 TL ve yerel aramalı sezgisel algoritması uygulama ile elde edilen sonucun ise 15343,01 TL olduğunu görüyoruz. Trabzon depo hattındaki firma verilerinin toplamı 14755,71 TL'dir. Clarke-Wright tasarruf algoritması uygulaması ile elde edilen sonucun 13958,79 TL ve yerel aramalı sezgisel algoritma ile elde edilen sonucun ise 13244,38 TL olduğunu görüyoruz. Bu durumda Afyonkarahisar depo ve Trabzon deponun her ikisi içinde yerel aramalı sezgisel algoritmayı uyguladığımızda daha iyi sonuçlar elde ettiğimizi söyleyebiliriz.

Bu çalışmada ele alınan problemde ürünlerin teslim zamanı ile ilgili kısıt dikkate alınmamıştır. Bundan sonraki çalışmamıza bu kısıtın da eklenmesi düşünülmektedir. Ayrıca bu problemde ürün dağıtımını yapan araçların sayısı sınırsız olarak ele alınmıştır. Zaman kısıtına ilave olarak araç sayısının sabit tutulması kısıtı da modele eklenebilir. Böylece ele alınan problemin gerçek hayat problemlerine yaklaştırılması düşünülmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Serap ERCAN CÖMERT, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması ve istatistiki analizler; Harun Reşit YAZGAN, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması ve makale çıktılarının yorumlanması; Ecem Nükte KILIÇ, verilerin toplanması, bilgisayar ortamına aktarılması, bilgisayar kodlarının oluşturulması ve uygulanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abdulmajeed, N. H., & Ayob, M. (2014). A firework algorithm for solving capacitated vehicle routing problem. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 6(1), 79-86. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/86ac/1126fdaca8a5703d126be82a58fc114c8455.pdf>
- Ai, T. J., & Kachitvichyanukul, V. (2009). Particle swarm optimization and two solution representations for solving the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 380-387. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.06.012>
- Akpınar, S. (2016). Hybrid large neighbourhood search algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 61, 28-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.023>
- Baker, B. M., & Ayechev, M. A. (2003). A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 30(5), 787-800. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00051-5)
- Barbarosoglu, G., & Ozgur, D. (1999). A tabu search algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 26 (3), 255-270. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(98\)00047-1](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(98)00047-1)
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F., & Strauss, C. (1999). An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 89, 319-328. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1018940026670>
- Chen, P., Huang, H. K., & Dong, X. Y. (2010). Iterated variable neighborhood descent algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1620-1627. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.047>
- Çiçekdeş, B. (2011). *A genetic algorithm approach for a real life heterogeneous capacitated vehicle routing problem* (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, YÖK tez veri tabanından erişildi. Tez No. 307090
- Düzakın, E. ve Demircioğlu, M. (2009). Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 13(1), 68-87. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cuiibfd/issue/4151/54476>
- Erol, V. (2006). *Araç Rotalama Problemleri için Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, YÖK tez veri tabanından erişildi. Tez No. 180526
- Ho, S. C., & Gendreau, M. (2006). Path relinking for the vehicle routing problem. *Journal of Heuristics*, 12(1-2), 55-72. doi: <https://doi.org/10.1007/s10732-006-4192-1>
- Kao, Y., Chen, M. H., & Huang, Y. T. (2012). A hybrid algorithm based on ACO and PSO for capacitated vehicle routing problems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1155/2012/726564>
- Kır, S., Yazgan, H.R., & Tünel, E. (2017). A novel heuristic algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Journal of Industrial Engineering International*, 13, 323-330. doi: <https://doi.org/10.1007/S40092-017-0187-9>
- Lin, S. W., Lee, Z. J., Ying, K. C., & Lee, C. Y. (2009). Applying hybrid meta-heuristics for capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 1505-1512. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.060>

- Osman, I. H. (1993). Meta-strategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 41, 421-451. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02023004>
- Pichpibul, T., & Kawtummachai, R. (2012). An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Science Asia*, 38(3), 307- 318. doi: <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2012.38.307>
- Prins, C. (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 31(12), 1985-2002. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00158-8](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00158-8)
- Reimann, M., Doerner, K., & Hartl, R. F. (2004). D-ants: Savings based ants divide and conquer the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 31(4), 563-591. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00014-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00014-5)
- Rochat, Y., & Taillard, É. D. (1995). Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing. *Journal of Heuristics*, 1(1), 147-167. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02430370>
- Ruiz R., Maroto C., & Alcaraz J. (2004). A decision support system for a real vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 153, 593-606. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00265-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00265-0)
- Stanojević, M., Stanojević, B., & Vujošević, M. (2013). Enhanced savings calculation and its applications for solving capacitated vehicle routing problem. *Applied Mathematics and Computation*, 219(20), 10302-10312. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2013.04.002>
- Szeto, W. Y., Wu, Y., & Ho, S. C. (2011). An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 126-135. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.06.006>
- Şen, T., Yazgan, H. ve Ercan, S. (2015). Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için yeni bir algoritma geliştirilmesi: bir süpermarket zincirinde uygulanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 83- 88. doi: <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.33138>
- Taillard, É. (1993). Parallel iterative search methods for vehicle routing problems. *Networks*, 23(8), 661-673. doi: <https://doi.org/10.1002/net.3230230804>
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *An Overview of Vehicle Routing Problems-Chapter 1*, The vehicle routing problem, SIAM, Philadelphia, 1-26. doi: <https://doi.org/10.1137/1.9780898718515.ch1>
- Uyumaz, D. (2017). *Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Paralel Genetik Algoritma ile Çözümü* (Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, YÖK tez veri tabanından erişildi. Tez No. 459306
- Wang, C. H., & Lu, J. Z. (2009). A hybrid genetic algorithm that optimizes capacitated vehicle routing problems. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2921-2936. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.01.072>
- Yazgan, H., Ercan, S. ve Arslan, C. (2014). Talep ve kapasite kısıtlı optimizasyon problemi için yeni bir melez algoritma. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 25(1), 16-28. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/752226>