

Endüstri Mühendisliği

JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING

ISSN 1300-3410 E-ISSN 2667-7539

Yıl/Year: 2022 Cilt/Vol: 33 Sayı/No: 3



tmmob makina mühendisleri odası/ ucfea chamber of mechanical engineers

www.mmo.org.tr/endustri





TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ
UCTEA CHAMBER OF MECHANICAL ENGINEERS JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING

ISSN:300-3410 e-ISSN:2667-7539

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING

YIL/YEAR : 2022

CİLT/VOLUME : 33

SAYI/ ISSUE : 3



TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ
UCTEA CHAMBER OF MECHANICAL ENGINEERS JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING

ISSN:300-3410 e-ISSN:2667-7539

İMTİYAZ SAHİBİ / PRIVILEGE OWNER

Yunus YENER

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI / UCTEA CHAMBER OF MECHANICAL ENGINEERS
4 ayda bir yayımlanan hakemli bir dergidir / tri-annually published, double blind peer reviewed journal

SORUMLU YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ / PRODUCTION DIRECTOR

Yunus YENER

EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. Emin KAHYA

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/Eskişehir Osmangazi University

EDİTÖR YARDIMCILARI / ASSOCIATE EDITORS

Dr. Öğr. Üyesi Özgür YALÇINKAYA, Dokuz Eylül Üniversitesi/Dokuz Eylül University
Tülay YENER, MMO/Chamber of Mechanical Engineers

ALAN EDİTÖRLERİ / AREA EDITORS

Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ, Kocaeli Üniversitesi/Kocaeli University

Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN, Gazi Üniversitesi/Gazi University

Prof. Dr. Müjgan SAĞIR, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/Eskişehir Osmangazi University

Prof. Dr. Gülşen AYDIN KESKİN, Balıkesir Üniversitesi/Balıkesir University

Doç. Dr. Ali Yurdun ORBAK, Bursa Uludağ Üniversitesi/Bursa Uludağ University

ÖN KONTROL / PRE-CONTROL

Ceren YILMAZ ARAS

DİZGİ / PAGE-SETTING

Münevver POLAT

TEKNİK SORUMLU / TECHNICAL ASSISTANT

Mehmet AYDIN

BASKI/PRINTED BY

Ankamat Matbaacılık Sanayi Ltd. Şti.

30. Cadde 538. Sokak No: 60 İvedik Organize Sanayi- Ankara

Tel: (0312) 394 54 94

BASKI SAYISI/ CIRCULATION

1500

BASKI TARİHİ/ PUBLISHING DATE

31 Aralık 2022



YAYIN KURULU / PRODUCTION EDITORS

- Prof. Dr. Emin KAHYA, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir
Dr. Öğr. Üyesi Özgür YALÇINKAYA Dokuz Eylül Üniversitesi/Dokuz Eylül University, İzmir
Tülay YENER, MMO /Chamber of Mechanical Engineering, Ankara
Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ, Kocaeli Üniversitesi/Kocaeli University, İzmit
Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN, Gazi Üniversitesi/Gazi University, Ankara
Prof. Dr. Müjgan SAĞIR, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir
Prof. Dr. Gülşen AYDIN KESKİN, Balıkesir Üniversitesi/Balıkesir University, Balıkesir
Doç. Dr. Ali Yurdun ORBAK, Bursa Uludağ Üniversitesi/Bursa Uludağ University, Bursa

EDİTÖRLER KURULU / EDITORIAL BOARD

- Prof. Dr. Fereydoun AGHAZADEH, Louisiana State University, Louisiana, ABD
Prof. Dr. Selim AKTÜRK, Bilkent Üniversitesi/Bilkent University, Bilkent University, Ankara
Prof. Dr. Kuban ALTINEL, Boğaziçi Üniversitesi/Boğaziçi University, İstanbul
Prof. Dr. Sermet ANAGÜN, İzmir Ekonomi Üniversitesi/İzmir Ekonomi University, İzmir
Doç. Dr. Ceyhun ARAZ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi/Manisa Celal Bayar University, Manisa
Prof. Dr. Şükrü Alp BARAY, İstanbul Üniversitesi/İstanbul University, İstanbul
Prof. Dr. Yaman BARLAS, Boğaziçi Üniversitesi/Boğaziçi University, İstanbul
Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU, Dokuz Eylül Üniversitesi/Dokuz Eylül University, İzmir
Prof. Dr. Elliot BENDOLY, Ohio State University, Ohio, ABD
Prof. Dr. Fethi ÇALIŞIR, İstanbul Teknik Üniversitesi/İstanbul Technical University, İstanbul
Prof. Dr. Pascale CARAYON, University of Wisconsin, Wisconsin, ABD
Prof. Dr. Cafer ÇELİK, Atatürk Üniversitesi/Atatürk University, Erzurum
Prof. Dr. Berna DENGİZ, Başkent Üniversitesi/Başkent University, Ankara
Prof. Dr. Emrullah DEMİRCİ, Karadeniz Teknik Üniversitesi/Karadeniz Technical University, Trabzon
Prof. Dr. Türkay DERELİ, İskenderun Teknik Üniversitesi/İskenderun Technical University, Hatay
Prof. Dr. Bülent DURMUŞOĞLU, İstanbul Teknik Üniversitesi/İstanbul Technical University, İstanbul
Dr. Burak EKŞİOĞLU, Clemson University, Carolina, ABD
Dr. Sandra D. EKŞİOĞLU, Clemson University, Carolina, ABD
Prof. Dr. Birol ELEVİLİ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi/Ondokuz Mayıs University, Samsun
Prof. Dr. Erdal EMEL, Bursa Uludağ Üniversitesi/Bursa Uludağ University, Bursa
Prof. Dr. Ergün ERASLAN, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi/Yıldırım Beyazıt University, Ankara
Prof. Dr. Nihal ERGİNEL, Eskişehir Teknik Üniversitesi/Eskişehir Technical University, Eskişehir
Prof. Dr. Nesim ERKİP, Bilkent Üniversitesi/Bilkent University, Ankara
Prof. Dr. Doğan EROL, KTO Karatay Üniversitesi/KTO Karatay University, Konya
Prof. Dr. Rızvan EROL, Çukurova Üniversitesi/Çukurova University, Adana
Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ, Kırıkkale Üniversitesi/Kırıkkale University, Kırıkkale



- Prof. Dr. Cevriye GENCER, Gazi Üniversitesi/Gazi University, Ankara
Prof. Dr. Aşkiner GÜNGÖR, Pamukkale Üniversitesi/Pamukkale University, Denizli
Prof. Nataša Vujica HERZOG, University of Maribor, Maribor, Slovenya
Prof. Dr. İmdat KARA, Başkent Üniversitesi/Başkent University, Ankara
Prof. Dr. Ertuğrul KARSAK, Galatasaray Üniversitesi/Galatasaray University, İstanbul
Prof. Dr. Refail KASIMBEYLİ, Eskişehir Teknik Üniversitesi/Eskişehir Technical University, Eskişehir
Prof. Dr. Mohammad T. KHASAWNEH, The State University of New York, New York, ABD
Prof. Dr. Ömer KIRCA, Orta Doğu Teknik Üniversitesi/Middle East Technical University, Ankara
Assoc. Prof. Orhan KORHAN, Eastern Mediterranean University, Famagusta, KKTC
Prof. Dr. Cemalettin KUBAT, Sakarya Üniversitesi/Sakarya University, Sakarya
Prof. Dr. Mustafa KURT, Gazi Üniversitesi/Gazi University, Ankara
Assoc. Prof. Dr. Abey KURUVİLLA, University of Wisconsin, Wisconsin, ABD
Prof. Dr. Mohamed LEBÇİR, University of Hertfordshire, Hertfordshire, İngiltere
Dr. Kapil Chalil MADATHIL, Clemson University, Carolina, ABD
Prof. Dr. Isabel L. NUNES, Nova University of Lisbon, Lisbon, Portekiz
Prof. Dr. Seniye Ümit OKTAY FIRAT, İstanbul Gedik Üniversitesi/ İstanbul Gedik University, İstanbul
Dr. Ender ÖZCAN, University of Nottingham, Nottingham, İngiltere
Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR, Süleyman Demirel Üniversitesi/Süleyman Demirel University, İsparta
Prof. Dr. A. Fahri ÖZOK, Okan Üniversitesi/ Okan University, İstanbul
Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN, Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Fatma PAKDİL, Eastern Connecticut State University, Connecticut, ABD
Prof. Dr. Ahmet PEKER, Konya Teknik Üniversitesi/Konya Technical University, Konya
Prof. Dr. Özden ÜSTÜN, Dumlupınar Üniversitesi/Kütahya Dumlupınar University, Kütahya
Rozann W. SAATY, Creative Decisions Foundation, Pittsburgh, ABD
Prof. Dr. Yasemin SERİN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi/Middle East Technical University, Ankara
Prof. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir
Prof. Dr. Murat Caner TESTİK, Hacettepe Üniversitesi/Hacettepe University, Ankara
Dr. Öğr. Üyesi Özay Umut TÜRKAN, Balıkesir Üniversitesi/Balıkesir University, Ankara
Prof. Dr. Serap ULUSAM SEÇKİNER, Gaziantep Üniversitesi/Gaziantep University, Ankara
Prof. Dr. Amaury Paulo De SOUZA, Universidade Federal de Vicosa, Brezilya
Prof. Dr. Bela VİZVARI, Eastern Mediterranean University, Famagusta, KKTC
Prof. Dr. Mithat ZEYDAN, Erciyes Üniversitesi/Erciyes University, Kayseri



Endüstri Mühendisliği Dergisi (ISSN: 1300-3410) 1989 yılında TMMOB Makine Mühendisleri Odası tarafından yayımlanmaya başlanmış, uluslararası ve hakemli bir dergidir.

Dergi; Üretim planlama, Kalite Kontrol, Üretim sistemleri, İnsan makine sistemleri (ergonomi, iş etüdü vb), Yöneyem Araştırması, Bilgi teknolojileri gibi Endüstri Mühendisliğinin muhtelif alanlarındaki makaleleri kabul etmektedir.

Dergi, EBSCO, Proquest ve Index Copernicus indeksler tarafından taranmaktadır.

Dergi 2019 yılından itibaren e-Dergi (e-ISSN : 2667-7539) olarak DergiPark sisteminde (<https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi>) makale kabule başlanmıştır.

Türkçe veya İngilizce dilinde yazılmış makaleler kabul edilir.

Mevcut Yayım Planı

Dergi yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos ve Aralık) yayımlanmaktadır. Bu sayılara ek olarak Yayın Kurulu'nun kararıyla, YA/EM Kongre ve EIM Kurultaylarında sunulan bildirimler için "Özel Sayı" yayımlanabilmektedir.

Değerlendirme Süreci

Makale, tüm dosyaları ile birlikte, Dergipark'daki sistemindeki web sayfasında (<https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi>) "Makale Gönder" ile yüklenir.

Açık Erişim Politikası

Dergi, bilimsel araştırmaları tüm insanlara ücretsiz sunarak bilginin paylaşımını amaçlamaktadır. Dergide yayımlanmış tüm makaleler açık erişim elde edilebilmektedir.

Tüm makaleler MMO'nun dergi sayfasında

<https://www.mmo.org.tr/endustri>

ve 2013 sonrası ise DergiPark®

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi>

mevcuttur.

Ücretlendirme Politikası

Hakem değerlendirme süreci tamamlanmış ve kabul edilmiş tüm makaleler; makale gönderim ve/veya değerlendirme ücreti alınmaksızın yayımlanmaktadır.

Journal of Industrial Engineering (ISSN: 1300-3410) is an international, peer reviewed journal and started publishing in 1989 by UCTEA Chamber of Mechanical Engineers.

The journal covers all aspects of Industrial Engineering including Production Planning and Production Systems, Quality Control, Human Machine Systems (Ergonomics and Work Study), Operations Research, Stochastic Models, Simulation, Inventory Control, Reliability and Information Technologies.

The Journal is indexed in EBSCO, Proquest and Index Copernicus.

Since 2019, as an electronic journal (e-ISSN: 2667-7539) hosted by DergiPark (<https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi>), online submissions are accepted.

Manuscripts written in Turkish or English language are accepted.

Current Publication Schedule

The Journal is published as 3 issues (April, August and December) per year. In addition to the regular issues, proceedings of the conferences which are organized by UCTEA Chamber of Mechanical Engineers and also Society of Operations Research are published as special issues depending upon the decision of the Editorial Board.

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/tr/pub/endustrimuhendisligi>

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://www.mmo.org.tr/endustri>

and also DergiPark® system, since 2013

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi>

Publication Fees

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



TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ
UCTEA CHAMBER OF MECHANICAL ENGINEERS JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING

ISSN:300-3410 e-ISSN:2667-7539

Dergi, halen, aşağıdaki indekslerce The journal is currently indexed in
taranmaktadır.



[TR Dizin](#)



[SOBIAD](#)



[EBSCO Host](#)



[Proquest](#)



[Index Copernicus](#)



[ResearchBib](#)



İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

	Sayfa
Effects Of Revising The Decisions In Supply Chains Tedarik Zincirlerinde Kararları Revize Etmenin Etkileri Mehmet ALEGÖZ	440 - 451
Tedarikçi Seçiminin Nihai Ürün Kalitesi Üzerinde Etkilerinin Yapısal Eşitlik Modeli İle Analizi Impact Of Supplier Selection On Final Product Quality: A Structural Equation Modeling Analysis Meryem ULUSKAN, Şule AKIN	452 - 468
Büyük Ölçekli Bir Üretim İşletmesinin Ofislerinde ROSA Ve Cornell Yöntemleri İle Ergonomik Risk Değerlendirmesi Ergonomic Risk Assessment With ROSA And Cornell Methods In The Offices Of A Large-Scale Manufacturing Enterprise Emin KAHYA, Filiz ERKAPLAN	469 - 483
An Integrated Performance Measurement Framework For Restaurant Chains: A Case Study In Istanbul Restoran Zincirleri İçin Entegre Bir Performans Ölçüm Çerçevesi: İstanbul'da Bir Vaka Çalışması Ayşegül PINARBAŞI ,Umut AYDIN ,Melis Almula KARADAYI, Hakan TOZAN	484 - 499
Tedarikçi Seçiminde Yeşil Kriterin Öneminin Araştırılması: Türk Gıda Sektörü Örneği Exploring The Importance Of Green Criteria In Supplier Selection: The Case Of The Turkish Food Industry Mustafa DALAY, Kazım SARI	500 - 513

EFFECTS OF REVISING THE DECISIONS IN SUPPLY CHAINSMehmet ALEGÖZ^{1*}¹Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 26555, EskişehirORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-6290-0448>

Keywords	Abstract
Supply Chain Management, Closed-Loop Supply Chains, Optimization, Game Theory	<i>Real life applications reveal that the supply chain actors may revise their decisions such as the wholesale prices or selling prices, when they feel that their decisions are no longer the optimal decisions for them. Motivating from this fact, this study investigates the economic and environmental effects of revising the decisions in a closed-loop supply chain consisting of a manufacturer, a remanufacturer, and a retailer. To this end, we propose game theory based models for the cases where the actors do not have the ability of revising their decisions (Case NR) and the actors have the ability of revising the decisions (Case R). After obtaining the equilibrium decisions in both cases, we compare the decisions under various parameter settings. Computational results bring significant managerial insights regarding the economic and environmental effects of revising the decisions in supply chains.</i>

TEDARİK ZİNCİRLERİNDE KARARLARI REVİZE ETMENİN ETKİLERİ

Anahtar Kelimeler	Öz
Tedarik Zinciri Yönetimi, Kapalı Devre Tedarik Zincirleri, Optimizasyon, Oyun Teorisi	<i>Gerçek hayat uygulamaları, tedarik zinciri aktörlerinin, verdikleri kararların kendileri için en iyi kararlar olmadığını düşündükleri durumlarda toptan ve perakende satış fiyatı gibi kararlarını revize ettiklerini göstermektedir. Bu gerçekten yola çıkarak, bu çalışma bir üretici, bir yeniden üretici ve bir perakendeciden oluşan kapalı devre bir tedarik zincirinde kararları revize edebilmenin ekonomik ve çevresel etkilerine odaklanmaktadır. Bu amaçla aktörlerin kararlarını revize etme imkanlarının olmadığı (Durum NR) ve aktörlerin kararlarını revize etme imkanlarının olduğu (Durum R) durumlara yönelik oyun teorisi temelli yaklaşımlar öne sürülmüştür. Her iki durum için de aktörlerin denge durumu kararları elde edildikten sonra, farklı parametreler altında bu kararlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplama sonuçları tedarik zincirlerinde kararları revize edebilmenin ekonomik ve çevresel etkileri konusunda önemli yönetsel bulguları beraberinde getirmiştir.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 28.04.2022	Submission Date : 28.04.2022
Kabul Tarihi : 12.09.2022	Accepted Date : 12.09.2022

1. Introduction

Closing the loop in a supply chain is among the well-known practices to improve the sustainability of supply chains (Banasik, Kanellopoulos, Claassen, Bloemhof-Ruwaard and van der Vorst, 2017). Existing studies

reveal that in addition to a decrease in the environmental impact, companies can have 40%-65% cost reduction by conducting appropriate remanufacturing strategies (Yi, Huang, Guo and Shi, 2016). Due to this economic and environmental benefits, closed-loop supply chains have been receiving a

*Corresponding author; Email: mehmetalegoz@eskisehir.edu.tr

growing attention in both the academia and industry (Saha, Sarmah and Moon, 2016). Real-life applications reveal that the actors may change their decisions when they feel that their decisions are no longer the best decisions for them. Motivating from this fact, in this study we investigate the economic and environmental effects of revising the decisions in supply chains. To this end, we consider a closed-loop supply chain including a manufacturer, a third-party remanufacturer and a retailer, where the manufacturer manufactures products from virgin materials and the remanufacturer collects and remanufactures the used products. Both the manufactured and remanufactured products are sold to the retailer and the retailer sells these products to customers. Manufactured and remanufactured products are assumed to be not perfect substitutes of each other and thus there is a competition between them. In addition to pricing and quantity decisions, we assume that the manufacturer and the remanufacturer have a sustainable design level decision. They may increase or decrease their sustainable design levels, which consequently yields to an increase or decrease in customer demand. In this problem setting, this study mainly focuses on the investigation of the following research question:

“What are the economic and environmental effects of revising the decisions in closed loop supply chains?”

In order to investigate this question, we consider two cases. In the first case (Case NR), we assume that once the actors make their decisions they cannot revise them, whereas in the second case (Case R), the actors can revise their decisions until they feel that they reach the optimal decisions for them. We propose game theory-based models for each of these cases and obtain the equilibrium decisions. Finally, we conduct a comprehensive computational study including several sensitivity analyses to make a comparison between these two cases under different parameter settings.

The rest of the paper is organized as follows. We discuss the related literature in the following section and present the model details in third section. Fourth section is dedicated to the analysis and equilibrium decisions and fifth

section is dedicated to numerical study. Finally, we conclude in sixth section.

2. Literature Review

In this section, we present the existing literature relevant to this study in two main streams. A stream of research compares different remanufacturing systems to gain insights regarding the effect of a change in the supply chain structure or supply chain costs. For instance, Choi, Li and Xu (2013) study the performance of different channel leaderships in a closed-loop supply chain and emphasize that the remanufacturing system's efficiency is highly related to a supply chain agent's proximity to the market. Zeng (2013) present a customer segmentation model to capture consumers' different behaviors with respect to product return. The findings are expected to be used by the retailers to increase the return volume. Saha et al. (2016) compare three different collection modes for used products and state that the remanufacturing rate is maximized when the used products are collected by the manufacturer. Heydari, Govindan and Jafari (2017) consider the government grants and report that the total supply chain profit is improved through coordination with contracts and after receiving government grants. Feng, Govindan and Li (2017) examine the performances of different recycling channels and express that the dual-recycling channel always outperforms its single channel counterparts from the recyclable dealer's and system's perspectives.

Moreover, Li, Liu, Fu and Liu (2020) compare the acquisition strategies of used products in different manufacturing-remanufacturing systems and indicate that if the total cost of acquiring and remanufacturing used products does not exceed a threshold, remanufacturing can bring more profit for the manufacturer as opposed to selling only new products. Tang, Wang and Zhou (2020) study the effect of contract mechanisms in remanufacturing systems and show that a remanufacturing system can achieve the same return rate as that in the centrally coordinated channel by employing a contract between the manufacturer and the retailer. Chen, Dong, Li and He (2021) examine the cost-sharing mechanism under different power structures in

a manufacturing-remanufacturing system and report that when the consumers are more satisfied with remanufactured products, the cost-sharing mechanism will reduce the profits of the members with less power. Zhou, Meng and Yuen (2021) investigate the manufacturer and remanufacturer's authorization strategies and state that authorized remanufacturing may give the manufacturer higher profit when an appropriate authorization fee is charged. Liu, Mantin and Song (2022) consider a manufacturing-remanufacturing system in which manufacturing costs of the rental and sales products differ. Based on their analysis, they report that these costs critically affect the manufacturer's renting or selling decisions. Huang, Shao, Meng, Zhang and Qiang (2022) compare the centralized and decentralized supply chains under disruptions and indicate that the centralized supply chain is better in terms of customer participation to collection process.

Another stream of research considers the environmental aspect of remanufacturing systems together with the economic aspect. For instance, Bazan, Jaber and Zaroni (2015) propose models that consider energy and carbon emissions and emphasize that energy is the main environmental cost component, thus targeting a reduction in energy usage is a priority. Bazan, Jaber and Zaroni (2017) propose models that consider energy, GHG emissions and the number of times to remanufacture (recover) a used item. Their analysis shows that incorporating these environmental costs suggest remanufacturing an item higher number of times. Chen and Akmalul'Ulya (2019) consider the greening efforts in green CLSC's and indicate that the retailer will put in more effort in greening the supply chain in the cases where the market responsiveness to his efforts is greater than that of the manufacturer. Yang, Hu and Huang (2020) study a remanufacturing system under the cap-and-trade regulation, where the collecting operations can be carried out by a manufacturer or a retailer or a third party. Their analysis reveals that when the manufacturer subjects to a stringent emission control, total carbon emissions are always the lowest in the third-party collecting mode. Yu, Bai, Xiong and Liao (2021) evaluate the greenhouse gas emissions, water consumption,

and the related costs of remanufacturing lithium-ion batteries. Their analysis reveals that among the considered batteries and remanufacturing approaches, remanufacturing NCM₁₁₁ cell with Direct Physical Recycling induces the least negative environmental impacts.

Although most of the studies in the literature assume one-time decisions for the actors, in real-life applications, supply chain actors may change their decisions once they observe that their decisions are no longer the optimal decisions. Motivating from this fact, different from the studies above, this study investigates the effects of revising the decisions in remanufacturing systems. Similar to the studies in the second stream, in this study we do not only focus on the economic aspect of the remanufacturing systems, but we also consider the environmental aspect by putting the sustainable design levels of the actors into account. To the best of our knowledge, this study is the first study in the literature, investigating the economic and environmental effects of revising the decisions in remanufacturing systems by proposing models for both cases and making a comparison between them.

3. Model Details

In this study, we consider a supply chain including a manufacturer, a remanufacturer, a retailer, and customers. The manufacturer manufactures a durable product such as household goods at a unit cost c_m . He has a sustainable design level denoted by s_m , which is an indicator of emitted CO₂ in manufacturing process. When the sustainable design level is high, the manufacturer emits less CO₂ and vice versa. Similar to Bai, Xu and Zhang (2018) we assume that the manufacturer pays $\theta_m s_m^2$ in order to be at sustainable design level, s_m , i.e., increasing the sustainable design level is less costly in lower sustainable design levels but brings a higher cost in higher levels. After the manufacturing process, the manufacturer sells these products to the retailer at a unit wholesale price, w_m . In this regard, we can present the manufacturer's objective function as in eq. (1).

$$\pi_M(w_m, s_m) = (w_m - c_m)d_m - \theta_m s_m^2 \quad (1)$$

The remanufacturer, on the other hand, collects the end-of-use products manufactured by

different manufacturers and makes the initial testing/sorting operation at a unit acquisition and testing/sorting cost, c_p . We assume that a fraction of products denoted by β_r is remanufacturable. He remanufactures these products at a unit remanufacturing cost, c_r . Similar to the manufacturer, the remanufacturer has also a sustainable design level denoted by s_r , which is an indicator of emitted CO₂ in remanufacturing process. The remanufacturer pays $\theta_r s_r^2$ in order to be at the sustainable design level, s_r . After the remanufacturing process, the remanufacturer sells the remanufactured products to the retailer at a unit wholesale price, w_r . In this context, retailer's objective function can be presented as in eq. (2).

$$\pi_X(w_r, s_r) = (w_r - c_r)d_r - \frac{c_p d_r}{\beta_r} - \theta_r s_r^2 \quad (2)$$

Finally, the retailer sells both the manufactured products wholesaled from the manufacturer and remanufactured products wholesaled from the remanufacturer at selling prices, p_m and p_r and obtains the profit presented in eq. (3).

$$\pi_R(p_m, p_r) = (p_m - w_m)d_m + (p_r - w_r)d_r \quad (3)$$

Similar to several existing studies, i.e., Zhang and Ren (2016), we assume that manufactured and remanufactured products compete with each other, and the customers have an environmental awareness. In this context, demand is represented by a function $d_m(p_m, p_r, s_m) = q_m - \gamma_1 p_m + \gamma_2 p_r + \gamma_3 s_m$ for manufactured products and $d_r(p_r, p_m, s_r) = q_r - \gamma_1 p_r + \gamma_2 p_m + \gamma_3 s_r$ for remanufactured products. Here, q_m and q_r are the market scales for manufactured and remanufactured products, respectively, γ_1 and γ_2 are the price coefficients and γ_3 is the customers' environmental awareness level. The demand is considered to be more sensitive to a product's own price than the competing product's price, i.e., $\gamma_1 > \gamma_2$. Moreover, we assume that $\gamma_1, \gamma_2 > \gamma_3$, i.e., customers are more sensitive to price than the environment and θ_m, θ_r are high enough to eliminate trivial solutions such as infinite investment to sustainable design, i.e., $\theta_m, \theta_r > \frac{\gamma_3}{2}$.

Considering the above-mentioned supply chain structure, we focus on two cases as follows. In

the first case (Case NR), the manufacturer and remanufacturer make sequential decisions. First, the manufacturer decides on w_m and s_m values which maximize his own profit denoted by $\pi_M(w_m, s_m)$. Then, the remanufacturer decides on w_r and s_r values which maximize his own profit denoted by $\pi_X(w_r, s_r)$. Finally, the retailer decides on the p_m and p_r values which maximize his own profit denoted by $\pi_R(p_m, p_r)$.

On the other hand, in the second case (Case R), the manufacturer and the remanufacturer have the ability of revising their decisions by considering the competing actor's decisions and in the end, they reach to an equilibrium, i.e., they no longer want to revise their decisions. In this context, in this case, first the manufacturer and the remanufacturer decide on their w_m, s_m and w_r, s_r values and reach to an equilibrium. Then, the retailer decides on the p_m and p_r values that maximize his own profit.

4. Method and Analysis

Research and publication ethics were complied with in this study. This study does not focus on a real-life case study in an instatation. Hence, there is no need for any instatational or ethical approval.

In this section, we present the equilibrium decisions in Case NR and Case R, respectively.

4.1. Equilibrium Decisions for Case NR

As stated earlier, in this case, the manufacturer, the remanufacturer and the retailer make sequential decisions. We model this problem as a Stackelberg Game model. The Stackelberg Game is a strategic game in which the leader firm moves first and then the followers move sequentially. It is named after the German economist Heinrich Freiherr von Stackelberg who published Market Structure and Equilibrium in 1934, which described the model (Chung, Yang, Chiou and Yi, 2010).

We use backward induction to solve the problem. We first consider the retailer's problem and propose the following theorem regarding the optimal selling price decisions of the retailer.

Theorem 1: In Case NR, retailer's optimal selling price decisions p_m, p_r , can be obtained as in Table 1.

Table 1.

Retailer’s Optimal Decisions in Case NR

$$p_m = \frac{\gamma_1 q_m + \gamma_2 q_r + (\gamma_1^2 - \gamma_2^2)w_m + (\gamma_1 s_m + \gamma_2 s_r)\gamma_3}{2(\gamma_1^2 - \gamma_2^2)}$$

$$p_r = \frac{\gamma_2 q_m + \gamma_1 q_r + (\gamma_1^2 - \gamma_2^2)w_r + (\gamma_2 s_m + \gamma_1 s_r)\gamma_3}{2(\gamma_1^2 - \gamma_2^2)}$$

Proof: Please see the Appendix.

After determining the optimal selling prices, next, we focus on the remanufacturer’s optimal wholesale price and sustainable design level decisions and present the following theorem.

Theorem 2: In Case NR, remanufacturer’s optimal wholesale price and sustainable design level decisions w_r, s_r can be determined as in Table 2.

Table 2.

Remanufacturer’s Optimal Decisions in Case NR

$$w_r = \frac{4\gamma_1\theta_r c_p + 4\beta_r\theta_r q_r + 4\beta_r\gamma_1\theta_r c_r + 4\beta_r\gamma_2\theta_r w_m - \gamma_3^2 c_p - \beta_r\gamma_3^2 c_r}{\beta_r(8\gamma_1\theta_r - \gamma_3^2)}$$

$$s_r = \frac{\gamma_3(\beta_r q_r + \beta_r\gamma_2 w_m - \gamma_1 c_p - \beta_r\gamma_1 c_r)}{\beta_r(8\gamma_1\theta_r - \gamma_3^2)}$$

Proof: Please see the Appendix.

Finally, we focus on the manufacturer’s optimal wholesale price and sustainable design level decisions and present the following theorem.

Theorem 3: In Case NR, manufacturer’s optimal wholesale price and sustainable design level decisions, w_m, s_m can be obtained as follows.

Table 3.

Manufacturer’s Optimal Decisions in Case NR

$$w_m = \frac{\left[\beta_r\theta_m\theta_r \left(32\gamma_1 q_m + 16\gamma_2 q_r + 32\gamma_1^2 c_m - 16\gamma_2^2 c_m + \frac{16\gamma_1\gamma_2 c_p}{\beta_r} + 16\gamma_1\gamma_2 c_r \right) - \gamma_3^2\theta_m(4\gamma_2 c_p + 4\beta_r q_m + 4\beta_r\gamma_1 c_m + 4\beta_r\gamma_2 c_r) + \beta_r\gamma_3^4 c_m - 8\beta_r\gamma_1\gamma_3^2\theta_r c_m \right]}{\beta_r(\gamma_3^4 + 64\gamma_1^2\theta_m\theta_r - 8\gamma_1\gamma_3^2\theta_m - 8\gamma_1\gamma_3^2\theta_r - 32\gamma_2^2\theta_m\theta_r)}$$

$$s_m = \frac{\gamma_3 \left[\beta_r\theta_r(4\gamma_2^2 c_m - 8\gamma_1^2 c_m + 8\gamma_1 q_m + 4\gamma_2 q_r + 4\gamma_1\gamma_2 c_r) + \beta_r\gamma_3^2(-q_m + \gamma_1 c_m - \gamma_2 c_r) + \gamma_2 c_p(4\gamma_1\theta_r - \gamma_3^2) \right]}{\beta_r(\gamma_3^4 + 64\gamma_1^2\theta_m\theta_r - 8\gamma_1\gamma_3^2\theta_m - 8\gamma_1\gamma_3^2\theta_r - 32\gamma_2^2\theta_m\theta_r)}$$

Proof: Please see the Appendix.

4.2. Equilibrium Decisions for Case R

In this case, different from the previous case, the manufacturer and the remanufacturer have the ability of revising their decisions based on the competing actor's decisions until a Nash Equilibrium is obtained between the manufacturer and remanufacturer. Nash Equilibrium, named after the mathematician John Forbes Nash, is a solution concept that describes a steady state condition of the game at which no player would prefer to change his

strategy as that would lower his payoffs given that all other players are adhering to the prescribed strategy (Chukwudi, Udoka and Charles, 2017).

We use backward induction to solve the problem. We first consider the retailer's problem and propose the following theorem.

Theorem 4: In Case R, retailer's optimal price decisions p_m, p_r can be obtained as follows.

Table 4.

Retailer's Optimal Decisions in Case R

$$p_m = \frac{\gamma_1 q_m + \gamma_2 q_r + (\gamma_1^2 - \gamma_2^2)w_m + (\gamma_1 s_m + \gamma_2 s_r)\gamma_3}{2(\gamma_1^2 - \gamma_2^2)}$$

$$p_r = \frac{\gamma_2 q_m + \gamma_1 q_r + (\gamma_1^2 - \gamma_2^2)w_r + (\gamma_2 s_m + \gamma_1 s_r)\gamma_3}{2(\gamma_1^2 - \gamma_2^2)}$$

Proof: Please see the Appendix.

Next, we focus on the optimal wholesale price and sustainable design level decisions of the manufacturer and remanufacturer and propose the following theorem.

Theorem 5: In Case R, manufacturer's optimal wholesale price and sustainable design level decisions w_m, s_m , and remanufacturer's optimal price and sustainable design level decisions w_r, s_r can be obtained as in Table 5.

Table 5.

Manufacturer and Remanufacturer's Optimal Decisions in Case R

$$w_m = \frac{\left[\beta_r \theta_m \theta_r \left(32\gamma_1 q_m + 16\gamma_2 q_r + 32\gamma_1^2 c_m + \frac{16\gamma_1 \gamma_2 c_p}{\beta_r} + 16\gamma_1 \gamma_2 c_r \right) + \beta_r \gamma_3^4 c_m \right] - 8\beta_r \gamma_1 \gamma_3^2 \theta_r c_m - \gamma_3^2 \theta_m (4\gamma_2 c_p + 4\beta_r q_m + 4\beta_r \gamma_1 c_m + 4\beta_r \gamma_2 c_r)}{\beta_r (\gamma_3^4 + 64\gamma_1^2 \theta_m \theta_r - 8\gamma_1 \gamma_3^2 \theta_m - 8\gamma_1 \gamma_3^2 \theta_r - 16\gamma_2^2 \theta_m \theta_r)}$$

$$s_m = \frac{\gamma_3 \left[\beta_r \theta_r \left(4\gamma_2^2 c_m - 8\gamma_1^2 c_m + 8\gamma_1 q_m + 4\gamma_2 q_r + 4\gamma_1 \gamma_2 c_r + \frac{4\gamma_1 \gamma_2 c_p}{\beta_r} \right) + \gamma_3^2 \beta_r (-q_m + \gamma_1 c_m - \gamma_2 c_r) - \gamma_3^2 \gamma_2 c_p \right]}{\beta_r (\gamma_3^4 + 64\gamma_1^2 \theta_m \theta_r - 8\gamma_1 \gamma_3^2 \theta_m - 8\gamma_1 \gamma_3^2 \theta_r - 16\gamma_2^2 \theta_m \theta_r)}$$

$$w_r = \frac{\left[\beta_r \theta_m \theta_r \left(16\gamma_2 q_m + 32\gamma_1 q_r + 32\gamma_1^2 c_r + 16\gamma_1 \gamma_2 c_m + \frac{32\gamma_1^2 c_p}{\beta_r} \right) + \beta_r \gamma_3^4 c_r + \gamma_3^4 c_p \right] + \gamma_3^2 \theta_r (-4\gamma_1 c_p - 4\beta_r q_r - 4\beta_r \gamma_2 c_m - 4\beta_r \gamma_1 c_r) + \gamma_1 \gamma_3^2 \theta_m (-8c_p - 8\beta_r c_r)}{\beta_r (\gamma_3^4 + 64\gamma_1^2 \theta_m \theta_r - 8\gamma_1 \gamma_3^2 \theta_m - 8\gamma_1 \gamma_3^2 \theta_r - 16\gamma_2^2 \theta_m \theta_r)}$$

$$s_r = \frac{\gamma_3 \left[\beta_r \theta_m (4\gamma_2^2 c_r - 8\gamma_1^2 c_r + 4\gamma_2 q_m + 8\gamma_1 q_r + 4\gamma_1 \gamma_2 c_m) - 8\gamma_1^2 \theta_m c_p + 4\gamma_2^2 \theta_m c_p \right] + \gamma_3^2 \beta_r (-q_r + \gamma_1 c_r - \gamma_2 c_m) + \gamma_3^2 \gamma_1 c_p}{\beta_r (\gamma_3^4 + 64\gamma_1^2 \theta_m \theta_r - 8\gamma_1 \gamma_3^2 \theta_m - 8\gamma_1 \gamma_3^2 \theta_r - 16\gamma_2^2 \theta_m \theta_r)}$$

Proof: Please see the Appendix.

5. Computational Study and Managerial Findings

we extend our analysis by making various sensitivity analyses.

We first create a base case problem with the parameters presented in Table 6 below. Then

Table 6.

Parameter Values for the Base Case Instance

q_m	q_r	γ_1	γ_2	γ_3	β_r	θ_m	θ_r	c_m	c_r	c_p
300	200	6	3	2	0.75	5	5	6	2	1

Computational results regarding these base case instance parameters are presented in Table 7, below.

Table 7.

Computational Results

Case	d_m	d_r	w_m	w_r	p_m	p_r	s_m	s_r	π_M	π_X	π_R	π_{system}
Case NR	84.2	68.8	38.1	30.3	64.5	54.9	3.2	2.3	2653.6	1549.3	3910.5	8113,4
Case R	89.8	67.1	35.9	29.7	63.3	54.6	3.0	2.2	2640.9	1473.9	4127.3	8242,1

Computational results reveal that, the profits of both the manufacturer and the remanufacturer decrease when the manufacturer and the remanufacturer have the ability of revising their decisions. This happens since both the manufacturer and the remanufacturer

decrease their wholesale prices while revising their decisions. This decrease in the wholesale prices, on one hand yields to an increase in the retailer's profit and on the other hand increases the supply chain efficiency, i.e., the systemwide profit becomes higher.

In addition to the decrease in the wholesale prices, the manufacturer and the remanufacturer also decrease the sustainable design levels to increase their competition power when they revise their decisions. Hence, revising the decisions can be considered as a threat in terms of the environment.

It should be emphasized that the analysis and insights so far are based on the base case instance parameters. In the following subsection, we extend our analysis by making a sensitivity analysis on the problem parameters to see the effects of parameters on the decisions of the actors.

Table 8.

Summary of the Sensitivity Analysis

Case	d_m	d_r	w_m	w_r	p_m	p_r	s_m	s_r	π_M	π_X	π_R
Min.	2.8%	-17.7%	-26.7%	-16.3%	-4.5%	-2.9%	-28.2%	-18.3%	-7.9%	-32.3%	1.9%
Mean	9.9%	-4.5%	-9.2%	-3.7%	-2.6%	-1.0%	-10.9%	-5.1%	-1.2%	-8.8%	6.4%
Max.	25.3%	-0.7%	-2.5%	-0.5%	-0.8%	-0.2%	0.0%	0.0%	-0.1%	-1.4%	8.2%

Various inferences can be made based on Table 8. First, we observe that due to the competition between them, when the manufacturer and the remanufacturer have the ability of revising their decisions, both actors decrease the wholesale prices. Hence, as Table 8 shows, the wholesale prices in Case R never exceed the wholesale prices in Case NR. Observing this decrease in the wholesale prices, the retailer also decreases the selling prices of both manufactured and remanufactured products to sell more products. Hence, as Table 8 shows, selling prices of the manufactured and remanufactured products in Case R never exceeds the selling prices in Case NR.

Above-mentioned changes in the wholesale and selling prices significantly affect the profits of the actors as well. Since the manufacturer and the remanufacturer decrease their wholesale prices, their profits also decrease. As Table 8 reveals, the profits of the manufacturer and remanufacturer in Case R never exceed those observed in Case NR. Hence, it is possible to claim the revising the decisions never yield

5.1. Sensitivity Analysis

In order to compare two cases under different parameter settings, we increase and decrease the value of one parameter at a time by 15%, 30% and 45%, and keep the remaining parameters constant at their base case values. A summary of the computational results is presented in Table 8 below. In that Table, percentage difference refers to the difference between Case NR and R. Minimum, mean and maximum refer to the minimum value, maximum value and mean of the instances, respectively.

to an economic benefit for the manufacturer and remanufacturer. On the other hand, when we focus on the retailer's profit, we observe that revising the decisions always improve the retailer's profit. In other words, the retailer benefits from this competition between the manufacturer and the remanufacturer.

Finally, when we focus on the environmental aspect of the supply chain, we observe from Table 8 that both the manufacturer and the remanufacturer decrease the sustainable design levels when they have the ability of revising their decisions. However, this decrease is less in the sustainable design level of the remanufactured products as opposed to the sustainable design level of the manufactured products. Hence, we can conclude that, revising the decisions is harmful to the environment especially in terms of the sustainable design level of the manufactured products.

6. Overall Discussion and Conclusion

In this study, we consider a closed-loop supply chain consisting of a manufacturer, a third-party remanufacturer and a retailer, and investigate the economic and environmental effects of revising the decisions in supply chains. To this end, we focus on two cases as the actors does not have the ability of revising their decisions (Case NR) and the actors have the ability of revising their decisions (Case R). We obtain the equilibrium decisions of the actors in both cases and compare them with each other under different parameter settings. Computational results and sensitivity analysis bring important insights regarding the effect of revising the decisions.

Our analysis brings significant managerial insights regarding the effects of revising the decisions in supply chains. Particularly, we observe that giving the ability of revising the decisions significantly deteriorates the profits of the manufacturer and remanufacturer. This happens since both actors decrease their wholesale prices to increase their competition power. As a result, the retailer purchases both manufactured and remanufactured products at lower wholesale prices which significantly improves his profit. To sum up, the competition between manufacturer and remanufacturer yields to a lose-lose situation for them and affects both of them negatively. The retailer, on the other hand, benefits from this competition between the manufacturer and retailer and increase his profit. Moreover, when we focus on the environmental aspect of the supply chain, we observe that both the manufacturer and the remanufacturer significantly decrease their sustainable design levels when they revise their decisions. This is again a result of the competition between the manufacturer and remanufacturer. By decreasing their sustainable design levels, they, in fact, try to decrease their total cost and increase their competition power. All in all, our analysis indicates that giving the ability of revising the decisions is harmful to the manufacturer, remanufacturer and environment and it is beneficial only to the retailer.

Our study can be extended in various ways in the future. First, in this study we consider a supply chain in which a third-party remanufacturer remanufactures the used

products. However, real-life applications reveal that different actors may enter the remanufacturing business. In this regard, consideration of the supply chain structures in which different actors such as the manufacturer, or the retailer makes remanufacturing may bring significant insights regarding those systems. Second, in this study we consider the environmental aspect of the supply chain by considering the environmental awareness of the customers. Consideration of some widely used emission policies such as carbon cap, carbon cap-and-trade or carbon tax may also bring important insights regarding the effect of revising the decisions under those policies.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest to declare.

References

- Banasik, A., Kanellopoulos, A., Claassen, G. D. H., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & van der Vorst, J. G. (2017). Closing loops in agricultural supply chains using multi-objective optimization: A case study of an industrial mushroom supply chain. *International Journal of Production Economics*, 183, 409-420. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.012>
- Bai, Q., Xu, J., & Zhang, Y. (2018). Emission reduction decision and coordination of a make-to-order supply chain with two products under cap-and-trade regulation. *Computers & Industrial Engineering*, 119, 131-145. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.03.032>
- Bazan, E., Jaber, M. Y., & Zanoni, S. (2015). Supply chain models with greenhouse gases emissions, energy usage and different coordination decisions. *Applied Mathematical Modelling*, 39(17), 5131-5151. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.03.044>
- Bazan, E., Jaber, M. Y., & Zanoni, S. (2017). Carbon emissions and energy effects on a two-level manufacturer-retailer closed-loop supply chain model with remanufacturing subject to different coordination mechanisms. *International Journal of Production Economics*, 183, 394-408. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.009>

- Chen, C. K., & Akmalul'Ulya, M. (2019). Analyses of the reward-penalty mechanism in green closed-loop supply chains with product remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 210, 211-223. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.006>
- Chen, H., Dong, Z., Li, G., & He, K. (2021). Remanufacturing process innovation in closed-loop supply chain under cost-sharing mechanism and different power structures. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107743. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107743>
- Choi, T. M., Li, Y., & Xu, L. (2013). Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 371-380. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.08.002>
- Chukwudi, A. E., Udoka, E., & Charles, I. (2017). Game theory basics and its application in cyber security. *Advances in Wireless Communications and Networks*, 3(4), 45-49. Doi : <https://doi.org/10.11648/j.awcn.20170304.13>
- Chung, L. K., Yang, L. S., Chiou, Y. C., & Yi, C. (2010). The study of Stackelberg equilibrium for post-disaster stockpiles distribution problem. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 8, 103-115. Doi : <https://doi.org/10.11175/easts.8.103>
- Feng, L., Govindan, K., & Li, C. (2017). Strategic planning: Design and coordination for dual-recycling channel reverse supply chain considering consumer behaviour. *European Journal of Operational Research*, 260(2), 601-612. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.12.050>
- Heydari, J., Govindan, K., & Jafari, A. (2017). Reverse and closed loop supply chain coordination by considering government role. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 379-398. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.008>
- Huang, Z., Shao, W., Meng, L., Zhang, G., & Qiang, Q. (2022). Pricing Decision for a Closed-Loop Supply Chain with Technology Licensing under Collection and Remanufacturing Cost Disruptions. *Sustainability*, 14(6), 3354. Doi : <https://doi.org/10.3390/su14063354>
- Li, K., Liu, J., Fu, H., & Liu, B. (2020). Acquisition and pricing strategies in hybrid manufacturing-remanufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 57, 217-230. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.09.006>
- Liu, J., Mantin, B., & Song, X. (2022). Rent, sell, and remanufacture: The manufacturer's choice when remanufacturing can be outsourced. *European Journal of Operational Research*. 303(1), 184-200. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.02.018>
- Saha, S., Sarmah, S. P., & Moon, I. (2016). Dual channel closed-loop supply chain coordination with a reward-driven remanufacturing policy. *International Journal of Production Research*, 54(5), 1503-1517. Doi : <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1090031>
- Tang, S., Wang, W., & Zhou, G. (2020). Remanufacturing in a competitive market: A closed-loop supply chain in a Stackelberg game framework. *Expert Systems with Applications*, 161, 113655. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113655>
- Yang, L., Hu, Y., & Huang, L. (2020). Collecting mode selection in a remanufacturing supply chain under cap-and-trade regulation. *European Journal of Operational Research*, 287(2), 480-496. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.006>
- Yi, P., Huang, M., Guo, L., & Shi, T. (2016). Dual recycling channel decision in retailer oriented closed-loop supply chain for construction machinery remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1393-1405. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.104>
- Yu, M., Bai, B., Xiong, S., & Liao, X. (2021). Evaluating environmental impacts and economic performance of remanufacturing electric vehicle lithium-ion batteries. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128935. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128935>
- Zeng, A. Z. (2013). Coordination mechanisms for a three-stage reverse supply chain to increase profitable returns. *Naval Research Logistics*, 60(1), 31-45. Doi : <https://doi.org/10.1002/nav.21517>
- Zhang, C. T., & Ren, M. L. (2016). Closed-loop supply chain coordination strategy for the remanufacture of patented products under competitive demand. *Applied Mathematical Modelling*, 40(13-14), 6243-6255. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.02.006>
- Zhou, Q., Meng, C., & Yuen, K. F. (2021). Remanufacturing authorization strategy for competition among OEM, authorized remanufacturer, and unauthorized remanufacturer. *International Journal of Production Economics*, 242, 108295. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108295>

Appendix

Proof of Theorem 1: Retailers profit function can be stated as $\pi_R(p_m, p_r) = (p_m - w_m)(q_m - \gamma_1 p_m + \gamma_2 p_r + \gamma_3 s_m) + (p_r - w_r)(q_r - \gamma_1 p_r + \gamma_2 p_m + \gamma_3 s_r)$. Hessian matrix for this function with respect to p_m and p_r can be obtained as $H = \begin{bmatrix} -2\gamma_1 & 2\gamma_2 \\ 2\gamma_2 & -2\gamma_1 \end{bmatrix}$. Since the determinant of the principal minor $(-2\gamma_1)$ is negative and the determinant of the Hessian matrix $(4\gamma_1^2 - 4\gamma_2^2)$ is positive, this function is jointly concave with respect to p_m and p_r . Optimal values of p_m and p_r can be obtained using the equations $\frac{\partial \pi_R(p_m, p_r)}{\partial p_m} = 0$ and $\frac{\partial \pi_R(p_m, p_r)}{\partial p_r} = 0$. When we jointly solve these two equations, we obtain the values of selling prices as presented in Table 1. ■

Proof of Theorem 2: Based on the retailer’s selling price decisions, quantities for the manufactured and remanufactured products can be determined as $d_m = \frac{q_m + \gamma_3 s_m - \gamma_1 w_m + \gamma_2 w_r}{2}$ and $d_r = \frac{q_r + \gamma_3 s_r - \gamma_1 w_r + \gamma_2 w_m}{2}$. Hence, remanufacturer’s objective function can be stated as $\pi_X(w_r, s_r) = (w_r - c_r - \frac{c_p}{\beta_r}) \left(\frac{q_r + \gamma_3 s_r - \gamma_1 w_r + \gamma_2 w_m}{2} \right) - \theta_r s_r^2$. Hessian matrix for this equation in terms of d_r and s_r can be obtained as $H = \begin{bmatrix} -\gamma_1 & \frac{\gamma_3}{2} \\ \frac{\gamma_3}{2} & -2\theta_r \end{bmatrix}$. Since determinant of the principal minor $(-\gamma_1)$ is negative and determinant of the hessian matrix $(2\gamma_1 \theta_r - \frac{\gamma_3^2}{4} = \frac{8\gamma_1 \theta_r - \gamma_3^2}{4})$ is positive, the function $\pi_X(w_r, s_r)$ is jointly concave with respect to w_r and s_r . Optimal values of w_r and s_r can be obtained by using the equations $\frac{\partial \pi_X(w_r, s_r)}{\partial w_r} = 0$ and $\frac{\partial \pi_X(w_r, s_r)}{\partial s_r} = 0$. When we jointly solve these two equations, we obtain the values of w_r and s_r as presented in Table 2. ■

Proof of Theorem 3: Based on the remanufacturer’s decisions demand for manufactured products can be rearranged as $\pi_M(w_m, s_m) = (w_m - c_m) \left(\frac{q_m + \gamma_3 s_m - \gamma_1 w_m + \gamma_2 \left(\frac{4\gamma_1 \theta_r c_p + 4\beta_r \theta_r q_r + 4\beta_r \gamma_1 \theta_r c_r + 4\beta_r \gamma_2 \theta_r w_m - \gamma_3^2 c_p - \beta_r \gamma_3^2 c_r}{\beta_r (8\gamma_1 \theta_r - \gamma_3^2)} \right)}{2} \right) - \theta_m s_m^2$. Hessian matrix for this equation can be obtained as $H = \begin{bmatrix} \frac{-8\gamma_1^2 \theta_r + \gamma_3^2 \gamma_1 + 4\gamma_2^2 \theta_r}{8\gamma_1 \theta_r - \gamma_3^2} & \frac{\gamma_3}{2} \\ \frac{\gamma_3}{2} & -2\theta_m \end{bmatrix}$. Since the determinant of the principal minor $(\frac{-8\gamma_1^2 \theta_r + \gamma_3^2 \gamma_1 + 4\gamma_2^2 \theta_r}{8\gamma_1 \theta_r - \gamma_3^2})$ is negative and the determinant of the hessian matrix is positive, the function $\pi_M(w_m, s_m)$ is jointly concave with respect to w_m and s_m . Optimal values of w_m and s_m can be obtained by using the equations $\frac{\partial \pi_M(w_m, s_m)}{\partial w_m} = 0$ and $\frac{\partial \pi_M(w_m, s_m)}{\partial s_m} = 0$. When we jointly solve these two equations, we obtain the values of w_m and s_m as presented in Table 3. ■

Proof of Theorem 4: Similar to the Case NR, in this case retailer’s profit function is $\pi_R(p_m, p_r) = (p_m - w_m)(q_m - \gamma_1 p_m + \gamma_2 p_r + \gamma_3 s_m) + (p_r - w_r)(q_r - \gamma_1 p_r + \gamma_2 p_m + \gamma_3 s_r)$ and Hessian matrix for this function with respect to p_m and p_r is $H = \begin{bmatrix} -2\gamma_1 & 2\gamma_2 \\ 2\gamma_2 & -2\gamma_1 \end{bmatrix}$. Since the determinant of the principal minor $(-2\gamma_1)$ is negative and the determinant of the Hessian matrix $(4\gamma_1^2 - 4\gamma_2^2)$ is positive, this function is jointly concave with respect to p_m and p_r . Optimal values of p_m and p_r can be obtained using the equations $\frac{\partial \pi_R(p_m, p_r)}{\partial p_m} = 0$ and $\frac{\partial \pi_R(p_m, p_r)}{\partial p_r} = 0$. When we jointly solve these two equations, we obtain the values of selling prices as presented in Table 4. ■

Proof of Theorem 5: In order to find the Nash equilibrium between the actors, we first focus on the remanufacturer's problem. Remanufacturer's objective function can be stated as $\pi_X(w_r, s_r) = (w_r - c_r - \frac{c_p}{\beta_r}) \left[\frac{q_r + \gamma_3 s_r - \gamma_1 w_r + \gamma_2 w_m}{2} \right] - \theta_r s_r^2$. Hessian matrix corresponding to this function with respect to w_r and s_r can be obtained as $H = \begin{bmatrix} -\gamma_1 & \frac{\gamma_3}{2} \\ \frac{\gamma_3}{2} & -2\theta_r \end{bmatrix}$. Since determinant of the principal minor $(-\gamma_1)$ is negative, and determinant of the hessian matrix $(2\gamma_1 \theta_r - \frac{\gamma_3^2}{4} = \frac{8\gamma_1 \theta_r - \gamma_3^2}{4})$ is positive, the function $\pi_X(w_r, s_r)$ is jointly concave with respect to w_r and s_r . Optimal values of w_r and s_r can be obtained by using the equations $\frac{\partial \pi_X(w_r, s_r)}{\partial w_r} = 0$ and $\frac{\partial \pi_X(w_r, s_r)}{\partial s_r} = 0$. When we solve these two equations, we obtain the values of w_r and s_r as $w_r = \frac{4\gamma_1 \theta_r c_p + 4\beta_r \theta_r q_r + 4\beta_r \gamma_1 \theta_r c_r + 4\beta_r \gamma_2 \theta_r w_m - \gamma_3^2 c_p - \beta_r \gamma_3^2 c_r}{\beta_r (8\gamma_1 \theta_r - \gamma_3^2)}$ and $s_r = \frac{\gamma_3 (\beta_r q_r + \beta_r \gamma_2 w_m - \gamma_1 c_p - \beta_r \gamma_1 c_r)}{\beta_r (8\gamma_1 \theta_r - \gamma_3^2)}$.

Moreover, manufacturer's profit function can be stated as $\pi_M(w_m, s_m) = (w_m - c_m) \left(\frac{q_m + \gamma_3 s_m - \gamma_1 w_m + \gamma_2 w_r}{2} \right) - \theta_m s_m^2$. Hessian matrix corresponding to this function with respect to w_m and s_m can be obtained as $H = \begin{bmatrix} -\gamma_1 & \frac{\gamma_3}{2} \\ \frac{\gamma_3}{2} & -2\theta_m \end{bmatrix}$. Since the determinant of the principal minor $(-\gamma_1)$ is negative and the determinant of the hessian matrix $(2\gamma_1 \theta_m - \frac{\gamma_3^2}{4} = \frac{8\gamma_1 \theta_m - \gamma_3^2}{4})$ is positive, the function $\pi_M(w_m, s_m)$ is joint concave with respect to w_m and s_m . Optimal values of w_m and s_m can be obtained by using the equations $\frac{\partial \pi_M(w_m, s_m)}{\partial w_m} = 0$ and $\frac{\partial \pi_M(w_m, s_m)}{\partial s_m} = 0$. When we solve these two equations, we obtain $w_m = \frac{4\gamma_2 \theta_m w_r + 4\gamma_1 \theta_m c_m + 4\theta_m q_m - \gamma_3^2 c_m}{8\gamma_1 \theta_m - \gamma_3^2}$ and $s_m = \frac{\gamma_3 (q_m - \gamma_1 c_m + \gamma_2 w_r)}{8\gamma_1 \theta_m - \gamma_3^2}$.

Up to know, we found four statements for four variables, w_m, w_r, s_m, s_r each of which includes other variables. When we jointly solve these four equations, we obtain the values of the decision variables as presented in Table 5.

TEDARİKÇİ SEÇİMİNİN NİHAİ ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNDE ETKİLERİNİN YAPISAL EŞİTLİK MODELİ İLE ANALİZİ

Meryem ULUSKAN^{1*}, Şule AKIN²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-1287-8286>

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-2197-3656>

Anahtar Kelimeler	Öz
Tedarik Zinciri, Tedarikçi Seçim kriterleri, Yapısal Eşitlik Modellemesi, Faktör Analizi, Nihai Ürün Kalitesi	<i>Bu çalışmanın amacı tedarikçi seçim kriterlerinin nihai ürün kalitesi üzerindeki görünen ve görünmeyen etkilerini ortaya çıkarmaktır. Tedarikçi özelliklerinin nihai ürün kalitesine etkisini ortaya koyan bir model oluşturabilmek için çeşitli sektörlerde faaliyet gösteren kurumlara 52 adet ifade içeren bir anket uygulanmıştır. Elde edilen verilere keşfedici faktör analizi uygulanmış ve tedarikçi seçiminde en çok dikkat edilen altı adet faktör elde edilmiştir. İlgili faktörlerin nihai ürün kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için bir yapısal eşitlik modeli önerilmiştir. Uyum indeksleri incelendiğinde önerilmiş olan modelin uygun bir model olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlara göre tedarikçi seçim kriterlerinden tedarikçi kalitesi ve teslimat kriterleri nihai ürün kalitesine direkt olarak etki etmektedir. Bununla beraber tedarikçinin fiyatlandırma politikası ile iş birliğine yatkınlığı ve sorumluluğu kriterleri de nihai ürün kalitesine dolaylı yoldan etki etmektedir. Bu şekilde nihai ürün kalitesinin tedarikçi firmanın seçiminden itibaren etki altında kaldığı analizlerle kanıtlanmıştır. Ayrıca bu çalışma, literatürde ayrı olarak ele alınan tedarikçi seçimi, nihai ürün kalitesi ve yapısal eşitlik modellemesi konularını bir araya getirmesi bakımından katkı sağlamaktadır.</i>

IMPACT OF SUPPLIER SELECTION ON FINAL PRODUCT QUALITY: A STRUCTURAL EQUATION MODELING ANALYSIS

Keywords	Abstract
Supply Chain, Supplier Selection Criteria, Structural Equation Modeling, Factor Analysis, Final Product Quality	<i>The aim of this study is to reveal the visible and invisible effects of supplier selection criteria on the final product quality. In order to create a model that reveals the effect of supplier characteristics on the final product quality, a questionnaire containing 52 statements was applied to participant companies operating in various sectors. Exploratory factor analysis was applied to the obtained data and the six factors in supplier selection were obtained. A structural equation model is proposed to determine the effects of related factors on the final product quality. When the fit indices were examined, it was determined that the proposed model was a suitable model. Results showed that supplier quality and delivery criteria, which are among the supplier selection criteria, directly affect the final product quality. In addition, the supplier's pricing policy and its tendency to cooperate and take responsibility criteria also indirectly affect the quality of the final product. In this study, it has been proved by the analyzes that the quality of the final product is influenced by the supplier company. In addition, this study contributes to literature as it integrates the issues of supplier selection, final product quality and structural equation modeling, which are discussed separately in the literature.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 21.02.2022	Submission Date : 21.02.2022
Kabul Tarihi : 13.11.2022	Accepted Date : 13.11.2022

*Sorumlu yazar; e-posta: : muluskan@ogu.edu.tr

1. Giriş

Firmaların sektörleri içerisinde varlıklarını sürdürme ve rekabet güçlerini yükseltme arzusu fiyat, kalite, müşteri memnuniyeti, firma imajı gibi kriterlerin iyileştirilmesi gerekliliğini beraberinde getirir. Kalite kriteri, günümüz koşullarında bir firmaya en çok güç getiren faktör özelliği taşımaktadır. Firmaya ait bir kalite olgusunun en baştan kontrol altında tutulması, şirkete hem maliyet hem de zaman açısından kazanç sağlarken müşteri memnuniyetinin garanti altına alınmasını sağlar. Tedarik zincirinin en temel adımlarından biri olan tedarikçi seçimi bu noktada öne çıkmaktadır.

Literatürde doğru tedarikçinin seçimi ve tedarikçilerin performanslarının belirlenmesi amacı ile birçok kriter kullanılmaktadır. Bu kriterler sektörün rol aldığı pazara göre değişiklik gösterebilirken her sektörü etkileyen ortak kriterler de mevcuttur. Bu kriterlerin başlıcaları fiyat, kalite, teslimat, lojistik, satış sonrası hizmetler ve üretim kalitesi şeklindedir (Dickson, 1966). Yine bu kriterler, firmaların tedarikçi seçimlerinde dikkate alındığı gibi etkin olarak çalışılan tedarikçiler için de bir performans değerlendirme çerçevesi olarak kullanılmaktadır. Tedarikçi seçim ve performanslarının şirkete kazandırdıkları hakkında literatür içerisinde birçok çalışma olmasına karşın, nihai ürün kalitesine doğrudan veya dolaylı etkileri hakkında başlı başına bilimsel bir çalışma görülmemektedir.

Bu çalışmada, ürün zincirinin ilk halkası olan tedarikçilerin, nihai ürün kalitesi üzerinde gözlemlenen ve doğrudan gözlemlenemeyen etkileri üzerinde durulacaktır. Bu çalışma ile ilgili etkiler hakkında bilimsel kanıtlar sunulurken literatüre katkı sağlanacak olup, daha önce yoğun olarak eğitim, psikoloji ve sosyoloji alanında kullanılmış olan "Yapısal Eşitlik Modeli Analizi" mühendislik ve tedarik zinciri alanında uygulanmış olacaktır.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Etik kurul onayı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu tarafından 17/10/2020 tarihli ve E-53893652-050.01.01-103311 sayılı kararı ile verilmiştir. Bunun dışında makaledeki çalışmalar özel bir kurumda yapılmadığından dolayı özel bir izine tabi değildir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

2.1. Tedarikçi Kavramı ve Seçiminin Önemi

Tedarik, firmaların nihai ürünlerini hazır hale getirebilmeleri için gerekli hammadde, yarı mamul veya mamulün, istenilen zamanda istenilen miktar ve özelliklerde başka bir firmadan temin edilebilmesi anlamına gelmektedir (Tam ve Tummala, 2001). Tedarikçiden talep edilen ürün, firmanın son müşteriye sunması gereken kaliteye zarar vermeyecek standartlara sahip olmalıdır. Bu standartların kontrollerinin ve sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi tedarikçinin sorumluluğundadır. Bu noktada tedarikçi seçimi önem kazanmaktadır.

Son ürünün kalitesi, tedarik zincirinin en başından itibaren etkiye maruz kalır. Nihai tüketici katıldığı maliyete değecek bir tadmime sahip olmak ister (Vida ve Reardon, 2008). Tedarikçiler ve bu tedarikçilerle çalışan firmalar müşterilerin gözünde tek firma statüsündedir. Tedarikçiden dolayı yaşanacak bir problemde müşteri tedarikçiyi değil ana firmayı sorumlu tutacaktır (Pakdil, 2004). Ürün ve hizmet kalitesi birden çok işletmenin performansı ile ilişkilidir (Acar ve Çapkın, 2017). Tedarikçi seçimi rekabet gücü oluşturmak açısından oldukça dikkat edilmesi gereken konulardan biridir. Bu sebeple en uygun tedarikçilerin seçimi için sayısal analizler yapılması gerekmektedir (Bhutta ve Huq, 2002). Tedarikçi seçimi çalışmaları 1966 yılında Dickson tarafından başlatılmıştır (Akdeniz ve Turgutlu, 2007). Dickson'ın yaptığı çalışmalardan sonra tedarikçi seçimi ve kriterleri üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Son birkaç yıldaki literatür örneklerine bakıldığında tedarikçi seçimi konusunun, günümüzde de halen tartışılan konular içerisinde yerini koruduğu ve çeşitli metodolojiler kullanılarak konuya farklı yaklaşımlar getirildiği görülmektedir. Örnek olarak, Nair, Jayaram ve Das (2015) fiyat, kalite, teslimat, esneklik ve yenilik olarak belirledikleri kriterler üzerine bir anket çalışması yapmışlardır. Bu anket çalışması ile ilgili kriterlerin stratejik planlamada etkili olan satın alma performansı üzerindeki etkilerini test etmişlerdir. Hosseini ve Barker (2016) hem nitel hem nicel değişkenleri işleme alan, karar vermede risk ve belirsizliği ele almak amacıyla kullanılan Bayes Ağ teorisini kullanarak tedarikçi seçimi ve değerlendirmesi hakkında farklı bir yaklaşım öne sürmüşlerdir. Diğer taraftan Pramanik, Haldar, Mondal, Naskar ve Ray (2017) tedarikçilerin performansını ölçmek amacı ile bulanık ortamda

ideal çözümle benzerlik halinde tercih emri (TOPSIS), kalite fonksiyon yayılımı (QFD) ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) metodolojilerini kullanarak bütünleşik bir yaklaşım kullanmışlardır. Zhao, You, Liu ve Wu (2017) tedarikçi seçimi için işlevsellik, güvenilirlik, kullanılabilirlik, sürdürülebilirlik ve fiyat kriterlerini genişletilmiş çok ölçütlü optimizasyon ve uzlaşma çözümü (VIKOR) yöntemi ile değerlendirerek karar vericilerin tedarikçi seçimini subjektiflikten uzak bir bakış açısıyla yapması gerektiğini belirtmişlerdir. Arabsheybani, Paydar ve Safaei (2018) sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve performansını değerlendirmek için bulanık oran analizi ve referans noktası yaklaşımı (MOORA) yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada maliyet, kalite, teslimat, işçi güvenliği, çevre yönetimi ve tedarikçinin tedarikçisi gibi kriterler kullanılmıştır. Dweiri, Kumar, Khan ve Jain (2016) gerçekleştirdikleri çalışmalarında fiyat, kalite, teslimat ve hizmet kriterlerini AHP yöntemi ile önceliklendirmişlerdir. Fei, Deng ve Hu (2019) tedarikçi seçimi için karar vericilerin kriterleri belirsiz ortamda değerlendirmelerini ele almak üzere uyum-uyumsuzluk (ELECTRE) yöntemini kullanmışlardır. Aynı zamanda kriterlere duyarlılık analizi uygulamış ve sonuçları birbiri ile mukayese ederek karmaşık bir süreç olan tedarikçi seçimi için yöntemler sunmuşlardır. Bir başka çalışmada Dai ve Shizhen (2020) tarımsal ürün tedarikçilerinin üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmada pisagor bulanık kümelerini kullanarak tedarikçi seçimini matematiksel bir algoritma olarak analiz etmişlerdir. Bu algoritmaya bağlı olarak tedarikçi seçimi için karar verme yöntemleri önermişlerdir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde tedarikçi seçim kriterlerinin kendi aralarındaki önem sıralamaları ve öncelikleri üzerine birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Ancak tedarikçi seçim kriterlerinin bir olgu üzerindeki etkileri hakkında bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu noktada mevcut çalışma ile tedarikçi seçim kriterlerinin "Nihai Ürün Kalitesi" olgusuna etkisi araştırılarak literatürdeki boşluğun doldurulması hedeflenmektedir.

2.2. Nihai Ürün Kalitesi Kavramı

Firmaların katlandıkları tüm maliyetler, harcadıkları zaman ve kaynaklar müşterilerinin isteklerine uygun bir nihai ürün oluşturmak içindir. Bu beraberinde firmalara büyük bir sorumluluk yüklemektedir. Bu sorumluluğu olması gerektiği

gibi yerine getirebilen firmalar müşterilerinin gözünde her daim kaliteli firmalar olarak anılmaktadır. Böylece rekabet içerisinde oldukları diğer firmalardan bir adım öne çıkan firmalar kendi pazarlarında yerini sağlamlaştırmış ve sürdürülebilir bir yaşam döngüsü kazanmış olurlar. Elbette bütün bunların gerçekleşmesi için tek veya birçok malzemeden oluşturulmuş olan nihai ürünün müşterinin belirlediği standartlara uygun 'kaliteli' bir ürün olması gerekir (Emerson ve Grim, 1999). Firmanın bu sorumluluğu yerine getirebilmesi için durumun önemini kavrayabilen tedarikçiler ile çalışması gereklidir. Öz ve Baykoç (2004)'e göre tedarikçinin performansı, ana firmanın müşterilerinin gözünde sahip olacağı performansa doğrudan etki eder. Bu yüzden bir tedarikçinin seçimi nihai ürün kalitesini etkileyecektir. Bu sebeple tedarikçi seçimi esnasında belirlenen seçim kriterlerinin nihai ürün kalitesi üzerinde dolaylı veya doğrudan etkisi olduğu söylenebilir.

2.3. Yapısal Eşitlik Modeli Analizi

Yapısal eşitlik modellemesi (YEM) kuramsal bir temele sahip sebep-sonuç ilişkilerini içeren bir modelin test edilmesinde ve doğrulanmasında kullanılan bir istatistiksel analizdir (Hoyle, 1995). Regresyon analizinin gelişimi, rota analizinin gelişimi ve doğrulayıcı faktör analizinin gelişimi YEM'in temellerinin atılmasını sağlamıştır (Yetiş ve Özden, 2018).

Araştırmacının kurduğu (veya araştırdığı) teoriye göre oluşturduğu bir modelin, topladığı örnek verilerle ne kadar desteklendiğinin belirlenmesi için YEM kullanılır (Şimşek, 2007). YEM gözlenen değişkenler aracılığı ile içsel ve dışsal gizil değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlar ve test eder (Yılmaz, 2004). Kline'e göre (1998) SEM'in temelinde, bir dizi değişken arasındaki korelasyon/kovaryans çatısını anlamlandırmak ve varyansları olabildiğince açıklamak vardır. YEM, belli bir teoriye dayanan bir yöntemdir ve teorilerin doğrulanması ihtiyacının sonucu olarak çıkmıştır.

Yapısal eşitlik modellemesinin beraberinde getirdiği istatistiksel ve matematiksel işlemlerin bilgisayar yazılımları ile çözümlenmesi bu tekniğin kolaylığını arttırmaktadır. LISREL ve AMOS bu programların en popülerlerindedir. Literatürde YEM için kullanılan analiz araçları arasında benzerlikler olduğu gibi farklılıkların da olduğu,

her analiz aracının bir diğerine göre güçlü ve zayıf yönlerinin bulunduğu belirtilmektedir. Kullanılan programın modelin analizinde çok büyük farklılıklar oluşturmadığını gösteren çalışmalar da mevcuttur. Örneğin Peprah (2000) AMOS, LISREL, EQS, OpenMx, RAMONA ve SEPATH gibi analiz araçları ile hesaplanan indeks değerlerinin yüksek derecede benzer olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu bilgilere dayanarak AMOS'un sonuçlar üzerinde diğer programlarla benzer sonuçlar vereceğinden dolayı diğer özellikleri yönünden, örneğin pratik kullanımı ve görsel öğelerinin anlaşılmayı kolaylaştırması gibi, bu çalışma için uygun görülmüştür.

Yapısal eşitlik modellemesi pratikliği ve üstün kazanımları dolayısıyla oldukça yoğun kullanılan bir analiz tekniğidir. Beraberinde direkt ilişkilere ait ölçüm hatalarını dikkate alması da YEM'in kullanılabilirliğini arttırmaktadır (Schumacker ve Lomax, 2010). Literatürde YEM alanında birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalardan Fan ve diğerleri (2016) tarafından yayımlanan derlemede, YEM analizlerinin ekolojik araştırmalar üzerinde kullanılabilirliğinden bahsedilmiştir. Kim, Cho ve Kim (2017) tarafından yapılan çalışmada telefon bağımlılığına etki eden faktörler YEM ile doğrulanmıştır. Davadas ve Lay (2018) öğrencilerin matematiğe yönelik tutumuna etki eden faktörleri YEM ile keşfetmişlerdir. Zabkar, Brencic ve Dmitrovic (2010) tarafından yapılan bir çalışmada turizm yönetiminde algılanan kalite ve müşteri memnuniyeti ve davranışsal niyet arasındaki modeli YEM aracılığı ile kurmuşlardır. Kelly (2011) çalışmasında YEM'i enerji sektöründe enerji verimliliği analizi için kullanmıştır.

Literatüre bakıldığında YEM, ağırlıklı olarak sosyo-ekonomi, psikoloji, sağlık, bilişim teknolojileri, bankacılık, enerji verimliliği gibi alanlarda kullanılıyor olarak görülse de YEM'in içeriği ve teorisi gizil değişkenlerin olduğu düşünülen tüm çalışmalar için kullanılabilir. Bu nedenle bu çalışmada tedarikçi seçim kriterlerinin nihai ürün üzerindeki gizil etkenlere ulaşmak için YEM tekniğinin kullanılması uygun görülmüştür.

3. Yöntem

Tedarikçi özelliklerinin nihai ürün kalitesine etkisini ortaya koyan bir model oluşturabilmek için çeşitli sektörlerde faaliyet gösteren kurumlara 52 adet ifade içeren bir anket uygulanmıştır. Bu

çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışma için etik kurul onayı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu tarafından 17/10/2020 tarihli ve E-53893652-050.01.01-103311 sayılı kararı ile verilmiştir.

Çalışmada anket yöntemi ile toplanan veriler öncelikle keşfedici faktör analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonucunda tedarikçi seçimi için öncelikli olan 6 adet faktör elde edilmiştir. İlgili faktörlerin nihai ürün kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için bir yapısal eşitlik modeli önerilmiştir. Bu model uyum indeksleri açısından uygun bulduktan sonra faktörler ve nihai ürün kalitesi arasındaki ilişkiler yönünden detaylı analiz edilmiştir.

Faktör analizi bir dizi ölçülen değişkenler ile analiz yapılan yapının temelinde yatan faktörlerin belirlenmesinde, faktör etkilerinin doğrulanmasında kullanılan bir yöntemdir. İlgili analiz, ölçülen değişkenler arasındaki korelasyonların veya kovaryansların ilişkilerini inceleyerek bu değişkenlerin ortak bir faktör altında toplanabilmesine olanak sağlar (DeCoster, 1998). Faktör analizi yapılırken dikkat edilmesi gereken birçok kural vardır. Fakat bu kuralların uygulanması için en önce analize başlarken dikkat edilmesi gereken varsayımlar sağlanmalıdır. Her analizde olduğu gibi faktör analizinde de güvenilir sonuçlar alabilmek için yeterli örneklem büyüklüğü oluşturulmalıdır. Faktör analizinde değişkenlerin ve değişkenlere ait bütün doğrusal birleşimlerin normal dağılım göstermesi ve değişkenler arası ilişkilerin doğrusal olması gerekmektedir (Büyüköztürk, 2002).

Faktör analizinde aşamalar aşağıdaki şekilde gerçekleşir (Tabachnick ve Fidell, 2014):

- Örneklem sayısının yeterliliği kontrol edilir.
- Değişkenler arasında orta düzeyde ilişki olması beklendiği için korelasyon matrisi incelenir.
- Faktör sayısının hangi yöntemle ortaya çıkarılacağı belirlenir.
- Faktör analizi sonuçlarının kolay yorumlanabilmesi için döndürme (rotation) metodunun belirlenmesi gerekir.

- Faktör yüklerinin değerlerine göre analizden çıkarılması gereken değişkenler elenir. Kalan değişkenler faktör yükleri esas alınarak daha az sayıda faktörler altında toplanır.
- Faktörlerin isimlendirilmesi yapılır ve sonuçlar gerekli yorumlara tabi tutulur.

Çalışmada keşfedici faktör analizi ile elde edilen faktörler AMOS analiz aracı ile doğrulayıcı faktör analizine tabi tutulmuştur. Daha sona doğrulanan faktörler arasında öngörülen ilişkiler yapısal eşitlik modellemesi ile analiz edilmiştir.

Modelin Belirlenmesi: YEM'in ilk aşamasında modelin dayandırıldığı hipotezler rota analizi bileşenleri ile grafiksel olarak gösterilir. Bu grafikte araştırmacı gözlenen ve gizil değişkenler arasındaki ilişkilerin yönlerini, hata terimlerinin ilgili değişkenler ile ilişkisini ifade eder (Bowen ve Guo, 2011).

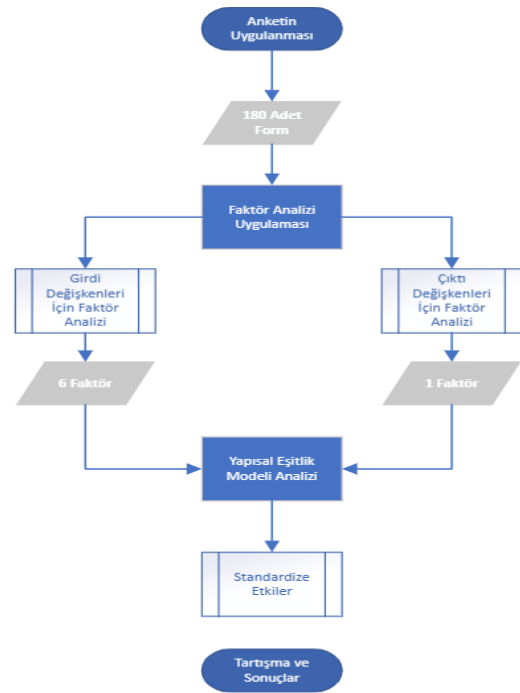
Modelin Tahminlemesi ve Analizi: Bu aşamada parametreler ve hatalar tahminlenir. Analizi yapılacak olan ilişkiler, hipotezleri doğrultusunda kontrol edilir. Model tahminlemesinde kullanılan birçok yöntem olmasına karşın en çok kullanılan yöntemler en çok olabilirlik, ağırlıklandırılmamış en küçük kareler, genelleştirilmiş en küçük kareler ve ağırlıklandırılmış en küçük karelerdir (Bollen, 1989). Her yöntemin kendine has özellikleri olduğundan araştırmacı, kullanabileceği tüm yöntemler içinden kendi modelinin ve veri setinin özelliklerine göre en uygun yöntemi belirlemelidir.

Model Uyumunun İncelenmesi ve Modifikasyonlar: Son aşama olan uyum incelemesi ve modifikasyon işlemleri için literatürde genel olarak belirlenmiş bazı indeksler temel alınır. Bu indekslere örnek olarak ki-kare indeksi (Chi Square Index), ki-kare/serbestlik derecesi (CMIN/DF), kıyaslamalı uyum indeksi (Comparative Fit Index - CFI), uyum iyiliği indeksi (Goodness of Fit Index - GFI), Tucker-Lewis indeksi (Tucker-Lewis Index - TLI), ortalama hata karekök yaklaşımı (Root Mean Square Error Approximation - RMSEA) verilebilir. Model modifikasyon indeksleri ile karşılaştırılan modelin beklenen uyumu yakalayamadığı durumlarda model ve veri üzerinde uyumu arttırmak için neler yapılabileceği sorgulanır. İlgili durumda yapısal modelde parametreler arası ilişkiler modelde tam olarak ifade edilememiş olabilir. Seçilen parametreler anlamsız olabilir ve bunların modelden çıkarılarak yeniden parametre

tanımlaması yapmak gerebilir. Uyumsuzluğun ortadan kaldırılması için ilgili değişkenlerin düzenlemeleri yapıp analiz tekrarlanmalıdır.

4. Bulgular

Bulgulara erişirken yapılan uygulamalar Şekil 1'de akış halinde gösterilmiştir. Bu akışı özetlemek gerekirse anket verileri öncelikle faktör analizine tabi tutulmuştur. Bu faktör analizi hem girdi hem çıktı değişkenlerini elde etmek için kullanılmıştır. İlgili değişkenler ile yapısal eşitlik modeli oluşturulmuş ve modelin analizi ile elde edilen bilgiler özetlenmiştir.



Şekil 1. Çalışmadaki Analizlerin Akış Diyagramı

4.1. Anket Uygulanması

Bu çalışmada 7'li Likert ölçeği kullanılan toplam 52 soruluk bir anket formu hazırlanmıştır. Bu sorulardan 43 tanesi doğrudan firmaların tedarikçi firmayı seçerken dikkat ettiği noktalar ve en sık çalıştığı tedarikçi firmayı değerlendirmeye yönelik sorular iken 9 tanesi firmaların kendi ürünleri hakkındaki düşünceleri ve müşterilerinin geri dönüşleriyle ilgili sorulardır. Anket formu çeşitli sanayilerde etkin olan fabrikalara iletilmiş olup

toplamda 219 tane cevap formu toplanmıştır. Bu formlardan 39 tanesi eksik bilgilerden dolayı elenmiştir. Analizler kalan 180 formdaki veriler ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcı firmaların sektörleri incelendiğinde Şekil 2’de görüldüğü gibi ilk sırayı gıda endüstrisi alırken (%16) ikinci sırayı elektrik ve elektronik sektörü (%10) almıştır. Firmaların sahip oldukları ortalama tedarikçi sayılarına bakıldığında ise %37’lik bir kısmın 50’den fazla, %25’lik bir kısmın ise 1000’den fazla tedarikçiye sahip olduğu Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 2. Anket Katılımcıları İçin Sektör Dağılımı



Şekil 3. Anket Katılımcılarının Ortalama Tedarikçi Firma Sayıları

Anket verilerinin tümüne Cronbach Alpha testi uygulanmıştır. Bu testler hem Minitab hem de SPSS programı ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Minitab Cronbach Alpha testinde değer 0,9715 bulunurken SPSS programında yapılan testte 0,97 değeri bulunmuştur. Sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Alfa değerlerinin 1’e yakın olması verilerin güvenilir olduğunu göstermektedir.

4.2. Faktör Analizi Uygulaması

Ankette kullanılan değişkenlerden 48 tanesi girdi değişkenlerini oluştururken 4 tanesi çıktı değişkenlerini oluşturmaktadır. Hem girdi hem de çıktı değişkenlerine ayrı ayrı faktör analizi uygulanmıştır.

KMO değeri incelenerek bir örneklemin analiz için yeterli olup olmadığı anlaşılır. Field (2013), sınır olarak 0,50’yi belirtmiştir. KMO değerinin 1’e yakın olması veri seti için ‘mükemmelliği’ temsil eder. Bu çalışmanın verileri için KMO değeri ve Bartlett test sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1.

KMO ve Bartlett Testi

KMO	0,910
Bartlett Testi	Ki-kare 7414,374
	Serbestlik Derecesi 1326,000
	p-Değeri 0,000

Tablo 1’de görüldüğü üzere KMO değeri 0,91 ile ‘mükemmel’ olarak nitelendirilebilir (Alpar, 2013). Bununla beraber Bartlett testi için ki-kare ($\chi^2 = 7414.374$; $p < 0.01$) değerinin anlamlı olduğu görülmektedir. KMO ve Bartlett test sonuçlarına göre bu çalışmanın örneklemini faktör analizi için uygundur.

4.2.1. Girdi Değişkenleri İçin Faktör Analizi

Faktör analizinde ifadelerin hangi faktörle kuvvetli korelasyon oluşturduğunu belirlemek için döndürülmüş bileşenler matrisi (Rotated Component Matrix) oluşturulması gerekir. Bu çalışmada Saraçlı (2011) tarafından önerilen bir yöntem olan ‘Varimax’ kullanılmıştır.

Faktör analizinin birinci aşamasında öz değer (Eigen Value) dikkate alınarak 9 adet faktör oluşturulabileceği serpilme grafiği (Screeplot) yardımıyla görülmüş olup 9 faktör ile analize başlanmıştır. Analizin örneklemini 180 adet veri içerdiğinden faktörlerin kesilme değerleri (Cut-Off Values) aşağıdaki şekilde belirlenmiş ve ifade elemeleri gerçekleştirilmiştir.

i) Örneklem büyüklüğü gereği 0,50’nin üstünde bir faktör yükü elde edilememişse ifade analizden

çıkarılır (Hair, Black, Babin, Anderson, Tatham, 2010).

ii) İfadeye ait en yüksek iki faktör yükü arasında 0,10 fark olmalıdır (Çokluk, Şekercioğlu, Büyüköztürk, 2012; Stevens, 2002).

Bu bilgilere göre 6 aşama boyunca devam eden faktör analizinde 1.aşamada 17 ifade, 2.aşamada 3

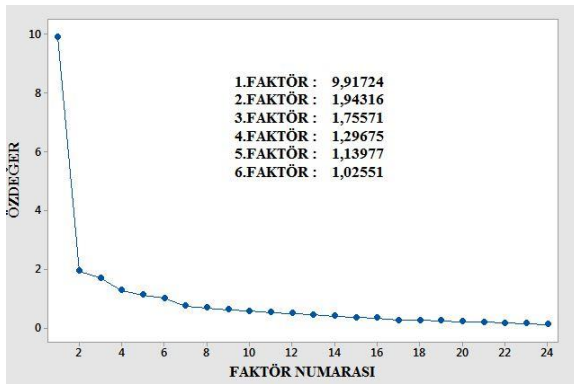
ifade, 3.aşamada 1 ifade, 4. aşamada 2 ifade, 5.aşamada 1 ifade analizden çıkarılarak faktör analizi bütün aşamalarda tekrarlanmıştır. Faktör analizi aşamalarında elde edilen faktör sayıları, elenen ifadeler ve elenme nedenleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2.

Faktör Analizi Aşamalarında Elde Edilen Faktör Sayıları ve Elenen İfadeler

Aşama	Elde Edilen Faktör Sayısı	Elenen İfadeler	Nedeni
1.Aşama	9	S2, S16, S36, S41, S29, S9 S33, S39, S21, S31, S18, S19, S22, S49, S52, S40, S10	İki faktör yükü arasındaki fark < 0,10 Faktör yükü < 0,50
2.Aşama	7	S42, S50 S32	İki faktör arasındaki fark < 0,10 Faktör yükü < 0,50
3.Aşama	7	S8	Faktör yükü < 0,50
4.Aşama	6	S1, S23	Faktör yükü < 0,50
5.Aşama	6	S17	Faktör yükü < 0,50

Son aşama olan 6. aşamada elde kalan ifadeler ile oluşturulan öz değer grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Girdi Değişkenleri İçin Öz Değerler

Şekil 4'te görülen öz değerler temel alınarak son aşama olan 6. aşamada 6 faktör ile analize

başlanmış ve aşamanın sonucunda 6 adet anlamlı faktör elde edilmiştir. Faktör yükleri, açıklaması ve faktörlerin isimlendirilmesi Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 3'e göre analizden çıkarılması gereken değişken bulunmamaktadır.

Değişkenlerin faktör yüklerinin çoğunlukla 'mükemmel (0,71 ve üstü)' derecede olduğu görülmektedir (Comrey ve Lee, 1992).

Tablo 3.

Girdi Değişkenlerinin Faktör Yükleri, Açıklamaları ve Faktörlerin İsimlendirilmesi

İfade (Değişken)	İfadenin Anketteki Karşılığı	Faktör Yüğü	Faktör İsmi
S3	Tedarikçi, yüksek kaliteye ulaşma ve koruma amacıyla gerekli yatırımları yapmaya hazırdır.	0,850	TEDARİKÇİNİN İŞ BİRLİĞİNE YATKINLIĞI VE SORUMLULUĞU
S4	Tedarikçi, değişen teknolojiye uyum sağlamaktadır.	0,806	
S5	Tedarikçi, firmanın şikâyetlerine hızlı ve etkili çözüm bulmaktadır.	0,817	
S6	Tedarikçi, ürünlerinin sorumluluğunu almaktadır.	0,588	
S7	Tedarikçi, ürün iyileştirmesi için ana firma ile iş birliği içindedir.	0,700	
S20	Tedarikçi, makinalarını periyodik olarak bakıma sokarak hatalı ürünlerin önüne geçer.	0,523	
S11	Tedarikçi, rakip tedarikçilere göre uygun fiyat sunmaktadır.	0,669	
S12	Tedarikçi, vade ve ödeme kolaylığı sağlamaktadır.	0,786	
S13	Tedarikçi, uzun süreli iş ilişkilerinde uygun fiyat politikasına sahiptir.	0,836	
S14	Tedarikçi, talep miktarlarına göre çeşitli indirim imkânı sunmaktadır.	0,789	
S15	Tedarikçi, teslimat masrafları konusunda kolaylık sağlamaktadır.	0,576	
S24	Tedarikçinin kullandığı teslimat yöntemi (hava, kara, demiryolu vb.) konusunda kolaylık sağlamaktadır.	0,750	LOJİSTİK
S25	Tedarikçi, ana firmanın ambalaj kurallarına uygun paketleme yapmaktadır.	0,787	
S26	Tedarikçi, ilgili ürünler için uygun taşıma koşullarına sahiptir.	0,712	
S27	Tedarikçinin teslimat hızı yüksektir.	0,800	
S28	Tedarikçi, belirlenen süre içerisinde teslimatı gerçekleştirir.	0,761	TESLİMAT
S34	Tedarikçi, ürünleri için garanti hizmeti sunmaktadır.	0,688	TEDARİKÇİ KALİTESİ
S35	Tedarikçi, satış sonrası müşteriden teyit alır ve gerekli belgeleri muhafaza eder.	0,601	
S37	Tedarikçi firmada giriş ve son kontrol uygulaması mevcuttur.	0,690	
S38	Tedarikçi firmanın kalite standartlarına olan güven, teslim alınan ürünlerin muayene/inceleme maliyetini düşürür.	0,625	
S41	Tedarikçi firmada etkin bir kalite yönetim sistemi (yalın, altı sigma gibi) uygulanmaktadır.	0,612	
S43	Tedarikçi firma, hatasız ürün üretmektedir.	0,738	TEDARİK EDİLEN PARÇA KALİTESİ
S48	Son müşteriden iade edilen ürünlerin genel sorunu tedarik edilen parçalarla ilgilidir.	0,809	
S51	Yurt içinden tedarik edilen ürünler, ithal ürünlere göre daha kalitelidir.	0,810	
TOPLAM AÇIKLANABİLEN VARYANS: % 71			

4.2.2. Çıktı Değişkenleri İçin Faktör Analizi

Çıktı değişkenleri için faktörlere ait özdeğer çizgi grafiği (scree plot) incelendiğinde öz değer temel alınarak bir faktör oluşturulabilmektedir. Bu sebeple 4 ifadesi olan çıktı değişkeni tek faktör

altında analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, değişkenlerin açıklamaları ve faktör isimlendirmesi Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.

Çıktı Değişkenlerinin Faktör Yükleri, Açıklamaları ve Faktörün İsimlendirilmesi

İfade (Değişken)	İfadenin Anketteki Karşılığı	Faktör Yüğü	Faktör İsmi
S44	Son müşteri nihai üründen memnundur.	0,847	NİHAİ ÜRÜN KALİTESİ
S45	Son müşteri geri bildirimine göre, nihai ürün kalite standartlarına uygundur.	0,830	
S46	Son müşteriden iade edilen ürün sayısı kabul edilebilir düzeydedir.	0,847	
S47	Son müşteri nihai ürünün fiyatını piyasa şartlarına göre uygun bulmaktadır.	0,626	
TOPLAM AÇIKLANABİLEN VARYANS: %62,9			

Faktör analizi sonucu 6 adet girdi faktörü ve 1 adet çıktı faktörü elde edilmiştir. Bu faktörler ile literatüre dayalı uygun bir model kurularak yapısal eşitlik modeli analizi gerçekleştirilecektir.

4.3. Yapısal Eşitlik Modeli Uygulaması

Hipotezler

Tedarikçinin ana firmaya karşı olan sorumluluklarını tam ve zamanında yerine getirmesi önemlidir. Tarafların faydalarına olacak ilişkiler oluşturmak amacıyla firmaların birbirini benimsemesi ve buna göre iş birliği oluşturmaları anlaşmazlıkları azaltır (Orel ve Akkan, 2018).

Sorumluluklarını yerine getirerek, ana firma ile eş zamanlı olarak hareket edebilen ve gelişebilen tedarikçiler herhangi bir kalite tehdidine karşı hazırlıklı olacak ve performansını en üst düzeyde tutmaya çalışacaktır. Tedarikçinin ürettiği parçaların beklentiyi karşılama ana firma için bir değerlendirme ölçütü oluşturur (Çağlıyan, 2009). Ana firma tedarikçi seçerken tedarikçinin iş birliği ve sorumluluk alabilme yeteneklerini göz önünde bulundurmalıdır. Böylece tedarikçisinden yana performans düşüklüğü yaşamayacağından emin olan ana firma, nihai ürünün yüksek kalitede olabilmesi adına bir zemin hazırlamış olur. Bu bilgilere göre aşağıdaki hipotezler kurulmuştur:

H₁: Tedarikçinin iş birliğine yatkınlığı ve sorumluluğu ile tedarikçi kalitesi arasında pozitif ilişki vardır.

H₂: Tedarikçinin iş birliğine yatkınlığı ve sorumluluğu ile tedarik edilen parça kalitesi arasında pozitif ilişki vardır.

Müşteriye göre fiyat ürün için feda edilen şeydir ve fiyat müşterinin ürün seçiminde etkin rol oynar (Zeithaml, 1988). Her müşteri ürüne karşılık belirlenen fiyatı alternatifleriyle karşılaştırarak fiyatın adaletini ölçmek ister (Beldona ve Namasivayam, 2006). Aaker ve Jacobson (1994)'e göre ürün başarısının belirleyici unsurlarından biri ürün kalitesidir. Müşteriler kolayca satın alabilecekleri 'kaliteli' ürünleri uygun fiyata almak ister ve bunu sağlayan firmalar ile uzun vadeli iş ilişkileri kurar (Peng ve Wang, 2006). Son müşterinin dolaylı olarak katlandığı, ana firmanın ise doğrudan katlandığı bu fiyat unsuru kaliteli ürün üretimi için gereklidir. Bu bilgilerden yola çıkarak aşağıdaki hipotezler kurulmuştur:

H₃: Tedarikçi firmanın fiyatlandırma politikası ile tedarikçi kalitesi arasında pozitif ilişki vardır.

H₄: Tedarikçi firmanın fiyatlandırma politikası ile tedarik edilen parça kalitesi arasında pozitif ilişki vardır.

Müşteri memnuniyetinde, lojistik sisteminin kullanılabilirliği, güvenilirliği, esnekliği ve çevikliğine dikkat edilmektedir (Barret, Amaral ve Pereira, 2017; Witkowski, 2017). Lojistik, yani dağıtım ve yer stratejisi ana firmanın satın aldıklarını doğru zamanda ve uygun miktarda almasını sağlar (Boone ve Kurtz, 2015). Fiyatlandırma politikasının esnek oluşu lojistik sistemine ayrılabilir kaynakların artmasını sağlar ve bu sayede tedarik edilecek parçaların hangi yolla nasıl taşınması gerektiğine dair daha esnek kararlar alınır. Böylece teslimat kriterinde öne çıkan teslimat hızı ve zamanında teslimat gibi unsurlar iyileştirilmiş olur. Ayrıca teslimattaki bu belirsizliklerin en aza indirilmesi daha verimli bir üretim planı yapılmasını sağlar (Bookbinder ve Ülkü, 2012). Tedarikçi firmanın teslimattaki belirsizlikleri en aza indirebilmesi için ana firma ile de iş birliği içinde olması ve gerekli sorumlulukları üstlenmesi gereklidir. Bu sayede ana firma ve tedarikçi firma envanterlerini azaltarak çeşitli maliyet unsurlarının ortadan kalkmasını sağlayabilir (Bookbinder ve Ülkü, 2012). Böylece nihai ürün kalitesinin seviyesi tüm bu etkiler ile yükseltilmiş olur. Bu bilgiler ışığında aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur:

H₅: Tedarikçi firmanın fiyatlandırma politikası ile tedarikçi için belirlenen lojistik kriteri arasında pozitif ilişki vardır.

H₆: Tedarikçi firmanın seçiminde belirlenen lojistik kriteri ile teslimat kriteri arasında pozitif ilişki vardır.

H₇: Tedarikçinin iş birliğine yatkınlığı ve sorumluluğu ile teslimat kriteri arasında pozitif ilişki vardır.

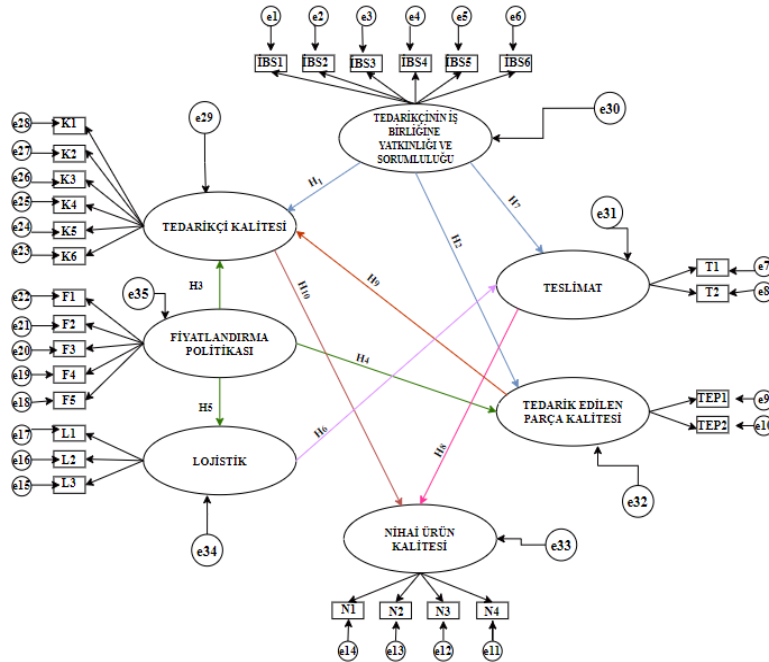
H₈: Tedarikçi firmanın seçiminde belirlenen teslimat kriteri ile ana firmanın nihai ürün kalitesi arasında pozitif ilişki vardır.

Tedarikçi seçimi, hizmet ve ürünlerin uygun fiyat ve istenilen kalitede tedarik edilebilmesini amaçlar (Uluskan, Joines ve Godfrey, 2016). Firmalar müşterilerinin gözündeki kalite seviyelerini koruyabilmek amacı ile tedarikçilerinin kaliteden ödün vermeyecek firmalar olmasını arzu eder (Taylor ve Russell, 2011). Tedarik edilecek parçanın istenilen kalite standartlarında olması oldukça önemlidir. Bu durumda aşağıdaki hipotezlerin kurulması uygun bulunmuştur.

H₉: Tedarik edilen parçanın kalitesi ile tedarikçinin kalitesi arasında pozitif ilişki vardır.

H₁₀: Tedarikçinin kalitesi ile ana firmanın nihai ürün kalitesi arasında pozitif ilişki vardır.

Literatüre dayalı olarak önerilen YEM modeli Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Önerilen model

Önerilen modelin analizi sonucu elde edilen p-değerleri incelenmiş olup H_4 hipotezinin p-değeri 0,05 olarak bulunmuştur. İstatistiksel olarak ilişkinin anlamlı sayılabilmesi için p-değerinin 0,05 değerinden küçük çıkması gerekir (Mendeş, Subaşı ve Başpınar, 2005). Analiz sonucuna göre H_4 hipotezinin kabul edilebilmesi için yeterli kanıt bulunamamıştır. Bu sebeple H_4 hipotezi için belirlenen rota modelden çıkarılmış ve analiz tekrarlanmıştır. Tekrarlanan analiz sonucunda

kalan bütün hipotezlerin p-değerleri 0,05 değerinden küçüktür. Hipotezlerde belirtilen ilişkilerin anlamlı olduğu kanıtlanmıştır.

Modelin modifikasyon indeksleri incelendiğinde modelin iyileştirilmeye ihtiyacı olduğu görülmüştür. AMOS programı içerisinde bulunan 'Modifikasyon İndeksleri' (Modification Indices) bölümünden uygun modifikasyonlar seçilmiş ve Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5.

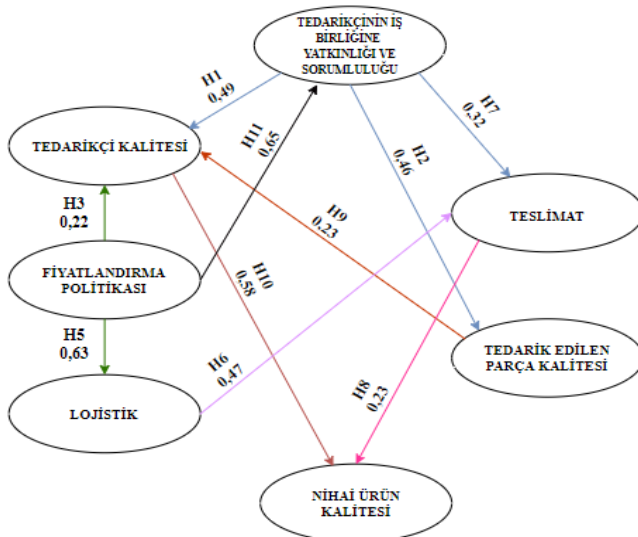
Modifikasyon Gereklilikleri

Terim	Yön	Terim	Modifikasyon İndeksi	Beklenen Değişim
e1	↔	e2	27,298	0,307
Fiyatlandırma Politikası	→	Tedarikçinin İş Birliğine Yatkinlığı ve Sorumluluğu	47,064	0,566

Modifikasyon indekslerine göre modelin içerisinde öngörülmemen bir ilişki elde edilmiştir. Buna göre modelimize yeni bir hipotez eklenmiş (H_{11}) ve model bu hipotezi kendiliğinden kanıtlamıştır.

H_{11} : Tedarikçi firmanın fiyatlandırma politikası ile tedarikçinin iş birliğine yatkinlığı ve sorumluluğu arasında pozitif ilişki vardır.

Modifikasyon için gerekli ilişkiler modele eklendikten sonra analiz tekrarlanmıştır. Modelin son hali ve analiz sonucunda elde edilen standardize katsayılar Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Modifikasyon sonrası modelin son hali ve elde edilen standardize katsayılar

Modifikasyon öncesi ve sonrası elde edilen modifikasyon indeksleri Tablo 6'da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 6.

Modifikasyon İndeksleri

İndeks	Kabul Edilebilir Uyum	Referans	Modelin Modifikasyon İndeksleri		
			Önce	Sonra	
CMIN/DF	$3 < \chi^2/sd \leq 5$		2,67	2,36	İyi uyum
GFI	$0,80 \leq GFI < 0,90$	Simon vd., 2010	0,75	0,77	Yaklaşık kabul edilebilir uyum
CFI	$0,85 \leq CFI \leq 0,90$		0,81	0,84	Kabul edilebilir uyum
NNFI	$0,80 \leq NNFI < 0,95$		0,73	0,83	Kabul edilebilir uyum
RMSEA	$0,05 < RMSEA \leq 0,08$	İlhan ve Çetin, 2014	0,10	0,08	Kabul edilebilir uyum

Uyum ölçütlerinin çoğunluğu kabul edilebilir uyum olduğundan sınıra yakın olan değerler yaklaşık kabul edilebilir değerler olarak nitelendirilebilir. Uyum değerlerinin daha da iyileştirilebilmesi için örnek büyüklüğü genişletilebilir, yeni hipotezler eklenebilir veya modele alternatif bir model geliştirilebilir. Uyum ölçütlerinin geneli dikkate alınarak bu çalışmada ele alınan yapısal eşitlik modelinin anlamlı ve uygun bir model olduğu söylenebilir.

4.3.1. Standardize Etkiler

Yapısal eşitlik modellemesi analizi sonucunda elde edilen faktörler arası etkiler Tablo 7'de

Tablo 7.

Standardize Etkiler

	Etki	FP	İBS	TEP	L	T	K	NK
İBS	Direkt	0,65	0	0	0	0	0	0
	Dolaylı	0	0	0	0	0	0	0
	Toplam	0,65	0	0	0	0	0	0
TEP	Direkt	0	0,46	0	0	0	0	0
	Dolaylı	0,30	0	0	0	0	0	0
	Toplam	0,30	0,46	0	0	0	0	0
L	Direkt	0,63	0	0	0	0	0	0
	Dolaylı	0	0	0	0	0	0	0
	Toplam	0,63	0	0	0	0	0	0
T	Direkt	0	0,32	0	0,47	0	0	0
	Dolaylı	0,51	0	0	0	0	0	0
	Toplam	0,51	0,32	0	0,47	0	0	0
K	Direkt	0,22	0,49	0,23	0	0	0	0
	Dolaylı	0,39	0,11	0	0	0	0	0
	Toplam	0,61	0,60	0,23	0	0	0	0
NK	Direkt	0	0	0	0	0,23	0,58	0
	Dolaylı	0,47	0,42	0,13	0,11	0	0	0
	Toplam	0,47	0,42	0,13	0,11	0,23	0,58	0

gösterilmiştir. Faktörlerin kısaltmaları; fiyatlandırma politikası (FP), tedarikçinin iş birliğine yatkınlığı ve sorumluluğu (İBS), lojistik (L), teslimat (T), kalite (K), tedarik edilen parça kalitesi (TEP), nihai ürün kalitesi (NK) şeklindedir.

Tablo 7'de girdi faktörlerinin arasındaki etkiler incelendiğinde fiyatlandırma politikası tüm diğer faktörlere etki etmektedir. İş birliği ve sorumluluk tedarik edilen parça kalitesi, teslimat ve kalite faktörlerini etkilemektedir. Tedarik edilen parça kalitesi sadece kalite faktörünü etkilerken lojistik sadece teslimat faktörünü etkilemektedir.

5. Tartışma

Faktör analizi sonucunda 6 adet faktör (fiyatlandırma politikası, tedarikçinin iş birliğine yakınlığı ve sorumluluğu, tedarik edilen parça kalitesi, lojistik, teslimat, kalite) elde edilmiştir. Bu faktörler tedarikçi seçiminde kilit rollere sahip faktörlerdir. Bu çalışmada ilgili faktörler ile önerilen yapısal eşitlik modelinin, uyum indeksleri temel alınarak, uygun bir model olduğu söylenebilmektedir. Yapısal eşitlik modelinde elde edilen standardize etkiler tablosuna göre (Bkz. Tablo 7) aşağıdaki çıkarımları yapmak mümkündür.

Fiyatlandırma Politikası: Tedarikçi firmanın fiyatlandırma politikasının tedarikçinin iş birliğine yakınlığı ve sorumluluğu ve lojistik kriteri üzerinde pozitif yönde direkt etkisi vardır (**H₁₁**, **H₅**). Tedarikçi firmanın fiyatlandırma politikasının tedarikçi kalitesi üzerinde pozitif yönde hem direkt (**H₃**) hem dolaylı etkisi vardır.

Ayrıca, tedarikçi firmanın fiyatlandırma politikasının tedarik edilen parça kalitesi, teslimat kriteri ve nihai ürün kalitesi üzerinde pozitif yönde dolaylı etkisi vardır.

Tedarikçinin İş Birliğine Yakınlığı ve Sorumluluğu: Tedarikçinin iş birliğine yakınlığı ve sorumluluğunun tedarik edilen parça kalitesi ve teslimat üzerinde pozitif yönde direkt etkisi vardır

(**H₂**, **H₇**). Tedarikçinin iş birliğine yakınlığı ve sorumluluğu, tedarikçi kalitesi üzerinde pozitif yönde hem direkt (**H₁**) hem de dolaylı etki göstermektedir. Ek olarak, tedarikçinin iş birliğine yakınlığı ve sorumluluğunun, nihai ürün kalitesi üzerinde tedarikçi kalitesi ve teslimat kriteri aracılığı ile pozitif yönde dolaylı etkisi vardır.

Tedarik Edilen Parçanın Kalitesi: Tedarik edilen parça kalitesinin tedarikçi kalitesi üzerinde pozitif yönde direkt etkisi vardır (**H₉**). Öte yandan, tedarik edilen parça kalitesi nihai ürün kalitesine tedarikçi kalitesi aracılığıyla pozitif yönde dolaylı etki etmektedir.

Lojistik: Tedarikçi seçim kriterlerinden lojistik kriterinin teslimat kriteri üzerinde pozitif yönde direkt etkisi vardır (**H₆**). Diğer taraftan, nihai ürün kalitesi üzerinde teslimat kriteri aracılığıyla pozitif yönde dolaylı etkisi vardır.

Teslimat: Tedarikçi seçim kriterlerinden teslimat kriterinin nihai ürün kalitesi üzerinde pozitif yönde direkt etkisi vardır (**H₈**).

Tedarikçi Kalitesi: Tedarikçi kalitesinin nihai ürün kalitesi üzerinde pozitif yönde direkt etkisi vardır (**H₁₀**). Tedarikçi seçim kriterlerinin nihai ürün kalitesi üzerindeki etkileri Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8.

Nihai Ürün Kalitesi Üzerindeki Toplam Etkiler

	Tedarikçi Kalitesi	Fiyatlandırma Politikası	Tedarikçinin İş Birliğine Yakınlığı Ve Sorumluluğu	Teslimat	Tedarik Edilen Parça Kalitesi	Lojistik
Nihai Ürün Kalitesi	0,58	0,47	0,42	0,23	0,13	0,11
	Direkt Etki	Dolaylı Etki	Dolaylı Etki	Direkt Etki	Dolaylı Etki	Dolaylı Etki

6. Sonuçlar

Bu çalışmada tedarikçi seçim kriterlerinin ana firmanın nihai ürün kalitesi üzerinde kanıtlanabilir etkilerinin olup olmadığı araştırılmıştır ve bu yönde analizler yapılmıştır.

Tedarikçi seçimi hakkında çeşitli sektörlerden firmaların katılımı ile gerçekleştirilen anket çalışması sonucunda elde edilen verilere faktör

analizi uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda elde edilen altı adet girdi faktörü ve bir adet çıktı faktörü arasındaki ilişkileri belirleyebilmek için literatüre dayalı bir yapısal eşitlik modeli oluşturulmuştur. Bu yapısal eşitlik modeli analiz edilmiş olup elde edilen altı faktörün nihai ürün kalitesi üzerinde etkiye sahip olduğu görülmüştür. Nihai ürünün kalitesine etki eden faktörler sırasıyla; tedarikçi kalitesi, tedarikçi firmanın fiyatlandırma politikası, tedarikçinin iş birliğine

yatkınlığı ve sorumluluğu, teslimat, tedarik edilen parçanın kalitesi ve lojistikdir.

Nihai ürüne doğrudan etki eden tedarikçi kalitesi ve teslimat kriterleri arasından tedarikçi kalitesi faktörünün daha güçlü bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın teslimat kriteri de doğrudan etkiye sahip olduğundan zayıf etki olarak adlandırmak tam anlamıyla doğru olmayacaktır. Doğrudan veya dolaylı etki olup olmamasına bakılmaksızın nihai ürün üzerinde en güçlü etkiye sahip olan 3 kriter bulunmaktadır. Bunlar, tedarikçinin kalitesi, tedarikçinin fiyatlandırma politikası ve tedarikçinin iş birliğine olan yatkınlığı ve sorumluluğudur.

Günümüzde müşteri memnuniyetinin en önemli kriteri olan kalite, ilgili ürün ve hizmetin en küçük parçasından kendini belli etmeye başlar. Bu en küçük parça zincirleme bir reaksiyon oluşturarak son müşterinin firmalar ile ilgili algısına kadar ulaşır. Tedarikçi ile ana firma arasında ayna ilişkisi söz konusudur. Bu yüzden tedarikçi kalitesinin yüksek olması ana firmanın da kalitesinin yükselmesine katkı sağlar. Tedarikçi kalitesinin sürekli yükselmeye devam etmesi ana firma açısından önemlidir. Karşılıklı olarak iyileştirmelere gidilmelidir. Bu sebeple tedarikçi ile ana firma iş birliği içinde olmalıdır. Tedarikçinin ana firmaya sunduğu fiyatlandırma politikasındaki kolaylıklar bu iş birliğini güçlendirecektir. Tedarikçi firma ile sağlam bir iş birliğinin kurulması nihai ürünün kalitesini ve dolayısıyla müşteri memnuniyetini arttıracaktır. Tedarikçi firmanın kalite seviyesinin sürekli iyileşmesi ana firmanın ürünlerinin kalitesinin artmasını ve prestijinin yükselmesini sağlayacaktır. Bu prestij ile geniş ve devamlı müşteri ilişkileri kurulacağından iki firmanın da rekabet gücü artacaktır. Rekabet gücünün yükselmesi ile pazar payı genişleyecek olan firmalar sektörlerinde hızla büyüyecek ve her firmanın hedefi olan 'lider firma' konumuna ilerleyeceklerdir. Bu sebeple tedarikçi seçiminin doğru yapılması bir firmanın devamlılığı için oldukça önemlidir. İlgili tedarikçi seçim kriterlerinin nihai ürün kalitesine olan etkileri küçük dahi olsa tüm bu etkilerin dolaylı ya da direkt etkilerle bir diğer kriteri etkilediği ve bu durumun zincirleme olarak nihai ürün kalitesine etki ettiği göz ardı edilmemelidir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile ana firmaların tedarikçi seçimlerinde odaklanması gereken temel kriterler hakkında bir çerçeve sunulmuştur. Firmaların kriter seçimlerini doğru yapması ve

böylece doğru tedarikçiyi seçebilmeleri adına yapılmış bu çalışma, tedarikçi seçimi kriterleri hakkında gelecek çalışmalara farklı bir bakış açısı sunmaktadır.

İleride yapılacak çalışmalarda, ankete katılan firma sayısı artırılarak bu çalışmada uygulanmış olan anket hem firma hem tedarikçi tarafından çift taraflı olarak cevaplandırılabilir. Ayrıca, çalışmadaki veriler özel sektörde faaliyet gösteren firmalara aittir. Bu çalışmanın benzer uygulaması kamu sektörü ile özel sektörün karşılaştırması şeklinde yapılarak iki sektörün tedarikçi seçimindeki farklılıkları tespit edilebilir. Bu durum sektörel farklılıkları temel alarak tedarikçi seçiminin doğru yapılması konusunda önemli bir çalışma olacaktır. Ek olarak, firmaların nihai ürünlerinin kalitesi için tedarikçi seçiminde dikkat edilmesi gereken noktaları tespit eden bu çalışmaya daha fazla kriter eklenerek yapısal eşitlik modeli geliştirilebilir. Ayrıca önerilen model sektör temelli kriterler ile test edilerek her sektöre özel olacak şekilde tedarikçi seçim kriterleri değerlendirilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Meryem ULUSKAN, anketin tasarımı, istatistiksel analizler, modelin oluşturulması, yorumlanması ve makale yazımı; Şule AKIN, literatür araştırması, anketin tasarımı ve uygulanması, istatistiksel analizler, modelin oluşturulması, yorumlanması ve makale yazımı konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Aaker, D.A. ve Jacobson, R. (1994). The financial information content of perceived quality. *Journal of Marketing Research*, 31(2), 191-201. Doi: <https://doi.org/10.2307/3152193>
- Acar, M.F. ve Çapkın, A. (2017). Analitik ağ süreci ile tedarikçi seçimi: Otomotiv sektörü örneği. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 121-134. Doi: <https://doi.org/10.30803/adusobed.337233>

- Akdeniz, H.A. ve Turgutlu, T. (2007). Türkiye'de perakende sektöründe analitik hiyerarşik süreç yaklaşımıyla tedarikçi performans değerlendirmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 1-17. Erişim Adresi: <http://hdl.handle.net/20.500.12397/5390>
- Alpar, R. (2013). *Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler*, Ankara: Detay Yayıncılık.
- Arabsheybani, A., Paydar, M.M. ve Safaei, A.S. (2018). An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk. *Journal of Cleaner Production*, 190, 577-591. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.167>
- Beldona, S. ve Namasivayam, K. (2006). Gender and demand-based pricing: Differences in perceived (un) fairness and repatronage intentions. *Journal of Hospitality & Leisure Marketing*, 14(4), 89-107. Doi: https://doi.org/10.1300/J150v14n04_06
- Bhutta, K. ve Huq, F. (2002). Supplier selection problem: A comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7, 126-135. Doi: <https://doi.org/10.1108/13598540210436586>
- Bollen, K.A. (1989). *Structural equations with latent variables*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Bookbinder, J.H. ve Ülkü, M.A. (2012). Optimal quoting of delivery time by a third party logistics provide: The impact of shipment consolidation and temporal pricing schemes. *European Journal of Operational Research*, 221(1), 110-117. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.03.021>
- Boone, L.E. ve Kurtz, D.L. (2015). *Contemporary marketing*. Cengage Learning, Retrieved from: <https://books.google.com.tr/books?id=1T1BBAAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Bowen, N.K. ve Guo, S. (2011). *Structural equation modelling; Pocket guide to social work research methods*. New York: Oxford University Press. Doi: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195367621.001.0001>
- Büyüköztürk, Ş. (2002). Faktör analizi: Temel kavramlar ve ölçek geliştirmede kullanımı. *Kuram ve Uygulamalarda Eğitim Yönetimi*, 32, 470-483. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kuey/issue/10365/126871>
- Comrey, A.L. ve Lee, H.B. (1992). *A first course in factor analysis*. New Jersey: Psychology Press. Doi: <https://doi.org/10.4324/9781315827506>
- Çağlıyan, V. (2009). Alıcı-tedarikçi ilişkilerinin işletme performansına etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(3), 461-479. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/20829/223099>
- Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G. ve Büyüköztürk, Ş. (2012). *Sosyal bilimler için çok değişkenli istatistik: SPSS ve Lisrel uygulamaları*. Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık.
- Dai, L. ve Shizhen, B. (2020). An approach to selection of agricultural product supplier using pythagorean fuzzy sets. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-7. Doi: <https://doi.org/10.1155/2020/1816028>
- Davadas, S. D. ve Lay, Y. F. (2018). Factors affecting students' attitude toward mathematics: A structural equation modeling approach. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 14(1), 517-529. Doi: <https://doi.org/10.12973/ejmste/80356>
- DeCoster, J. (1998). *Overview of factor analysis*. Tuscaloosa: University of Alabama, Retrieved from: <http://www.stat-help.com/factor.pdf>
- Dickson, G. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), 28-41. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S.A ve 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>
- Emerson, C. J. ve Grimm, C. M. (1999). Buyer-seller customer satisfaction: The influence of the environment and customer service. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 14, 403-415. Doi: <https://doi.org/10.1108/08858629910290201>
- Fan, Y., Chen, J., Shirkey, G., John, R., Wu, S.R., Park, H. ve Shao, C. (2016). Applications of structural equation modeling (SEM) in ecological studies: An updated review. *Ecological Processes*, 5(19),

- 1-12, Doi: <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0063-3>
- Fei, L., Deng, Y. ve Hu, Y. (2019). DS VIKOR: A new multi-criteria decision-making method for supplier selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 21(1), 157-175. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40815-018-0543-y>
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. London: Sage.
- Hair, Jr., Black, W.C., Babin, B. ve Anderson, R. (2010). *SEM: An introduction. Multivariate data analysis: A global perspective*. London: Pearson Education.
- Hosseini, S. & Barker, K. (2016). A Bayesian network model for resilience-based supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 180, 68-87. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.007>
- Hoyle, R.H. (1995). *Structural equation modeling: Concepts, issues and applications*. London: Sage.
- İlhan, M. ve Çetin, B. (2014). LISREL ve AMOS programları kullanılarak gerçekleştirilen yapısal eşitlik modeli (YEM) analizlerine ilişkin sonuçların karşılaştırılması. *Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi*, 5(2), 26-42. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/epod/issue/5809/77255>
- Kelly, S. (2011). Do homes that are more energy efficient consume less energy? A structural equation model of English residential sector, *Energy*, 36(9), 5910-5620. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.009>
- Kim, E.Y., Cho, I. ve Kim, E.J. (2017). Structural equation model of smartphone addiction based on adult attachment theory: Mediating effects of loneliness and depression. *Asian Nursing Research*, 11(2), 92-97, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anr.2017.05.002>
- Kline, R.B. (1998). *Principles and practice of equation modeling*. New York, USA: Guilford Press.
- Mendes, M., Subaşı, S., Başpınar, E. (2005). Bilimsel çalışmalarda p-değerinin rapor edilmesi (p<0.01?, p<0.05, p>0.05). *Tarım Bilgileri Dergisi*, 11(4), 359-363. Doi: <https://doi.org/10.1501/Tarimbil.0000000565>
- Nair, A., Jayaram, J. ve Das, A. (2015). Strategic purchasing participation, supplier selection, supplier evaluation and purchasing performance. *International Journal of Production Research*, 63(20), 6263-6278. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1047983>
- Orel, F.D. ve Akkan. E. (2018). Tedarik zincirinde risk, risk yönetimi ve performans ilişkileri: Bir literatür taraması. *Beykoz Akademi Dergisi*, 6(1), 84-117. Doi: <https://doi.org/10.14514/BYK.m.21478082.2018.6/1.84-117>
- Öz, E. ve Baykoç, Ö.F. (2004). Tedarikçi seçimi problemine karar teorisi destekli uzman sistem yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(3), 275-186. Erişim Adresi: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76161>
- Pakdil, F. (2004). Kalite kültürünü etkileyen faktörler üzerine bir derleme. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(3), 167-183. Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/20.500.12397/5543>
- Peng, L.Y. ve Wang, Q. (2006). Impact of relationship marketing tactics (RMTs) on switchers and stayers in a competitive service industr. *Journal of Marketing Management*, 22(1-2), 25-59. Doi: <https://doi.org/10.1362/026725706776022263>
- Peprah, S. (2000). *On using AMOS, EQS, LISREL, Mx, RAMONA and SEPATH for structural equation modelling* (Yüksek lisans tezi). University of Port Elizabeth Faculty of Science, South Africa, Retrieved from: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/145049272.pdf>
- Pramanik, D., Haldar, A., Mondal, S.C., Naskar, S. K. Ve Ray, A. (2017). Resilient supplier selection using AHP-TOPSIS-QFD under a fuzzy environment. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 12(1), 45-54, Doi: <https://doi.org/10.1080/17509653.2015.1101719>
- Saraçlı, S. (2011). Faktör analizinde yer alan döndürme metotlarının karşılaştırmalı incelenmesi üzerine bir uygulama. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(3), 22-26. Erişim Adresi: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76161>

- [extension://efaidnbmnibpcajpcglclefindmkaj/https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/56535](https://efaidnbmnibpcajpcglclefindmkaj/https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/56535)
- Schumacker, R. ve Lomax, R. (2010). *A beginner's guide to structural equation modeling*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Simon, D., Kriston, L., Loh, A., Spies, C., Scheibler, F., Wills, C. ve Harter, M. (2010) Confirmatory factor analysis and recommendations for improvement of the autonomy preference-index (API). *Health Expectations*, 13(3), 234-243. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1369-7625.2009.00584.x>
- Stevens, J.P. (2002). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Şimşek, Z. (2007), CEO tenure and organizational performance: An intervening model. *Strategic Management Journal*, 28(6), 653-662, Doi: <https://doi.org/10.1002/smj.599>
- Tabachnick, B. ve Fidell, L.S. (2014). *Using multivariate statistics*. Essex: Pearson.
- Tam, M.C.Y. ve Tummala, V.M.R. (2001). An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system. *Omega*, 29(2), 171-182, Doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(00\)00039-6](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(00)00039-6)
- Taylor, B.W. ve Russell, R.S. (2011). *Operations management: Creating value along the supply chain*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Uluskan, M., Joines, J. A. ve Godfrey B. (2016). Comprehensive insight into supplier quality and the impact of quality strategies of suppliers on outsourcing decisions. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21(1), 92-102. Doi: <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2015-0140>
- Vida, I. ve Reardon, J. (2008). Domestic consumption: rational, affective or normative choice?. *Journal of Consumer Marketing*, 25(1), 34-44, Doi: <https://doi.org/10.1108/07363760810845390>
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0-innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering*, 182, 763-769, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>
- Yetiş, Ş. ve Özden. S. (2018). Yapısal eşitlik modellemesinin ormancılığın sosyal alanında kullanılma olanakları. *IBANESS Conferance Series*, s. 1-17. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/324601944_Yapisa1_Esitlik_Modellemesinin_Ormanciligin_Sosyal_Alaninda_Kullanilma_Olanaklari
- Yılmaz, V. (2004). Lisrel ile yapısal eşitlik modelleri: Tüketici şikâyetlerine uygulanması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(1), 77-90. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/46508280_Lisrel_ile_Yapisa1_Esitlik_Modelleri_Tuketici_Sikayetlerine_Uygulanmasi
- Zabkar, V., Brencic, M.M. ve Dmitrovic, T. (2010). Modelling perceived quality, visitor satisfaction and behavioural intentions at the destination level. *Tourism Management*, 31(4), 537-546. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.06.005>
- Zeithaml, V.A. (1988). Consumer perceptions of price, quality, and value: a means-end model and synthesis of evidence. *Journal of Marketing*, 52(3), 2-22. Doi: <https://doi.org/10.1177/002224298805200302>
- Zhao, J., You, X.Y., Liu, H.C. ve 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>

BÜYÜK ÖLÇEKLİ BİR ÜRETİM İŞLETMESİNİN OFİSLERİNDE ROSA VE CORNELL YÖNTEMLERİ İLE ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Emin KAHYA^{1*}, Filiz ERKAPLAN²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Meşelik Yerleşkesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480 ESKİŞEHİR
ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9763-2714>

²Savronik A.Ş. Organize Sanayi Bölgesi 20. Cadde No:19 ESKİŞEHİR
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7380-4267>

Anahtar Kelimeler	Öz
Ofis ergonomisi, Ergonomik risk değerlendirmesi, Hızlı Ofis Zorlanma Değerlendirmesi (ROSA), Cornell anketi	Ofis çalışanları ve bilgisayar kullanıcıları arasında en önemli ve en yaygın sağlık sorunlarından biri, kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları riskidir. Bu çalışmada, elektronik birim tasarım ve üretimini gerçekleştiren bir işletmenin idari birimlerinde çalışan 102 kişinin, ROSA yöntemi ve Cornell anketi ile risk değerlendirmesi ele alınmıştır. İki yöntemin verileri kullanılarak analizler yapılmış ve ofislerin risk düzeyleri ile ofis çalışanların kas-iskelet sistemlerinde hissettikleri rahatsızlıklar arasındaki ilişki incelenmiştir. ROSA skoru 4,43 (s.d. 0,9785), sandalye skoru 4,41, ekran-telefon skoru 1,83, ve fare-klavye skorunun 3,04 olduğu belirlenmiştir. İncelenen 102 çalışanın 51'i (%50) ergonomik açıdan riskli (risk skoru 5 üstü) bulunmuştur. Risk düzeyinin yüksek çıkmasının en önemli nedenleri, sandalyenin yüksek ve derin olmasıdır. Ergonomik açıdan riskli durumlarda bulunan ofislerde çalışanların; boyun (%39,29), sırt (%38,95), bel (%11,45) ve omuz (%4,11 ve %4,05) bölgelerinde hissettikleri rahatsızlıkların ofis risk düzeyi ile önemli bir ilişkiye sahip oldukları tespit edilmiştir.

ERGONOMIC RISK ASSESSMENT WITH ROSA AND CORNELL METHODS IN THE OFFICES OF A LARGE-SCALE MANUFACTURING ENTERPRISE

Keywords	Abstract		
Office ergonomics, Ergonomic risk assessment, Rapid Office Strain Assessment (ROSA), Cornell questionnaire	One of the most important and the most common health problems among office workers and computer users is the risk of developing musculoskeletal disorders (MSDs). This study aims to investigate the risk of MSDs and associated factors in the office workplaces of a Electronic Units Design and Manufacturing Company. Data were gathered from 102 office employees from a manufacturing company via ROSA method and Cornell questionnaire. The collected data were analyzed to examine the relationship between ergonomic risk levels and MSDs reported by the office staff. The mean ROSA final score is 4,43 (std. dev. = 0.9785), chair section is 4,41, monitor and telephone section is 1,83, and mouse and keyboard section is 3,04. Fifty one of 102 (50%) office workplaces are at risk. The most important factor to raise the risk level is found to be the height and depth of the chair. The Cornell questionnaire results highlight that the highest discomfort severity is related to the neck (39,29), back (38,95%), waist (11,45%) and shoulders (4,11% and 4,05%).		
Araştırma Makalesi	Research Article		
Başvuru Tarihi	: 12.08.2022	Submission Date	: 12.08.2022
Kabul Tarihi	: 18.11.2022	Accepted Date	: 18.11.2022

*Sorumlu yazar; e-posta: ekahya@ogu.edu.tr

1.Giriş

Ofis ergonomisi, ofis ekipmanlarının tasarımı, yerleşimi, ofisin fiziksel ve iklimatik şartları gibi bileşenleri barındıran oldukça geniş bir alandır. Özellikle ofis mobilyalarının tasarımlarında kullanıcıların antropometrik ölçüleri dikkate alınsa bile bu ekipmanların kullanıcıların tamamının vücut ölçülerine tam uyum sağlaması beklenemez. Bu yüzden özellikle derinlik ve yüksekliklerin ayarlanabilir olması tercih edilmektedir. Ancak bu tür ofis mobilyalarının maliyetli olması her ofiste bulunmalarının önünde bir engeldir. Ayrıca boyutları ayarlanabilir mobilyalar bulunsa bile o ofiste çalışan kişinin mobilyanın bu özelliğinin farkında olmaması ya da ihtiyacına göre ayar yapmaması bir başka sorundur.

Ofis ortamları çalışanların uzun saatler geçirdikleri ve birçok ofis eşyası ile etkileşim halinde oldukları çalışma alanlarıdır. Çoğunlukla bilgisayar, telefon, masa, sandalye gibi bileşenlerden meydana gelen iş istasyonlarını içerirler. İş konforunu sağlamak ve çalışanların verimliliklerini arttırmak için her tür iş istasyonunun ergonomik olarak tasarlanmış olması önemlidir (Can, Atalay ve Eraslan, 2015).

Özellikle uzun mesai saatleri boyunca zaman geçirilen ofislerde farkında olmadan maruz kalınan yanlış duruşlar ve yapılan hatalı hareketler geçici veya kalıcı kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açmaktadır. Kas-iskelet sistemi (KİS) rahatsızlıkları belirtileri özellikle eğilme, doğrulma, tutma, kavrama, bükme ve uzanma gibi basit vücut hareketlerinden kaynaklı meydana gelmektedir. Bunlar günlük yaşamda sağlığa zararı dokunan hareketler değildirler. Bu hareketleri zararlı hale getiren, çalışma esnasındaki tekrarlar, kuvvet uygulama gereksinimi ve hızlı hareketlerdir. KİS rahatsızlıkları anında gelişen değil artan derecelerle yavaş gelişen travmalardır (Akay, Kurt ve Dağdeviren, 2003). Ofis çalışanlarının maruz kalabilecekleri KİS rahatsızlıkları konusunda yapılmış çok sayıda ulusal ve uluslararası çalışma (Robertson ve diğ., 2009; Amick ve diğ., 2012; Robertson, Ciriello ve Garabet, 2013; Meinert, König ve Jaschinski, 2013; Mahmud, Bahari ve Zainudin, 2014; Dimberg, Goldoni Laestadius, Ross ve Dimberg, 2015) mevcuttur.

Ofis çalışanlarının ergonomik risk düzeylerini tespit etmek amacıyla Sonne, Villalta ve Andrews (2012) tarafından ROSA (Rapid Office Strain Assesment) (Hızlı Ofis Zorlanma Değerlendirmesi)

yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle ofislerde yaygın olarak kullanılan sandalye, bilgisayar ekranı, telefon, klavye ve fare ekipmanları ile kullanıcı arasındaki etkileşimler incelenerek risk puanları belirlenmektedir. Yöntem, ofislerde yaygın kullanılan araçların kullanımı esnasında oluşan yanlış duruşlar ve bu duruşlara maruz kalma sürelerini dikkate alır. Ofis ergonomisi alanında geliştirilmiş en detaylı ve kapsamlı risk belirleme yöntemlerinden biridir.

ROSA yöntemi veya bir anket yöntemi (Cornell anketi gibi) de kullanarak, üniversiteler (Krusun ve Chaiklieng, 2014; Chaiklieng ve Krusun, 2015; Özkan ve Kahya, 2017; ALOmar ve diğ., 2021; Fatudimu, Odekunle ve Hamzat, 2022), hastaneler (Soroush ve Hassani, 2015; Khandan, Arab ve Koohpaei, 2016; Valipour, Mohammadian, Yahyaei, Shokri ve Ahmadi, 2016; Safarian, Najarkolaei ve MortezaPour, 2019; Mianehsaz, Tabatabaei, Kashani, Badi ve Rahimi, 2022), sigorta şirketleri (Matos ve Arezes, 2015; Machado-Matos ve Arezes, 2016), bankalar (Nasir, Motamedzade, Golmohammadi ve Faradmal, 2015; Mirmohammadi, Gook, Mousavi Nasab ve Mahmoodi Sharafe, 2020), iletişim merkezleri (çağrı merkezi gibi) (Poochada ve Chaiklieng, 2015; Saeidi, Dastaran ve Musavi, 2016; Haghshenas ve diğ., 2018; Sharifi, Danesh ve Gholamnia, 2022), diğer hizmet kuruluşları (Sohrabi, Faridizad ve Farasati, 2015; Mani, Provident ve Eckel, 2016; Rahman ve diğ., 2017; Besharati, Daneshmandi, Zareh, Fakherpour ve Zoaktafi, 2020; Ekin, Özçelik ve Avşar Özcan, 2021) ve üretim işletmeleri (Kahya, 2021) ofislerinde çalışanlarının ergonomik risklerini değerlendirmeye odaklanmış birçok çalışma yapılmıştır.

Son yıllarda yapılmış önemli çalışmalar olarak; Besharati, Daneshmandi, Zareh, Fakherpour ve Zoaktafi (2020), Nordic, ROSA ve NASA-TLX yöntemlerini kullanarak 359 ofis çalışanı ile bir araştırma yapmıştır. Kahya (2021), büyük ölçekli bir üretim işletmesinin idari ofislerindeki 202 çalışanın, ROSA ve Cornell yöntemleriyle risk değerlendirmesini ele almıştır. Ekin ve diğ. (2021), bir kamu kurumunda çalışan 149 kişinin ofis ortamının koşulları ve bu kişilerin kas iskelet sistemi rahatsızlıklarını analiz edilmişlerdir. Analiz kapsamında ROSA yöntemi ile Cornell anketi kullanılmıştır. Uygulanan yöntemlerle, sandalye, monitör, klavye, fare ve telefon gibi ofis ortamı bileşenlerinin kullanıcıya uygunluğu ergonomik açıdan değerlendirilerek, bu bileşenleri

kullanırken çalışanların sergiledikleri duruşların hangi oranda rahatsızlık oluşturduğu gözlemlenmiştir. Fatudimu ve diğ (2022), bir üniversitenin 202 akademik personeli ile Nordic ve ROSA yöntemlerini kullanarak ofisteki sandalye bilgisayar sisteminin uygunluğunu ve kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına etkisini araştırmalarıdır.

Mevcut literatür dikkate alındığında, üretim işletmelerinin ofislerinde çalışanların ergonomik risklerini ele alan çok az sayıda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, hem ROSA hem de Cornell anketi kullanılarak bütünsel bir değerlendirme yaklaşımının kullanılması amaçlanmıştır. Bu yaklaşım, elektronik birim üretimi gerçekleştiren büyük ölçekli bir işletmenin idari ofislerindeki 125 çalışanın işyeri ortamı için uygulanmıştır. Toplanan veriler analiz edilerek gözlenen ROSA risk skoru ile beyan edilen Cornell rahatsızlıklar arasındaki ilişkiler incelenmiş, ofis çalışanlarının hissettikleri rahatsızlıkların hangilerinin ofisteki çalışma şartlarından (ofis araçlarından) kaynaklandığı araştırılmıştır.

2. Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri

İş esnasında uygun olmayan duruşlar ve tekrarlayan hareketler çalışanlarda zorlanmalara ve hatta kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olmaktadır. Uygun olmayan çalışma duruşlarının iyileştirilmesi, zorlanmaların azaltılması çalışanın sağlığı ve aynı zamanda iş performansı açısından oldukça önemlidir.

Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri çalışanların çalışma ortamındaki koşulları, yaptıkları iş nedeniyle kas iskelet rahatsızlıklarının oluşumunu önlemek amacıyla tercih edilir (Kırcı, 2018).

Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri, genel olarak;

- ❖ Kişisel anket yöntemleri,
- ❖ Sistemik gözlemlere dayalı yöntemler
- ❖ Direkt ölçüm yöntemleri

olarak sınıflandırılabilir.

Kişisel anket yöntemlerinde, çalışanlara sorular yöneltilip gelen cevaplar ışığında değerlendirmeler yapılmaktadır. Cornell ve Nordic en yaygın kullanılanlarıdır.

Bu yöntemlerin en büyük avantajı, maliyetinin düşük olması, etkili yöntemler olması ve büyük

çaplı örneklerle uygulanabilmesidir (Koç ve Testik, 2016).

Sistemik gözlemlere dayalı yöntemler;

- a) Basit gözleme dayalı yöntemler; REBA, RULA, QEC, ROSA ve BAUA
- b) Gelişmiş gözleme dayalı yöntemler; Ergo-Man, 3DSSPP, Jack, RAMSIS Model, AnyBody Modelleme Sistemi

sayılabilir.

Direkt ölçüm yöntemleri, insan hareketlerini ve duruşlarının analizi için direkt ölçümlerde elektromiyografi (EMG), LMM, biyomekanik analiz araçları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, elektronik birim tasarım ve üretimini gerçekleştiren bir işletmenin idari ofislerinde bilgisayar kullanarak çalışanların maruz kaldıkları fiziksel zorlanmaların tesbiti amaçlanmıştır. Ofislerde çalışanların yaygın olarak kullandıkları sandalye, bilgisayar ekranı, telefon, klavye ve fare ekipmanları ile arasındaki etkileşimleri belirleyen, en uygun (bilindiği kadarıyla tek) yöntem ROSA yöntemidir. Uygun duruşların insanın muhtelif vücut bölgelerinde oluşturdukları ağrı düzeylerini tesbit etmek için Cornell, Nordic gibi anketler kullanılır. Cornell anketi, farklı vücut bölümleri rahatsızlıklarını haftalık bazda **frekans, şiddet ve işe engelliği** açısından değerlendirmekte ve bir **rahatsızlık skoru** hesaplanmaktadır. Bu özelliği nedeniyle en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu nedenlerle, bu çalışmada çalışanların ergonomik riskini ölçmek için ROSA ve uygun duruşların sonucu kişi üzerinde bırakacağı rahatsızlıkları ve riskini ölçmek için de Cornell yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir.

Hızlı Ofis Rahatsızlık Değerlendirmesi

ROSA (Rapid Office Strain Assessment) bir ofis çalışma ortamında risk faktörlerine maruziyeti ölçmek için tasarlanmış resim tabanlı duruş kontrol listesidir (Sonne ve diğ., 2012). RULA ve REBA gibi diğer resim tabanlı kontrol listeleri ve grafik puanlandırma sistemlerinden sonra modellenmiştir. ROSA sürecinin hedefi büyük ofis temelli organizasyonlarda öncelikli alanları belirlemek için bir tarama aracı olarak hizmet etmektir. Hızlı bir şekilde tipik ofis iş istasyonunun her bileşeni ile ilişkili riskleri ölçmek ve ilgili kullanıcıya bilgi verebilir. Ofis rahatsızlıklarının

hızlı değerlendirmesi, ofis çalışmalarıyla ilgili rahatsızlık raporlarına dayalı değişim için bir ihtiyaçtır (Sonne ve diğ., 2012).

Gözlemci bir değerlendirme sırasında ROSA formuna gözlemleri kaydeder. Gözlemci formda şekillerle belirtilen şekillerden gözlemlerine uygun olanları seçer ve uygun şekilde puanlandırma yapar. Ayrıca, ofis çalışmasının ilgili ekipmanları kullanarak geçirdiği süre değerlerini ve ilgili ekipmanların yükseklik, derinlik gibi özelliklerinin ayarlanabilir olup olmadığını da dikkate alarak puanlandırmaya katar. Sandalye, ekran, klavye, fare, telefon ile ilgili puanlandırmalar yapıldıktan sonra bunların birbirleriyle etkileşim matrisleri aracılığıyla son risk değeri belirlenir. Risk değeri 5'ten daha büyük olan ofisler "yüksek riskli" olarak kabul edilir ve ofis ortamı için "İyileştirilme yapılması gerekmektedir" yorumu yapılır.

ROSA tekniğinin ilk adımında ofiste kullanılan **sandalyenin oturma yüzeyi yüksekliği ve derinliği** incelenir. Ofis sandalyesinin yükseklik, oturma yüksekliği ve derinliği, özellikleri gözlenerek Şekil 1'deki duruşlardan uygun olan seçilir ve o duruşun parantez içinde gösterilen puanı alınır. Örneğin soldan birinci sütundaki ilk pozisyon doğal konumu gösterir ve puanı 1'dir. Eğer koltuk yüksekliği ayarlanabilir değilse puana +1 puan eklenir. Sandalyenin oturma derinliğinin duruşuna da bakılarak bir puan belirlenir. Eğer oturma derinliği ayarlanabilir değilse +1 puan eklenir. Elde edilen iki puan toplanır ve puan tablosunun dikey ekseninde bulunur.

İkinci adımda sandalyenin kol dayanakları için duruş seçilir, karşılık gelen puan alınır ve dayanaklar ayarlanabilir değilse +1 puan eklenir. Sandalyenin arka destek kısmı için de aynı şekilde puanlandırma yapılır ve iki puan toplanarak yatay eksende bulunur. Sandalyenin yüksekliği ve oturma derinliğinin puanını yatay eksenden alarak kol dayanakları ve arka destek kısmının puanını dikey eksenden sandalyenin ortak puanı bulunur.

Ofis çalışanın sandalyesinde geçirdiği süre bağlı olarak sandalyenin toplam skor puanını etkiler. Eğer çalışan;

- Günde 1 saatten daha az (-1)
- 1 saatten fazla ama 30 dakikadan az sürelerle otuyorum (-1)
- Günde 1 saatle 4 saat arasında (0)
- Günde 4 saatten fazla ama bir oturuşta 30-60 dakika oturuyorum (0)

- Günde 4 saatten fazla (+1)
- Tek oturuşta 1 saat kalkmıyorum (aralıksız) (+1)

puan eklenir.

Çalışmanın izleyen adımlarında, ekran, telefon klavye ve fare kullanımı değerlendirilir. Son aşamada ise genel risk puanının hesaplanması için önce Ekran-Telefon-Klavye-Fare etkileşim matrisinden daha önce elde edilen puanlar keşiftirilerek bu ekipmanlar için ortak risk puanı belirlenir. Daha sonra da bu ortak risk puanı ile sandalye risk puanı etkileşim matrisinden ROSA risk değeri bulunur.

Düşük, orta, yüksek ve çok yüksek risk seviyesi olmak üzere toplam 4 adet risk seviyesi bulunmaktadır. Risk seviyelerine ait tanımlama;

- ❖ Düşük risk seviyesi = skor 1-2 puan,
- ❖ Orta risk seviyesi = skor 3-4 puan,
- ❖ Yüksek risk seviyesi = skor 5-7 puan
- ❖ Çok yüksek risk seviyesi = skor 8-10 puan.

Şeklinde (Poochada ve Chaiklieng, 2015) .

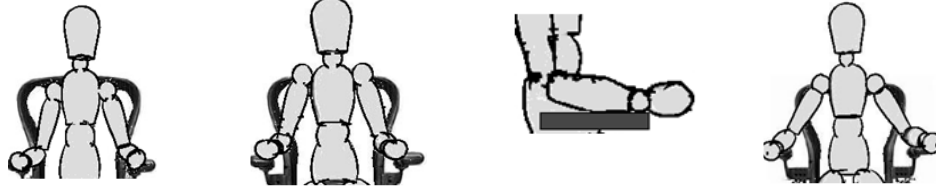
5'ten büyük ROSA puanı (yüksek veya çok yüksek risk), daha fazla ergonomi değerlendirmesine ve iş istasyonu iyileştirmelerine ihtiyaç olduğunu gösterir. Çok yüksek risk durumunda, iyileştirmeler acilen gereklidir (Chaiklieng ve Krusun, 2015).

SANDALYE YÜKSEKLİĞİ

Dizler 90° (1)

Çok düşük
Diz açısı < 90° (2)Çok yüksek
Diz açısı > 90°
(2)Ayaklar yere
temas etmiyor
(3)Masa altında
yetersiz alan –
Bacak bacak
üstüne atılmıyor
(+1)Ayarlanabilir
değil (+1)**OTURMA DERİNLİĞİ**Oturma yüzeyi kenarı ile
diz arası mesafe yaklaşık
3 inç (7.62 cm) (1)Çok uzun
Oturma yüzeyi kenarı
ile diz arası mesafe < 3
inç (2)Çok kısa
Oturma yüzeyi kenarı ile
diz arası mesafe > 3 inç
(2)

Ayarlanabilir değil (+1)

KOLÇAKDirsekler
omuzlarla aynı
eksende
desteklenmiş,
omuzlar rahat (1)Kolçaklar çok
yüksek veya düşük.
Omuzlar rahat
değil yada kolçak
bulunmuyor (2)Kolçak yüzeyi sert
veya hasarlı (+1)Kolçakların arası
çok geniş (+1)Ayarlanabilir
değil (+1)**SIRT DESTEĞİ**Bel desteği
uygun. Destek
eğimi 95°-110°
arası (1)Bel desteği yok
veya bel
pozisyonuna
denk gelmiyor
(2)Destek eğimi
çok geniş
(>110°) yada
çok dar açıda
(<95°) (2)Sırt desteği hiç
yok veya
çalışan öne
eğiliyor (2)Çalışma yüzeyi
çok yüksek.
Omuzlar yukarı
kalkıyor (+1)Sırt desteği
ayarlanabilir
değil (+1)

Şekil 1. Sandalye Değerlendirmesi

Cornell Anketi

Sadece ofislerle sınırlı kalmayıp, her türlü çalışma ortamında uygulanabilecek ve çalışanların KİS rahatsızlık düzeyleri ile bu rahatsızlıklarla karşılaşma sıklığını da tespit eden Cornell Anketi Cornell Üniversitesi İnsan Faktörleri ve Ergonomi Laboratuvarı tarafından geliştirmiştir (Hedge, Morimoto ve McCrobie, 1999).

Cornell Anketi vücut duruşlarını, cinsiyeti, işin yapılış biçimini göz önüne alarak vücutta oluşan ağrıların şiddet ve sıklığını dikkate alır. Anket, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının belirlenmesi için kullanılan iyi tasarlanmış bir veri toplama aracıdır. Ankette 18 ayrı vücut bölgesinin son 1 hafta içinde ne düzeyde ve ne sıklıkta rahatsızlık verdiği seçenekler halinde sunulur ve kişilerden kendilerine uygun olanı seçmeleri istenir.

Anket, farklı vücut bölümleri rahatsızlıklarını haftalık bazda frekans, şiddet ve işe engelliği açısından değerlendirmekte ve bir rahatsızlık skoru hesaplanmaktadır. Rahatsızlık skorunu hesaplamada;

- **Sıklık skorları** ; Hiç olmadı = 0, Haftada 1-2 defa = 1,5, Haftada 3-4 defa = 3,5 , Günde 1 defa = 5, Günde birkaç defa = 10
- **Şiddet skorları**; Az = 1 , Orta = 2 , Fazla = 3
- **Rahatsızlığın işe engelliği**; Az = 1 , Orta = 2 , Fazla = 3

şeklinde ağırlıklandırılmaktadır. İlgili vücut bölümünün toplam rahatsızlık skoru sıklık, şiddet, rahatsızlığın işle ilgisi skorlarının çarpımıyla (sıklık*şiddet*engel) bulunmaktadır (<http://ergo.human.cornell.edu/ahmsquest.html>).

Ankette değerlendirilen 18 vücut kesimlerinden, toplam skora oranla en yüksek yüzde skora sahip kesimler, en ciddi probleme sahip olanlar olup iyileştirme çalışmalarının odağını oluşturmaktadır.

3. Metod

Bu çalışma, elektronik birim tasarım ve imalatı gerçekleştiren işletmede gerçekleştirilmiştir. İşletme, 1986 yılında kurulmuştur. Yaklaşık 110 mavi yaka ve 297 beyaz yaka personel görev yapmaktadır. Elektronik birim üretimini gerçekleştiren işletme; tasarım, ürün geliştirme, kart dizgi, montaj ve test işlemlerini yapmaktadır.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışma öncesinde işletme yöneticisi ile temas kurularak çalışmanın amacı, yürütüm şekli hakkında detaylı bilgi verilmiş, çalışma ve makale için 04 Temmuz 2022 tarihli izin alınmıştır. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Başkanlığı'nın 29 Temmuz 2022 tarihli kararı ile araştırmanın etik ve bilimsel açıdan uygunluğu onaylanmıştır.

İşletmede 3 (İdari işler, Proje yönetimi, Tasarım) bölüm ofislerinde sürekli çalışan toplam 297 personel bulunmaktadır. Anketin, her ofiste en az 1 en çok 3 çalışan olmak üzere tüm ofislerde çalışan personele uygulanması planlanmıştır. Başka bir deyişle, bir ofiste çalışan sayısı;

- ❖ 1 kişi ise 1 anket,
- ❖ 1-3 kişi ise 2 anket
- ❖ 4 ve daha fazla kişi ise 3 anket

uygulanması uygun görülmüştür. Yapılan araştırmada, 125 çalışana anket uygulanabileceği tespit edilmiştir.

Çalışmada, verilerin alınması amacıyla bir anket hazırlanmıştır. Anket, 3 bölümden oluşmaktadır.

- a) **Çalışma Yeri Ve Personel Bilgileri** : Anketin ilk bölümünde, personelin çalışma bölümü (bölüm adı, görevi, çalışma süresi) ile demografik bilgileri (adı ve soyadı, cinsiyeti, eğitim durumu, medeni hali, doğum yılı) hakkında genel bilgiler yer almaktadır.
- b) **ROSA Formu**
- c) **Cornell Anketi**

Proje araştırmacıları tarafından bir personel ile, kendisi uygun durumdayken çalışmanın amacı hakkında kısa bilgi verildikten anket çalışması başlatılmıştır. Çalışma yeri ve personel bilgileri, personele sorularak yazılmıştır. ROSA formu için, çalışanın kullandığı sandalye, bilgisayar ekranı, klavye, fare ve telefon özellikleri, çalışana göre gözlenerek tespit edilmiş ve ROSA risk değeri hesaplanmıştır. Personel, Cornell anketindeki 18 vücut bölgesi için, son bir hafta içinde hissettiği ağrıların frekansı, şiddeti ve işe etkisini forma işaretlemiştir.

Gönüllülük esaslı bu çalışmaya 66 erkek 36 kadın olmak üzere toplam 102 çalışan katılmıştır.

%95 güven düzeyi için Yamane Formülü (Yamane, 1973) kullanılarak, katılımcı (örnek) sayısı;

N : Ana kütle sayısı

n : Örnek sayısı

e : Hata payı

olmak üzere

$$n = \frac{N}{1 + N * e^2} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır. 102 katılımcı için hata payı %8 elde edilmiş olup kabul edilebilir bir hatadır.

4. Bulgular

İstatistiksel analizler SPSS 24 istatistik yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Katılanların yaşları 24 ile 56 arasında değişmekte olup yaş ortalaması 36,4 (s.s.=7,21) yıldır. İşletmedeki çalışma süreleri 1 ile 30 yıl arasındadır. Ortalama çalışma süresi 8,37 (s.s.=5,66) yıldır.

Cornell Anketi

102 ofis çalışanı tarafından doldurulan anket sonuçlarına göre toplam şikayetler üzerinden vücut bölgelerinin verdiği rahatsızlıkların dağılımı Tablo-1'de verilmiştir. Tablo-1 incelendiğinde, uzun saatler boyunca masa başı çalışmadan kaynaklı olduğu düşünülen boyun rahatsızlıkları, %39,29 ile en yüksek yüzdeyi almıştır. Genellikle sandalyelerin arkalıklarının uygunsuzluğundan kaynaklanan sırt (%38,95) ve bel rahatsızlıkları (%11,45) da yüksek orandadır. Sandalye-masa yüksekliği uyumsuzluğundan ve uzun süren bilgisayar kullanımından kaynaklanması muhtemel omuz rahatsızlıkları (%4,11 ve %4,05) da kayda değer düzeydedir.

Vücut bölümlerinin sağ ve sol tarafı, el bileği hariç, frekanslar yaklaşık eşit sayıdadır. El bileğinde, hiç rahatsızlanma sayısı sağ elde 93 iken sol elde daha az, 86 bulunmuştur. Bunun en önemli nedeni, aynı hareketler yapılması halinde, sol el daha fazla zorlanmakta, ağrı daha fazla hissedilmektedir. Sağlaklar sayısı fazladır ve bunlar için sol el doğuştan itibaren daha zayıf olduğundan, eşit kullanımda daha fazla ağrı yaşanmaktadır.

Tablo 1.
Cornell Anketi Sonuçları
a. Frekanslar

Vücut Bölümü		Geçtiğimiz hafta çalıştığınız süre boyunca, vücudunuzda ne sıklıkla ağrı, sızı, rahatsızlık hissettiniz?					Eğer ağrı, sızı, rahatsızlık hissettiyseniz, ne kadar şiddetliydi?			Eğer ağrı, sızı, rahatsızlık hissettiyseniz, bu işinizi yapmanıza engel oldu mu?		
		Hiç	Hafta boyunca 1-	Hafta boyunca 3-	Her gün 1 kez	Her gün bir çok kez	Hafif	Orta	Çok	Hiç	Biraz	Çok
Boyun		25	41	21	11	4	56	16	5	77	0	0
Omuz	Sağ	63	30	9	0	0	22	15	2	35	4	0
	Sol	64	24	11	3	0	26	12	0	34	4	0
Sırt		31	36	15	18	2	47	23	1	55	16	0
Üst kol	Sağ	99	1	1	1	0	1	2	0	2	1	0
	Sol	97	3	2	0	0	2	3	0	4	1	0
Bel		58	21	9	11	3	25	19	0	31	13	0
El Bileği	Sağ	93	7	1	1	0	8	1	0	8	1	0
	Sol	86	12	3	1	0	13	3	0	16	0	0
Kalça		92	8	1	1	0	7	3	0	9	1	0
Üst bacak	Sağ	96	4	2	0	0	4	2	0	4	2	0
	Sol	94	3	3	2	0	3	5	0	6	2	0
Diz	Sağ	83	11	4	3	1	12	6	1	15	3	1
	Sol	83	11	4	3	1	12	6	1	15	3	1
Alt bacak	Sağ	95	4	2	1	0	4	3	0	5	2	0
	Sol	93	6	2	1	0	6	3	0	7	2	0

b. Risk skorları

Vücut Bölümü	Sıklık	Şiddet	Engel	Skor	%	
Boyun	230	103	77	1824130	39,29	
Omuz	Sağ	76,5	58	43	190791	4,11
	Sol	89,5	50	42	187950	4,05
Sırt	216,5	96	87	1808208	38,95	
Üst kol	Sağ	10	5	4	200	0,00
	Sol	11,5	8	6	552	0,01
Bel	148	63	57	531468	11,45	
El Bileği	Sağ	19	10	10	1900	0,04
	Sol	33,5	19	16	10184	0,22
Kalça	20,5	13	11	2931,5	0,06	
Üst bacak	Sağ	13	8	8	832	0,02
	Sol	55	13	10	7150	0,15
Diz	Sağ	55,5	27	24	35964	0,77
	Sol	55,5	27	24	35964	0,77
Al bacak	Sağ	18	10	9	1620	0,03
	Sol	21	12	11	2772	0,06

En fazla rahatsızlıkların karşılaşıldığı boyun, omuz (sağ ve sol), sırt ve bel bölgelerindeki risk skorları, personelin çalıştığı bölümler kategorisinde Tablo-

2'de verilmiştir. En yüksek riskin idari işler kategorisindeki bölümlerde olduğu görülmektedir.

Tablo 2

Bölüm Kategorisi Bazında Risk Skorları

Bölümler	N	Boyun	Sırt	Bel	Omuz (sağ)	Omuz (sol)
Proje Yönetimi	49	2,704	3,071	3,092	1,02	1,061
Tasarım	32	3,188	3,906	2,922	1,391	1,547
İdari İşler	21	6,119	7,762	5,524	1,929	2,429

Hızlı Ofis Rahatsızlık Değerlendirmesi

Çalışmada uygulana toplam ROSA skoru 4,43 (Std. Sapma 0,9785), sandalye skoru 4,41, ekran-telefon skoru 1,83, ve fare-klavye skoru 3,04 elde edilmiştir. Ayrıca sandalye yükseklik derinlik puanı 3,86 ve sandalye kolçak sırtlık puanının 3,96 tespit edilmiştir. Sonuçlar fare-klavye ROSA skorunun diğer bölgelere göre daha düşük olduğunu göstermektedir. ROSA puanı açısından diğer bölgeler arasında farklılık olmadığı da görülmüştür.

İncelenen 102 ofisin 51 tanesi (%50) ergonomik açıdan riskli (risk skoru 5 üstü) bulunmuştur (Tablo 3). Risk düzeyinin yüksek çıkmasının en önemli nedeni sandalyenin kolçak ve sırtlığı tespit edilmiştir.

Tablo-3

ROSA Risk Skoru Dağılımı

ROSA Puanı	Frequency	Percent (%)
3	20	19,61
4	31	30,39
5	38	37,25
6	13	12,75

Ofis ekipmanı bazında, risk skoru 5 ve üzeri sayılar Tablo-4'de verilmiştir. Sandalye (kolçak ve sırtlık) en yüksek etken olarak belirlenmiştir. Ofislerde

sandalye skorunun yüksek çıkmasının en önemli nedeni, mevcut sandalyelerin %82,35'inin kolçagının uygun olmaması (sabit değil ya da ayarlanabilir değil), %66,67'sinin ise sırtlığının ayarlanabilir olmaması, geride olmasıdır.

Tablo-4

Ofis Ekipmanlarının ROSA Risk Seviyeleri

Ofis Ekipmanı	Riskli Ofis Sayısı	Yüzde (%)
Sandalye-Oturma yüzeyi	26	25,49
Sandalye-Kolçak ve sırtlık	42	41,17
Ekran	10	9,80
Telefon	0	0
Fare	0	0
Klavye	2	1,96

İşletmede mevcut 3 bölüm kategorisi için ofis ekipmanlarının ortalama ROSA skorları Tablo-5'de verilmiştir. Sandalye oturma yüzeyi, idari işler; kolçak ve sırtlık, idari işler; ekran, proje yönetimi; telefon, tasarım; fare, proje yönetimi; klavye, idari işler için uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo-5

Bölüm Kategorisi Bazında ROSA Risk Skor Ortalamaları

Bölümler	N	Sandalye – Oturma yüzeyi	Sandalye – Kolçak ve sırtlık	Ekran	Telefon	Fare	Klavye	Tüm
Proje Yönetimi	49	3,88	4,02	2,81	0,29	2,10	3,00	4,47
Tasarım	32	3,72	3,75	2,34	0,41	2,03	3,06	4,22
İdari İşler	21	4,05	4,14	2,71	0,33	2,00	3,10	4,67

ROSA skoru ile en yüksek risk skoruna sahip 5 vücut bölgesinin Cornell skorları arasındaki korelasyonlar Tablo-6'da verilmiştir. Korelasyonlar düşük olmakla birlikte, ROSA skoru ile en fazla sağ omuz ve bel ile arasında korelasyon (<0,3) tespit edilmiştir (Tablo-6.a). Ofis

ekipmanlarının skorları ile 5 vücut bölgesi Cornell skorları arasında da düşük korelasyonlar (<0,35) bulunmuştur (Tablo-6.b).

Tablo-6

ROSA İle Cornell Sonuçları Arasındaki Korelasyonlar

a) ROSA Skorları

	ROSA	Boyun	Sırt	Bel	Sağ Omuz	Sol Omuz
ROSA	-					
Boyun	,156	-				
Sırt	,145	,650**	-			
Bel	,255**	,206*	,293**	-		
Omuz sağ	,286**	,438**	,334**	,235*	-	
Omuz sol	,100	,294**	,297**	,078	,634**	-

b) Ofis Ekipmanları

	Boyun	Sırt	Bel	Sağ Omuz	Sol Omuz
Sandalye Yükseklik	,110	,099	,397**	,325**	,053
Sandalye Derinlik	,206*	,211*	,170	,233*	,055
Kolçak	,075	-,043	-,055	,113	,114
Sırtlık	,264**	,226*	,074	,258**	,142
Ekran	,051	,026	,143	,096	,119
Telefon	,071	,264**	,025	-,095	-,135
Fare	-,064	-,049	-,025	-,059	-,006
Klavye	,168	,102	,344**	,025	,151

**Korelasyon 0,01 seviyede anlamlıdır.

* Korelasyon 0,05 seviyede anlamlıdır.

4. Tartışma

Bu çalışmada elektronik birim tasarım ve üretimini gerçekleştiren bir işletmede, sürekli ofislerde görev yapan 102 çalışanın çalışma ortamı ergonomik açıdan değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme çift taraflı yapılmış olup, gözlemci ROSA formu doldururken, ofis çalışanları ise Cornell anketlerini doldurmuşlardır.

Tablo-1'deki Cornell sonuçları incelendiğinde uzun saatler boyunca masa başı çalışmadan kaynaklanan boyun rahatsızlıkları (%39,29) ile sandalyelerin arkalıklarının uygunsuzluğuna işaret eden sırt (%38,95) ve bel (%11,45) rahatsızlıkları en yüksek risk yüzdelere sahiptir. Sandalye-masa yüksekliği uyumsuzluğundan ve uzun süren bilgisayar kullanımından kaynaklanması muhtemel omuz rahatsızlıkları (%4,11 ve %4,05) da yüksek riskli olarak göze çarpmaktadırlar. Bu şikâyetler yanlış oturma pozisyonlarından ve genellikle ayarlanabilir olmayan sandalye oturak derinliklerinden kaynaklanmaktadır. Çalışanların bu rahatsızlıkları hissetmelerinin altında yatan en önemli sebepler; kullanılan ekipmanların çalışana uygun olmaması, ayarlanabilir ekipmanların ayarlarının uygun olmaması, çalışanların masa başında çalışma risklerini azaltma yöntemleri konusunda eğitilmemiş olması, çalışanların bu uygunsuzluklardan haberdar olmamaları ve rahatsızlıkları ile bu rahatsızlığın kaynağı olan ofis ekipmanları arasındaki ilişkiyi kurmadaki eksikliklerdir.

Çalışmada uygulana toplam ROSA skoru 4,43 (s.d. 0,9785), sandalye skoru 4,41, ekran-telefon skoru 1,83, ve fare-klavye skorunun 3,04 olduğu değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada ayrıca sandalye yükseklik derinlik puanı 3,86 ve sandalye kolçak sırtlık puanının 3,96 olduğu değerlendirilmiştir. Ofislerde sandalye skorunun yüksek çıkmasının en önemli nedeni, mevcut sandalyelerin %82,35'inin kolçağının uygun olmaması (sabit değil ya da ayarlanabilir değil); %66,67'sinin ise sırtlığının ayarlanabilir olmaması, geride olmasıdır. Bu uygunsuzluk, çalışanın boyun ve sırt bölgesinde ağırlara ve kollarda, statik kuvvet nedeniyle daha fazla yorgunluğa sebep olur.

Çalışanların ekran yükseklikleri incelendiğinde %9,8'inin uygun olmadığı görülmüştür. Tüm bölümlerde ekrana bakarak çalışanlar için büyük önem arz etmektedir. Bu koşullarda çalışanlarda özellikle boyun bölgesinde ağırlar oluşmaktadır.

En fazla rahatsızlıkların karşılaşıldığı boyun, sırt, bel ve omuz bölgelerindeki rahatsızlıklar ile personelin yaşı ve deneyimi arasındaki korelasyonlar analiz edilmiştir. Bu vücut bölgeleri için ağrının sıklığı, şiddeti ve yapılan işe engel durumu için yapılan analizlerde, yaş ve çalışma süresinin zayıf ancak pozitif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu etkinin zayıf olmasında en büyük etkinin deneklerin genç olmasının etkili olduğu tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada ortalama ROSA skoru 4,43 (s.s. 0,9785), sandalye skoru 4,41, ekran-telefon skoru 1,83, ve fare-klavye skoru 3,04 elde edilmiştir. Oysa sandalye yükseklik derinlik puanı 3,86 ve sandalye kolçak sırtlık puanının 3,96'dır. Ergonomik açıdan riskli durumlarda bulunan ofislerde çalışanların; boyun (%39,29), sırt (%38,95), bel (%11,45) ve omuz (%4,11 ve %4,05) bölgelerinde hissettikleri rahatsızlıkların ofis risk düzeyi ile önemli bir ilişkiye sahip oldukları tespit edilmiştir. ROSA (ve Cornell) anketinin kullanıldığı çalışmalarda elde edilen sonuçlar önemli ölçüde bu çalışmanın sonuçları ile örtüşmektedir.

Poochadaa ve Chaikliengb (2015), 216 çağrı merkezi çalışanın ROSA yöntemi ile risklerini araştırmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki çalışanların %52,3'ü yüksek risk seviyesinde (skor 5-7) tespit edilmiştir. Haghshenas ve diğ. (2018), 94 personel üzerinde yaptıkları araştırmasında, ROSA sonuçlarına göre çalışanların %71'inin yüksek risk seviyesinde olduklarını, Nordic anketine göre, en yüksek ağrının boyun bölgesinde (%65,94) olduğunu tespit etmişlerdir.

Sartang ve Habibi (2015), bir üniversitede çalışan 96 bilgisayar kullanıcısının riskini ROSA ve Nordic anketleri ile araştırmıştır. ROSA sonuçlarına göre, %19,8'i düşük (skor 3'den az) ve %28,1'i yüksek (skor 5'den büyük) elde edilmiştir. Ortalama ROSA skoru 4,93 bulunmuştur ki bu değer çok yüksektir ve uyarı kategorisindedir. Özkan ve Kahya (2017), 92 çalışanın ROSA ve Cornell yöntemleri ile ergonomik risklerini araştırmıştır. Cornell anketi sonuçlarına göre, boyun (%18,69) ve omuz (%18,16) rahatsızlıkları en yüksek yüzdelere almışlardır. Sırt (%16,49) ve bel (%10,87) rahatsızlıkları da yüksektir. ROSA yöntemi sonuçlarına göre, 92 ofisin 36 tanesi ergonomik açıdan riskli bulunmuş, en çok risk oluşturan ofis ekipmanı ise sandalye (%30,43) olarak belirlenmiştir. Ortalama ROSA risk puanı 4,23 elde edilmiştir.

Besharati, Daneshmandi, Zareh, Fakherpour ve Zoaktafi (2020), Nordic, ROSA ve NASA-TLX yöntemlerini kullanarak 359 ofis çalışanı ile yaptığı araştırmada, son 12 ay içinde en yüksek rahatsızlık oranının ve şiddetinin katılımcıların boyunlarıyla ilgili olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Omuzlar, dirsekler, bilekler/ellerdeki ağrı/rahatsızlık şiddetinin, ROSA skoru ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Valipour ve diğ. (2016), bir hastanenin farklı servislerinde görev yapan 57 çalışan ile ROSA ve REBA yöntemleri kullanarak yaptıkları araştırmada, idari personelin %43'ünde yüksek ve %57'sinde orta seviye ROSA risk skoru elde etmişlerdir. Mianehsaz ve diğ. (2022) ise, bir hastane ofislerinde çalışan 111 kişinin Cornell ve ROSA yöntemleri ile risklerini ele almışlardır. Cornell sonuçlarına göre, çalışanların boyun (%67) ve bacak (%59,5 ve %55) bölgelerinde en fazla ağrı hissettikleri, sandalye nedeniyle %24'ü yüksek seviyede riske sahip oldukları tespit edilmiştir.

Kahya (2021) tarafından, bir üretim işletmesi ofislerinde yaptığı araştırmada, ROSA skoru 3,52, sandalye 3,30, ekran ve telefon skoru 2,18, ve fare ve klavye 2,69 elde edilmiştir. İncelenen 208 ofisin 39 tanesi (%18,8) ergonomik açıdan riskli bulunmuştur. Ergonomik açıdan riskli işyerlerinde çalışanların; boyun, bel, sırt ve omuz bölgelerinde hissettikleri rahatsızlıkların ofis risk düzeyi ile önemli bir ilişkiye sahip oldukları tespit edilmiştir.

Ofis ortamları çalışanlar uzun saatler boyunca birçok ofis eşyası ile etkileşim halindedir. Çalışmalar göstermiştir ki sandalye, ekran, telefon gibi ofis ekipmanlarının çalışanlar için uygun olmamaları veya uygun kullanmaları sonucu olarak büyük ölçüde boyun, sırt, bel ve omuz bölgelerinde rahatsızlıklara maruz kalmaktadırlar. İş konforunu sağlamak ve çalışanların verimliliklerini arttırmak için ofis ekipmanlarının ergonomik olarak tasarlanmış olması önem arz etmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada büyük ölçekli bir işletmenin, sürekli ofislerde görev yapan 102 çalışanın çalışma ortamı ergonomik açıdan değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme çift taraflı yapılmış olup, gözlemci tarafından ROSA yöntemi kullanılırken, ofis çalışanları ise Cornell anketlerini doldurmuşlardır. İki yöntemin eş zamanlı kullanılmasıyla Cornell anketlerinde belirtilen ağrı şikâyetlerinin ofis şartlarından kaynaklanıp kaynaklanmadığı

belirlenmeye çalışılmıştır. Ofis çalışanlarının doldurduğu anketler rahatsızlıkların boyun, omuz ve sırt bölgesinde yoğunlaştığını göstermektedir. ROSA değerlendirmeleri ise ofislerde riski en yüksek etmenlerin sandalye, ekran, telefon ve masa üstü ekipmanlarının (Telefon-Ekran-Klavye-Fare) birleşik etkileri olduğunu göstermiştir. Vücudun bu bölgelerindeki rahatsızlıklardaki artışın ofisin ergonomik uygunsuzluğundan kaynaklandığına dair istatistiksel açıdan anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum sandalye üstünde uzun saatler geçirildiği, bilgisayar ekranının yüksekliğinin uygun olmadığı, sandalye kol desteklerinin uygun olmadığı ve telefon, klavye, fare ekipmanları ile yanlış pozisyonlarda uzun süreler geçirildiğine işaret etmektedir. Sonuç olarak ofislerde yapılacak düzenlemelerde ayarlanabilir sandalye ve kolçak yükseklikleri ve periyodik vücut egzersizleri içeren molalar önerilmiştir. Sandalye ve Ekranla ilgili yükseklik ayarları ve egzersizler hakkında ofis çalışanlarına eğitim verilmesi ve ofislerde hatırlatıcı uyarılar bulundurulması da yapılan öneriler arasındadır. Ayrıca, KİSR yol açan uzun süreli sabit pozisyonda çalışmaları engellemek için yükseklik ayarlı masalar kullanılabilir. Saat başlarında masa yükseklikleri otomatik olarak değişerek, çalışanın unutulması durumunda hareket etmeye zorlayabilir.

Ofislerde görev yapan personelin daha verimli çalışması için, çalışanların hissettikleri rahatsızlıkların hangilerinin basit ofis düzenlemeleriyle giderilebileceğini tahmin etmek için bu çalışma kapsamında geniş kapsamlı bir yaklaşım önerilmiştir. Gözlem ve çalışandan bilgi toplamaya dayanan yöntemler bir arada kullanılarak istatistiki analizler yapılarak KİS rahatsızlıkları nedeniyle olabilecek muhtemel personel devamsızlıklarını azaltabilmek mümkündür.

Araştırmacıların Katkıları

Bu araştırmada; Emin KAHYA, çalışmanın tasarımı, bilimsel yayın taraması, anket formunun tasarımı, istatistiki analiz, makalenin yazımı; Filiz ERKAPLAN anketlerin uygulanması, istatistiki analiz katkılarında bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akay D., Kurt M. ve Dağdeviren, M. (2003). Ergonomic analysis of working postures, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 18 (3), 73-84.
- AlOmar, R.S., AlShamlan, N.A., Alawashiz, S., Badawood, Y., Ghwoidi, B.A. ve Abugad, H. (2021). Musculoskeletal symptoms and their associated risk factors among Saudi office workers: A cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disord*, 22, 763. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04652-4>
- Amick, B. C., Menéndez, C. C., Bazzani, L., Robertson, M., DeRango, K., Rooney, T., ve Moore, A. (2012). A field intervention examining the impact of an office ergonomics training and a highly adjustable chair on visual symptoms in a public sector organization. *Applied Ergonomics*, 43 (3), 625-631. doi : <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.09.006>
- Besharati A, Daneshmandi H, Zareh K, Fakherpour A., Zoaktafi M. (2020). Work-related musculoskeletal problems and associated factors among office workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26(3), 632-638. doi: <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1501238>
- Can, G. F., Atalay, K. D., ve Eraslan, E. (2015). Working posture analysis in fuzzy environment and ergonomic work station design recommendations, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (3), 451-460.
- Chaiklieng S. ve Krusun M. (2015). Health risk assessment and incidence of shoulder pain among office workers. *Procedia Manufacturing*, 3, 4941-4947. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.636>
- Cornell University Ergonomics Web. Erişim adresi : <http://ergo.human.cornell.edu/ahmsquest.html>.
- Dimberg, L., Goldoni Laestadius, J., Ross, S., ve Dimberg, I. (2015). The changing face of office ergonomics, *The Ergonomics Open Journal*, 8 (1), 38-56. Doi : <https://doi.org/10.2174/1875934301508010038>
- Ekin, E., Özçelik, M.Ö. ve Avşar Özcan, N. (2021). Bir kamu kurumundaki ofis çalışanlarının ergonomik riskler açısından değerlendirilmesi. *Journal of Turkish Operations Management*, (5)2, 792-805. Erişim adresi : <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1591576>
- Fatudimu, M.B., Odekunle, A. ve Hamzat, T.K. (2022). Point prevalence and risk factors for work-related musculoskeletal disorders among academic staff in a Nigerian University. *Journal of the Nigeria Society of Physiotherapy*, 21(1), 1-10. Doi: <http://doi.org/10.5897/JNSP2021.0013>
- Haghshenas, B., Habibi, E., Hajar, F., Ghanbary Sartang, A., Wijk, L.V., Khakkar, S. (2018). The association between musculoskeletal disorders with mental workload and occupational fatigue in the office staff of a communication service company in Tehran, Iran, in 2017. *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, 7 (1), 20-29. Doi : <http://doi.org/10.29252/johe.7.1.20>
- Hedge, A., Morimoto, S. And McCrobie, D. (1999). Effects of keyboard tray geometry on upper body posture and comfort, *Ergonomics*, 42 (10), 1333-1349. Doi : <https://doi.org/10.1037/t60061-000>
- Kahya, E. (2021). Assessment of musculoskeletal disorders among employees working office workplaces in the manufacturing sector. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 69(3), 1103-1113. Doi : <https://doi.org/10.3233/WOR-213539>
- Khandan M, Arab Z, Koohpaei A. (2016). High ergonomic risk of computer work postures among Iranian hospital staff: evidence from a cross-sectional study. *International Journal of Hospital Research*, 5(1), 29-34. Doi : <http://doi.org/10.15171/ijhr.2016.06>
- Kırcı, B. K., (2018), *Lojistik Depo Sektöründe REBA, RULA VE NIOSH Yöntemleri İle Ergonomi Alanında Bir İrdeleme* (Yüksek Lisans Tezi). Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Üsküdar Üniversitesi.
- Koç, S. ve Testik, Ö.M. (2016). Mobilya sektöründe yaşanan kas-iskelet sistemi risklerinin farklı değerlendirme metotları ile incelenmesi ve minimizasyonu. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(2), 2-27. Erişim adresi : <https://dergipark.org.tr/en/pub/endustrimuendisligi/issue/46716/585764>
- Krusun, M. ve Chaiklieng, S. (2014). Ergonomic risk assessment in university office workers. *Asia-*

Pacific Journal of Science and Technology, 19(5), 696-707.

- Machado-Matos, M., ve Arezes, P.M. (2016). Impact of a workplace exercise program on neck and shoulder segments in office workers. *Dyna*, 83(196), 63-68. Doi : <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n196.56611>.
- Mahmud, N., Bahari, S. F. ve Zainudin, N. F. (2014). Psychosocial and ergonomics risk factors related to neck, shoulder and back complaints among Malaysia office workers. *International Journal of Social Science and Humanity*, 4 (4), 260-263.
- Mani, K., Provident, I. ve Eckel, E. (2016). Evidence-based ergonomics education: Promoting risk factor awareness among office computer workers. *Work*, 55(4), 913-922. Doi : <https://doi.org/10.3233/WOR-162457>
- Matos, M., ve Arezes, P.M. (2015). Ergonomic evaluation of office workplaces with Rapid Office Strain Assessment (ROSA). *Procedia Manufacturing*, 3, 4689-4694. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.562>
- Meinert, M., König, M., ve Jaschinski, W. (2013). Web-based office ergonomics intervention on work-related complaints: a field study. *Ergonomics*, 56 (11), 1658-1668. Doi : <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.835872>
- Mianehsaz, E., Tabatabaei, M., Kashani, M.M., Badi, H.Z. ve Rahimi, H. (2022). Evaluating musculoskeletal disorders and their ergonomic risk factors among office workers of a large public hospital in Iran. *International Archives of Health Sciences*, 9, 35-40. Doi : <https://doi.org/10.4103/iahs.iahs.68.21>
- Mirmohammadi, T., Gook, O., Mousavi Nasab, N., Mahmoodi Sharafe, H. (2020). Investigating the prevalence of musculoskeletal disorders in Melli Bank staff and determining its relationship with office tension in north Khorasan Province in 2019. *Iranian Journal of Ergonomics*, 7 (4), 31-39. Doi : <http://doi.org/10.30699/ijergon.7.4.31>
- Nasir, I., Motamedzade, M., Golmohammadi, R., Faradmal, J. (2015). Assessment of risk factors for musculoskeletal disorders using the Rapid Office Strain Assessment (ROSA) Method and implementing ergonomics intervention programs in Sepah Bank. *Journal Of Health And Safety At Work*, 5(2), 47-62. Erişim adresi :
- <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=458805>
- Özkan, N.F., ve Kahya, E. (2017). Assessing ergonomic risks in an university's administrative offices. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 149-158. Doi : <http://doi.org/10.17341/gazimmfd.300603>
- Poochadaa, W. ve Chaiklieng, S. (2015). Ergonomic risk assessment among call center workers. *Procedia Manufacturing*, 3, 4613-4620. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.543>
- Rahman, M.N.A., Razak, N.S.A., Hassan, M.F., Adzila, S., Ngali, M.Z., Salleh, S.M. (2017). Quantifying exposure to risk factors among office workers using ROSA method. *Advanced Science Letters*, 23(8), 7597-7600. Doi : <https://doi.org/10.1166/asl.2017.9531>
- Robertson, M., Amick, B. C., DeRango, K., Rooney, T., Bazzani, L., Harrist, R. ve Moore, A. (2009). The effects of an office ergonomics training and chair intervention on worker knowledge, behavior and musculoskeletal risk. *Applied Ergonomics*, 40 (1), 124-135. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2007.12.009>
- Robertson, M. M., Ciriello, V. M. ve Garabet, A. M. (2013). Office ergonomics training and a sit-stand workstation: Effects on musculoskeletal and visual symptoms and performance of office workers. *Applied Ergonomics*, 44 (1), 73-85. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.05.001>
- Saeidi, C., Dastaran, S. ve Musavi, S. E. (2016). Evaluation of the risk factors of musculoskeletal disorders and its relation to the workload of employees at 118 call centre in Sanandaj. *Health and Development Journal*, 5(2), 110-121. Erişim adresi : https://ihad.kmu.ac.ir/article_91216.html
- Safarian, M.H., Najarkolaei, F.R. ve Mortezaipoor, A. (2019). A comparison of the effect of ergonomic, organisation, and education interventions on reducing musculoskeletal disorders in office workers. *Health Scope*, 8(1), e68422. Doi : <https://doi.org/10.5812/jhealthscope.68422>
- Sartang, A.G. ve Habibi, E. (2015). Evaluation of Musculoskeletal Disorders among computer Users in Isfahan. *Iranian Journal of Health, Safety & Environment*, 2(3), 330-334. Erişim adresi : <http://ijhse.ir/index.php/IJHSE/article/view/94>

- Sharifi, A.S., Danesh, M. K. ve Gholamnia, R. (2022). Improvements in musculoskeletal symptoms, mental workload and mental fatigue: Effects of a multicomponent ergonomic intervention among call center workers. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 72(2),765-774. Doi : <https://doi.org/10.3233/WOR-213641>
- Sohrabi, M., Faridizad, A.M. ve Farasati, F. (2015). Comparing results of musculoskeletal disorders evaluation in computer users with CMDQ, RULA and ROSA methods. *Journal Of Ilam University Of Medical Sciences*, 23(4), 53-62. Erişim adresi : <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=482966>
- Sonne, M., Villalta, D. L. ve Andrews, D. M. (2012). Development and evaluation of an office ergonomic risk checklist: ROSA–Rapid office strain assessment. *Applied Ergonomics*, 43 (1), 98-108. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.03.008>
- Soroush, M ve Hassani, H. (2015). Musculoskeletal complaints associated with computer use and its ergonomic risks for office workers of a medical sciences university in Tehran. *Annals Of Military And Health Sciences Research*, 13(1), 2-6. Erişim adresi : <https://brieflands.com/articles/amhsr-62646.html>
- Valipour, F., Mohammadian, M.S., Yahyaei, E., Shokri, S. ve Ahmadi, O. (2016). Assessment of the staff working posture using REBA & ROSA methods in a military hospital. *Health Research journal*, 1(3), 167-172. Doi : <https://doi.org/10.18869/acadpub.hrjbaq.1.3.171>
- Yamane, T. (1973). *Statistics: An Introductory Analysis*. London: John Weather Hill, Inc.

AN INTEGRATED PERFORMANCE MEASUREMENT FRAMEWORK FOR RESTAURANT CHAINS: A CASE STUDY IN ISTANBUL

Ayşegül PINARBAŞI¹, Umut AYDIN², Melis Almula KARADAYI^{3*}, Hakan TOZAN⁴

¹Idea Technology Solutions, İstanbul

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0309-2452>

²Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Transportation Engineering, Bandırma, Balıkesir

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-4802-8793>

³İstanbul Medipol University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Industrial Engineering, İstanbul

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-6959-9168>

⁴İstanbul Medipol University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Industrial Engineering, İstanbul

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0479-6937>

Keywords	Abstract
<i>Categorical DEA, Dimension Reduction, Principal Component Analysis (PCA), Performance Measurement, Restaurants.</i>	<i>Companies that continue to operate in a competitive market strive the most efficient use of their resources in order to remain competitive. Nowadays, with increasing customer feedback, properly analyzing customer needs and requests and producing services in accordance with expectations have become increasingly important due to the large number of companies competing in the same market, and this is especially important to be at the forefront of competitors in the food services industry. There are risks and uncertainties owing to the continuously changing demand for food service enterprises, the difficulty to regulate interest and comparable charges, the competitive environment, and currency rate hikes. In light of all of these circumstances, restaurants require a versatile tool to effectively measure and analyze their performance. Therefore, this study combines Principal Component Analysis (PCA) and Categorical Data Envelopment Analysis (CAT-DEA) to analyze the performance of 15 dealers in Istanbul, divided into three categories: steakhouse, kebab, and meatball-doner. The results demonstrate that each category has just one efficient restaurant, for a total of three efficient restaurants out of fifteen. In addition to the suggested CAT-DEA-based framework, three research hypotheses are constructed and analyzed to investigate the link between restaurant performance and various environmental factors (or relevant indicators) in the food service industry.</i>

DETERMINING THE DIRECTION OF AN ORGANIZATION WITH THE EFQM 2020 MODEL: KAYSERİ ULAŞIM INC. STRATEGIC PLAN FOR 2021-2025

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Kategorik VZA, Boyut İndirgeme, Temel Bileşenler Analizi (PCA), Performans Ölçme, Restoranlar</i>	<i>Rekabetçi bir piyasada faaliyet göstermeye devam eden şirketler, rekabetçi kalabilmek için kaynaklarını en verimli şekilde kullanmaya çalışırlar. Artan müşteri geri bildirimleri ile birlikte, aynı pazarda rekabet eden çok sayıda firma nedeniyle, müşteri ihtiyaç ve isteklerini doğru analiz etmek ve beklentilere uygun hizmet üretmek giderek daha önemli hale geldi ve bu durum özellikle gıda hizmetleri endüstrisinde rekabette ön planda olmak için önemlidir. Yiyecek hizmeti işletmelerine yönelik sürekli değişen talep, faiz ve karşılaştırılabilir ücretlerin düzenlenmesindeki zorluk, rekabet ortamı ve kur artışları nedeniyle bu sektörde riskler ve belirsizlikler bulunmaktadır. Tüm bu koşullar ışığında restoranlar, performanslarını etkin bir şekilde ölçmek ve analiz etmek için çok</i>

*Corresponding author; Email: makaradayi@medipol.edu.tr

yönlü bir araca ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, bu çalışma, İstanbul'da et lokantası, kebab ve köfte-döner olmak üzere üç kategoriye ayrılmış 15 bayinin performansını analiz etmek için Temel Bileşenler Analizi (PCA) ve Kategorik Veri Zarflama Analizini (CAT-DEA) birleştirmektedir. Sonuçlar, her bir kategorinin yalnızca bir verimli restorana sahip olduğunu ve on beş bayiden toplamda üç bayinin verimli olduğunu göstermektedir. Önerilen CAT-DEA tabanlı yaklaşıma ek olarak, yemek hizmeti endüstrisinde restoran performansı ile çeşitli çevresel faktörler (veya ilgili göstergeler) arasındaki bağlantıyı araştırmak için üç araştırma hipotezi oluşturulmuş ve analiz edilmiştir.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 14.03.2022	Submission Date	: 14.03.2022
Kabul Tarihi	: 21.11.2022	Accepted Date	: 21.11.2022

1. Introduction

Efficiency evaluation has long been believed to be essential for service-related businesses due to today's world's rising rivalry and economic reasons (Reynolds and Thompson, 2007; Özden, 2008). At this point, it is critical to observe and measure the extent to which the firm can convert its inputs into outputs. Because "if the result cannot be measured, the success/failure situation cannot be evaluated; if the success cannot be evaluated, it cannot be rewarded; if the success cannot be rewarded, it is most likely that the failure is rewarded; and if the failure cannot be defined, it cannot be corrected" (Yildirim, 2010). In this regard, the proper and optimal utilization of resources is crucial for organizations.

Researchers in the foodservice industry have mostly concentrated on partial factor productivity indices, which include the rate of output measured in specified units and any input component assessed in specific units. Sales per labor hour, revenue per available seat hour, and transactions per hour are examples of such metrics. In internal analyses, these variables are inadequate and do not accurately represent efficiency. Total factor productivity models are insufficient to evaluate several units with varying labor characteristics (Brown and Hoover, 1990). To put it another way, both total and partial factor ratios provide an average outcome. Comparisons yield the most accurate findings (Reynolds and Thompson, 2007).

For efficiency analysis, studies in the literature shows that Stochastic Frontier (Zou, Kwan, Hansen, Rutherford and Kafle, 2016; Chen, Wanke, Antunes and Zhang, 2017; Tsionas, Chen and Wanke, 2017), DEA (Saranga and Nagpal, 2016; Lee and Worthington, 2014; Lu, Wang, Hung and Lu, 2012;

Mallikarjun, 2015; Rouse, Putterill and Ryan, 2002; Sakthidharan and Sivaraman, 2018), Multi-Criteria Decision-Making techniques (MCDM) (Barros and Wanke, 2015; Wanke, Azad, Barros and Hassan, 2016; Çalış, Özçelik and Gencer, 2016; Pineda, Liou, Hsu and Chuang, 2018; Dinçer, Hacıoğlu and Yüksel, 2017), regression (Bravo-Ureta et al., 2007), tobit (McDonald, 2009; Grmanová and Strunz, 2017), logit (He, Sun, Shen, Jian and Yu, 2019), and many more approaches are employed. Most studies base their performance evaluations on the assumption that the DMUs in the data set are of similar scale. As a result of this situation, the subgroups that may exist in the data set among DMUs are not included in the analysis, and the inherent features of the data are neglected. In the light of these considerations, this study employs categorical data envelopment analysis (DEA) whilst also avoiding potential the curse of dimensionality by dimension reduction employing principal component analysis (PCA). Curse of dimensionality is a general concept used for potential problems that may arise with an increase in the number of variables in the data set. As the number of variables in the data set increases, the probability of including variables that are correlated with each other in the data set also increases, and the presence of highly correlated variables in the DEA approach causes the approach to fail in separating efficient and inefficient units (Jothimani, Shankar and Yadav, 2017). In addition, the number of DMUs in the data set should be twice the product of the number of input and output variables. With the PCA-DEA integration, these two problems can be avoided by reducing the number of variables in the data set to the minimum number of variables that most explain the total variance. The main motivation of this study is to demonstrate the benefits of PCA-DEA integration

for researchers, especially in data sets with low number of DMUs. Furthermore, to the best of our knowledge, this is the first study in the literature that combines categorical DEA and PCA methodologies. This study proposes a performance evaluation tool that can be used with PCA-Categorical-DEA integration both for datasets that are heterogeneous in terms of sizes on the basis of variables and for datasets with a small number of DMUs despite having a large number of variables.

The purpose of this study is to use categorical DEA based on PCA to assess the efficient and inefficient restaurants of 15 dealers of a restaurant chain operating in Istanbul and overseas. In this study, a list of variables was established as a result of literature review in the first stage, and the study was carried out with the variables selected from these set of variables as a result of interviews with restaurant chain management in the variable selection phase. Employee Number, Manager Experience, Seating Capacity, Number of Managers, Working Hours, Advertising Expenses, and Area variables are used as inputs in this study, and the Average Account, Number of Transactions, and Number of Customers variables are used as outputs, in order to apply PCA-Categorical DEA hybrid approach to analyze efficiency of restaurants. In the final stage, research hypotheses are tested in order to observe the effects of some environmental factors which were requested by the restaurant chain management.

The remainder of this article is organized as follows. Section 2 outlines a review of DEA-based restaurant chains efficiency studies and dimension reduction studies with PCA. In Section 3, proposed methodologies are delineated for evaluating performance of restaurants. The application of proposed framework, research hypotheses and their results are reported and discussed in Section 4. Section 5 presents managerial implications and further research directions.

2. Literature Review

2.1 DEA-based Restaurant Chains Studies

In the literature, there are numerous DEA-based efficiency studies that have been conducted in many fields such as banking, healthcare (Karadayi, Ekinci, Akkan and Ülengin, 2017), agriculture and farm, logistics, education, tourism, energy, environment, ...etc. But if we focus on DEA-based

restaurant chains efficiency studies, there are limited studies that can be summarized as follows:

Tepe (2006) measured the performance of 20 Burger King branches in Istanbul with the data envelopment analysis. In the study, 8 models, including input and output-oriented BCC and CCR models, were used. Number of team members, number of managers, seating capacity, restaurant manager's experience was selected as inputs. Moreover, number of transactions, sales and customer satisfaction were selected as outputs.

Giménez-García, Matínez-Parra and Buffa (2007) used three-stage data envelopment analysis method for location analysis of 54 branches of a restaurant chain. The inputs used in the study were; wait and kitchen staff, number of seats, number of server counters, and outputs were sales and quality index, and context environmental variables were as follows; location, average bill amount ticket, number of competitors. Reynolds and Thompson (2007) measured the efficiency of a 62-unit restaurant chains with three-stage DEA in their study. The inputs used were, hourly server wage, restaurant seats, and a coding variable representing whether the restaurant is a stand-alone facility and outputs of the study are daily sales and tip percentage. Reynolds and Biel (2007) analyzed 36 same-branded corporate units of a restaurant chain in the USA with the DEA. In the study, revenue, controllable income, guest satisfaction and retention equity were used as inputs. Whilst, cost of goods sold, labor cost, employee satisfaction, rent, taxes and insurance, square footage, number of seats were selected as output variables.

By applying a Data Envelopment Analysis method in French hotel chains, Botti, Bricc and Cliquet (2009) analyzed that plural form networks are, on average, more efficient than strictly franchised and fully owned chains. While the inputs used in the study were costs, territory coverage, chain duration, sales were used as an output.

Reynolds and Taylor (2011) tested a multidimensional holistic model with multiple variables using DEA and evaluated its validity using structural equation modeling (SEM) to examine from three units of a small full-service restaurant chain in the USA.

Gharakhani, Maghferati and Jalalifar (2012) combined DEA and Super Efficiency models to analyze the efficiency of 15 restaurants in Iran.

Monthly working hours, branch area (square meters) and years of experience as a manager were chosen as inputs. The number of customers who purchase monthly from the branch and monthly sales in USD were selected as outputs. Chou and Fang (2013) employed DEA to measure menu performance based on excess in 20 Chinese-Style Fast Food chains. Output oriented CCR and BCC were used. As inputs, average unit food cost, average selling price, number of food supplier and a dummy variable, cooking steps (1. Easy – need one step, 2. Middle –need two steps, 3. A little bit harder – need tree steps, 4. Complicated –need four or more steps), cooking time, average unit labor cost, average other operating expenses were included. Popularity and earnings were chosen as output variables.

Duman, Tozanli, Kongar and Gupta (2017) suggested an integrated approach, fuzzy AHP and DEA They listed efficient and inefficient retail stores in franchises. The inputs and outputs used in the study were as follows; store territory (Sq. Mile), population density (Population/Sq Mile), weekly expenses (dollars/week), total hours worked by in-store personnel (hours/week), total hours worked by delivery personnel (hours/week) , output criteria (per week) unit, total number of carry-out orders (number of orders/week), total number of delivery orders (number of orders/week), sales (dollars/week), Delivery On-time (percentage), Out to door time (percentage).

Hu, Chiu and Chu (2019) measured the efficiency of 10 resturants in Taiwan using output-oriented CCR and BCC models. Assets, number of employees and total salary are selected as inputs. Revenue was selected as output variable. Parte and Alberca (2019) used the data of 1071 Spanish bar companies, examined the effectiveness of Spanish bar companies with a dynamic multi-stage DEA. In the study, total assets, number of employees, labor costs and operational costs were used as inputs and total sales were used as outputs.

Chiang and Sheu (2020) proposed a new approach to measuring the level of sustainability from the perspective of a restaurant manager in the food service industry. They reached a conclusion by collecting data from forty-eight prescriptions and analyzing the data with DEA. Inputs used in the study were: food additives, processed food, meat, decoration of plates and dishes. Outputs were; local ingredients, in season ingredients, certified organic ingredients and vegetarian food.

As it can be seen from Table 1, most of the studies utilized conventional DEA models. The remaining studies used extended form of DEA such as multi-stage or super efficiency models to increase the discriminatory power of DEA. One study integrated DEA and MCDM method (AHP) to conduct efficiency analysis. Hence, there are limited DEA-based studies in the published literature to assess performance of restaurants.

Table 1.

Summary of DEA-based Restaurant Chains Studies

Authors	Methodology	Application Area
Tepe (2006)	Standard DEA	20 Burger King branches
Reynolds and Biel (2007)	Standard DEA	36 same-branded corporate units of a restaurant chain
Botti et al. (2009)	Standard DEA	16 Hotel chains in France
Chou and Fang (2013)	Standard DEA	20 Chinese-style fast food chains
Hu et al. (2019)	Standard DEA	10 resturants in Taiwan
Chiang and Sheu (2020)	Standard DEA	48 recipes were evaluated in terms of sustainability from the perspective of a restaurant manager
Giménez-García et al. (2007)	Three-stage DEA	54 branches of a restaurant chain
Reynolds and Thompson (2007)	Three-stage DEA	62-unit restaurant chains
Parte and Alberca (2019)	Dynamic Multi-Stage DEA	1071 Spanish bar companies
Reynolds and Taylor (2011)	DEA and SEM	Three units of a small full-service restaurant chain
Gharakhani et at. (2012)	DEA and Super Efficiency	15 restaurants in Iran
Duman et al. (2017)	Fuzzy AHP and DEA	20 franchise retail stores of a leading pizza restaurant chain stores

2.2. Dimension Reduction with PCA to enhance the Discriminatory Power of DEA

Principal Component Analysis (PCA) is widely conducted for the prior reduction of the variables for DEA.

Roh and Choi (2010) examined the efficiency of 121 restaurants using DEA and factor analysis. The inputs and outputs used in the study are as follows; sales, net income, total size, revenue generating space, total employees, overhead expenses.

Bal and Özsoy (2016) used DEA to measure the economic performance of 28 cities in China. In addition, the data set was selected by PCA. Employees, working capital and investments were selected as inputs. Gross industrial output value, profit and taxes, and retail sales were chosen as outputs.

Andrejić, Bojović and Kilibarda (2013) investigated the efficiency of seven distribution centers of a trading company operating in Serbia via integrating PCA and DEA. The inputs included in the study vehicles, forklifts, employees in warehouse, employees in transport, warehouse area, pallet places, energy fuel, electricity consumption, other energy costs (water, gas), utility costs, operational invoices (demands), warehouse overtime, driver's overtime, vehicle maintenance, driver's overtime/driver. Outputs were shipped pallets, distance, deliveries, order picking transactions, tour/driver, delivery/driver, tons/driver, pallets/driver, distance/driver, order picking trans./order picker, Turnover, utilisation time truck utilization, space truck utilization, warehouse space utilisation, quality failures in warehouse, failures in transport, write off expired goods, total failures.

Põldaru and Roots (2014) conducted a PCA-DEA study to evaluate the quality of life in 15 counties of Estonia. The inputs included population density, number of employed per 1000 citizen, number of people with university degree per 1000 citizen, quality of land, milk yield per cow. Outputs were gross domestic product (GDP) per capita, Life expectancy at birth, number of pupils per 1000 citizens.

Stoica, Mehdian and Sargu (2015) examined the relationship between internet services and bank efficiency for 15 resident banks in Romania with DEA and PCA. The input variables were the

deposits, total operating costs, number of employees, value of equipments. The outputs used were net total revenues and daily "reach" average rate.

Andrejić, Bojović and Kilibarda (2016) conducted an integrated analysis with DEA and PCA to measure the efficiency of Serbian distribution centers and to identify the main factors affecting the transport efficiency. While the inputs used in the study are fuel consumption, the outputs used are number of delivers, distance driven and shipped pallets.

Jothimani et al. (2017) conducted a review with PCA and DEA to evaluate and select profitable stocks traded on the National Stock Exchange (NSE) for portfolio optimization. While the inputs used in the study were liquidity ratios, leverage ratios, asset utilization, the outputs were profitability ratio, growth ratio and valuation ratio.

Gnewuch and Wohlrabe (2018) employed PCA on standardized data to extract the main components to be used as inputs and outputs of the DEA model to evaluate 188 economics departments around the world. (Wu, Ke, Xu, Xiao and Hu, 2018) evaluated eco-efficiency coal-fired power plant using superefficiency DEA and PCA.

Nasser (2019) analyzed the efficiency of Hospitals in Lebanon with PCA-DEA method. The input variables were the number of hospitals, number of beds available, number of staff nurses, the population. Outputs were number of Ministry of Public Health (MOPH) subsidized admissions, number of MOPH subsidized in-patients, total caesarian sections conducted, number of MOPH subsidized hospitalized for cardiovascular cases, total cases benefiting from the Drug Dispensing Center.

Peixoto, Musetti and Mendonça (2020) aimed to measure the performance of Federal University Hospitals - Brazilian HUFs participating in the Restructuring National Program of Federal University Hospitals supported by PCA for the selection of inputs and outputs. While the inputs used in the study were SIR (Supervision of internship and residency), DH (Days of hospitalization), SPMH (Specific projects - Ministry of Health), TE (Type of equipment), the output was MR (Medicine residency).

Aydin, Karadayı and Ülengin (2021) assessed the performance of 45 airline companies via combining the balanced scorecard (BSC) approach and the network-based super-efficient data envelopment analysis (DEA). PCA was employed to increase the discrimination power of the DEA and to handle multidimensional data.

As can be seen from the literature review, even if there are performance evaluation studies such as Uslu Cibere, Başaran and Kantarcı (2020) and Singh, Torres and Robertson-Ring (2016) in the tourism industry, the performance evaluation of restaurant chains based on DEA is scarce. Moreover, PCA is widely employed for the selection of the input/output variables for DEA. One of the contributions of this study is to fill this gap combining PCA and DEA for assessing the performance of restaurant chains.

This paper proposes a new methodology that consists of two main stages; first stage uses the PCA to reduce the inputs and outputs number; second stage utilizes the categorical-DEA using the variables, which are formed by first stage, for performance evaluation. The proposed methodology not only improve the discrimination power of but also enable researcher to ensure having sufficient data set for DEA. Since DEA has a restriction that “the number of units to be at least $2m \times s$, where m is the product of the number of inputs and number of outputs” this approach is a useful tool for researchers (Liu, Yang, Lu and Chauang, 2009). This study complied with research and publication ethics. Figure 1 summarizes the process of the proposed approach for performance assessment of restaurants:

3. Proposed Methodology

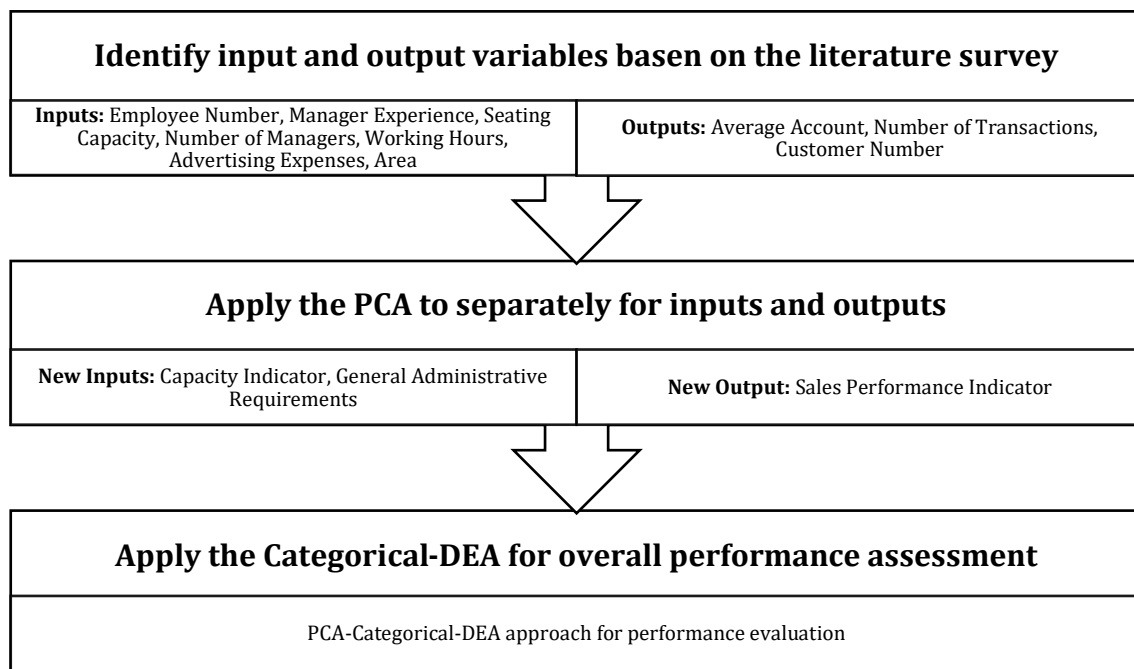


Figure 1. Proposed Methodology

3.1. Categorical DEA

DEA, which is based on LP's principles, calculates the relative efficiency of multiple DMUs, which have same targets and purposes, in a multiple input-output environment. This method enable researchers to calculate efficiencies of DMU's using desired number of inputs and outputs variable only if there are sufficient number of DMU's compared to number of inputs and outputs in the data set, and this leads decision makers to chose more this method comparing to other performance evaluation approaches. Basically DEA makes comparison among DMUs evaluating the proportions of the outputs and inputs and chooses the best ones as efficient according to the amount of outputs/inputs. The CCR model, which is the basic DEA model, was first developed by Charnes, Cooper, Rhodes in 1978, and six years later, Banker, Charnes, Cooper (BCC) introduced BCC models that measure the efficiency of DMUs under the assumption of variable returns to scale. More detail about the most preferred basic DEA models can be found in the studies of Charnes, Cooper and Rhodes (1978) and Banker, Charnes and Cooper (1984).

Classic DEA assumes that DMUs are homogeneous and can control all of the variables. However, this assumption is not valid in all cases and on DMUs since there are some external variables such as location, weather conditions, unemployment rate, advertising etc. cannot be controled by the administrator of DMUs. In 1986, Banker and Morey drew attention to the exogenous variables in inputs and outputs and studied the first examples of this situation in their study on the fast-food restaurant chain (Banker and Morey, 1986a). In efficiency analysis with classical DEA, input and output variables of DMUs are assumed to be continuous; however, it is not always possible for the variables to be continuous and in some applications one can see that some uncontrollable variables are categorical. Based on the idea that uncontrollable variables can be categorical, Banker and Morey developed the categorical DEA method in 1986 (Banker and Morey, 1986b). This approach enable researchers to divide DMUs to sub-groups according to the categorical variables for forming more homogenous groups and it's became possible to consider these sub-groups in efficiency calculations.

This paper utilizes the CAT-I-C specification, which is based on the version of CCR-I that is input

oriented DEA approach, and the mathematical representation of dual form is shown below:

$$\begin{aligned}
 &Min \theta_k \\
 &\sum_{j \in \cup_{f=1}^{D_f} D_f}^n \lambda_j X_{ij} \\
 &\leq \theta_k X_{ik} \\
 &\sum_{j \in \cup_{f=1}^{D_f} D_f}^n \lambda_j Y_{rj} \\
 &\geq Y_{rk} \\
 &\lambda_j \geq 0 \text{ ve } j \in \cup_{f=1}^{D_f} D_f
 \end{aligned} \tag{1}$$

where

Y_{rk} :output r produced by the *kth* DMU.

X_{ik} :input i used by the *kth* DMU.

Y_{rj} : output r produced by the *jth* DMU.

X_{ij} : input i used by the *jth* DMU.

n : number of DMUs.

λ_j : weight of the *jth* DMU.

D_f : set of number of categories that belong to the *kth* DMU $f = \{1, 2, \dots, l\}$

L : number of the categories.

Since the input oriented DEA model is appropriate due to the fact that a manager of a restaurant can control the dealer's input level, this paper utilizes CAT-I-C specification.

3.2. The Integration of PCA and DEA

One can found different studies that evaluates performance of determined units using different types of methods such as SFA (Zou et al., 2016; Chen et al., 2017; Tsionas et al., 2017), MCDM methods (Barros and Wanke, 2015; Wanke et al., 2016; Pineda et al., 2018; Dinçer et al., 2017), regression (Bravo-Ureta et al., 2007) and traditional DEA (Saranga and Nagpal, 2016; Lee and Worthington, 2014; Lu et al., 2012; Mallikarjun, 2015; Rouse et al., 2002; Saranga and Nagpal, 2016; Sakthidharan and Sivaraman, 2018) in the literature; however, even if DEA is one of the most known nonparametric one, which is used for performance evaluation, this approach has some drawbacks. One of the most important weakness of

this method is the curse of dimensionality, which emerges when the data set includes larger number of inputs and outputs and this drawback causes the DEA fails to discriminate efficient DMUs from inefficient DMUs (Jothimani et al., 2017). The integration of PCA and Categorical-DEA forms an approach that is robust to large sample size (Yap, Ismail and Isa, 2013). In general, researchers utilize the dropping variables approach to deal with the curse of dimensionality; however, this approach causes the losing of the whole information that a unique variable has. PCA-Categorical-DEA approach creates new variables, which are the linear combination of the original variables, to use them as inputs and outputs; therefore, since this approach can shrink the data set with minimum loss of information for increasing discrimination power of DEA, one can say that this is a more powerful tool than traditional DEA for efficiency calculations.

PCA is a multivariate method that uses some rotations such as varimax to reduce variables to the uncorrelated components and these components generally explains 75-90 % variance of the original variables. Therefore, the new components, which have eigenvalues higher than 1 (in some cases 0.9) can substitute the original variables because of the fact that they can explain the huge amount of the variance of the original variables (Adler and Golany, 2001). One can find detail information about PCA in (Adler and Yazhensky, 2010).

Applying PCA as a pre-analysis to the data set to be used in the DEA phase helps to eliminate some of the weaknesses of the DEA approach. The first of these, as mentioned before, is the increase in discrimination power. In cases where there are variables that correlate with each other in the data set, if traditional DEA is applied without applying PCA, it has been observed that some DMUs can be found efficient even if they are actually inefficient (Jothimani et al., 2017). However, when PCA is applied as a pre-analysis, non-correlated components will be obtained and these components help to increase the discrimination power of the traditional DEA approach. In addition, with the reduction of the number of variables used, efficiency analysis can be performed on data sets with fewer DMUs.

First step of implementation of PCA-Categorical-DEA is running the PCA method to inputs and outputs separately. After implementation of PCA, one can achieve the new components which are

consist of regression factor scores; however, these components most probably include negative scores for some DMUs. Since DEA do not use the variables having negative values, a transformation such as adding the absolute values of the most negative values to all cells of the variables can be needed.

4. Application of the Proposed Performance Assessment Framework

The variables to be utilized as input and output are determined in the initial stage of the study as a result of a literature review and face-to-face interviews with managers. The correlations between the input variables and also among the output variables are evaluated as a product of the first stage, and PCA is applied separately in the second stage, with the data set consisting of 7 input variables, 3 output variables, and 15 DMUs. The efficiency scores of the restaurants are obtained at the end of the second stage by reducing 7 input variables to 2 factors and 3 output variables to a single factor, then applying categorical DEA to the new data set of 2 inputs and a single output. Furthermore, in the final step, hypothesis tests are performed in order to analyze the environmental factors provided at the restaurant management's request.

4.1. The Selection of the Input and Output Variables

To the best of our knowledge, there is no research on the specific input/output sets for efficiency analysis of restaurant chain. This study initially determine input and output variables benefiting from the literature review and Table 2 shows the selected variables for the study.

Table 2.

Inputs and Outputs of the PCA-Categorical DEA Model

	Variables	Definiton of Variable	References
Inputs	I1: Employee Number	Number of employees working in the dealer	(Rouyendegh and Erol 2010); (Reynolds and Thompson, 2007); (Roh and Choi, 2010); (Andrejić et al., 2013)
	I2: Manager Experience	Manager's years of experience	(Tepe, 2006); (Gharakhani et al., 2012)
	I3: Seating Capacity	Seating area on a chair basis for each customer in the dealer	(Tepe, 2006); (Reynolds and Thompson, 2007); (Roh and Choi, 2010)
	I4: Number of Managers	Number of managers working in the dealer	(Tepe, 2006)
	I5: Working Hours	Total working hours per week at the dealer	(Reynolds and Thompson, 2007); (Gharakhani et al., 2012)
	I6: Advertising Expenses	Annual advertising expenses spent for the dealer	(Yürüşen, 2011)
	I7: Area	Dealers's acreage (m2)	(Reynolds and Thompson, 2007); (Gharakhani et al., 2012)
Outputs	O1: Average Account	Average account spent per desk	(Reynolds and Thompson, 2007); (Roh and Choi, 2010)
	O2: Number of Transactions	Number of monthly receipts at the dealer	(Tepe, 2006)
	O3: Customer Number	Number of people arriving to the dealer	(Gharakhani et al., 2012)

Table 2 summarizes the variables in the data set, the studies in the literature from which these variables were obtained, and the definitions of the variables. The data set in the study was filled as a result of face-to-face interviews with the restaurant management and is the data of 2019 in order to avoid the effect of the pandemic.

The study conducts an application based on the data of 15 restaurant chain dealers. First and foremost, international dealers affiliated with the chain were omitted from the data set, with the understanding that the current currency rate, variances in input prices, and cultural differences in the areas where the restaurants are located might all have an impact on the research. It was decided to continue working with 15 dealers in Istanbul who have the biggest business volume and

who the restaurant chain management want to monitor their performance.

4.2. PCA-Categorical DEA Approach for Overall Performance Assessment

This study firstly implement PCA on the variables that form both input and output data set. The analysis shows that 7 variables can be reduced to 2 variables for the input set. Since the third component has 0.832 eigenvalue and also loading of variables to the components are practically satisfactory, regression factor scores are used to create new 2 variables as inputs for categorical-DEA implementation stage. Table 3 shows the PCA results for input variables:

Table 3.

PCA Results for Input Variables

Variables	Factor 1	Factor 2
Area (m ²)	0.936	0.119
Seating Capacity	0.921	0.207
Employee Number	0.866	-0.058
Number of Managaers	0.802	0.429
Manager Experience	0.556	0.087
Working Hours	0.174	0.888
Advertising Expenses	-0.077	-0.791
<i>Eigenvalues</i>	3.749	1.333
<i>% of Variance</i>	54.197	19.038

Table 3 shows that 2 components can explain the 73.23% of the total variance of 7 input variables and varimax rotation reveals that 5 variables of them can be associated with the capacity and named as capacity indicator. Additionally, since component 2 includes weekly working hours (0.888) and advertising expenses (-0.791) it can be said that this factor is a general administrative requirements indicator. In the PCA approach, the variables that are correlated with each other are reduced to components and the correlation coefficient can be positive or negative. Table 3 and Table 4 show that there is a negative correlation between some variables, and as a result, these negatively correlated variables with the obtained components are naturally expected to be negatively correlated.

The same approach is also conducted for output variables and 3 variables form 1 component as output. New component explains 81,42% of total variance of the 3 variables and can be called as sales performance indicator. Table 4 shows the factor loadings of the output variables on the new output component:

Table 4.

PCA Results for Output Variables

Variables	Factor 1
Number of Transactions	0.983
Average Account	-0.871
Customer Number	0.848
<i>Eigenvalues</i>	2.443
<i>% of Variance</i>	81.422

The integration of PCA and DEA enable researchers to decrease their data set to the more compact and the most important contribution of this approach is discrimination power to discriminate efficient and inefficient DMU's when it is compared to the traditional DEA (Jothimani et al., 2017; Wu and Li, 2017). Additionally, (Liu et al., 2009) highlights that number of the DMUs should be greater than two times of product of the number of inputs and outputs. PCA-DEA approach is also appropriate for such situation since it shrinks the data sets. The first stage enabled us to create new 2 components as inputs and 1 component as output using regression factor scores which come from PCA stage. The most minimum values were added to the all components and this transformation make all values of the components greater than zero. Table

5 shows the results of the categorical-DEA model after reduction:

Table 5.

Results of Reduced Categorical-DEA Model

DMU No	DMU	Score	Rank	Category
1	Steakhouse-1	7.23E-05	12	3
2	Steakhouse-2	6.98E-05	13	3
3	Steakhouse-3	1	1	3
4	Steakhouse-4	6.93E-05	14	3
5	Steakhouse-5	4.73E-05	15	3
6	Kebab-1	0.646	9	2
7	Kebab-2	0.961	5	2
8	Kebab-3	1	1	2
9	Kebab-4	0.703	7	2
10	Kebab-5	0.895	6	2
11	Meatball-Doner-1	0.693	8	1
12	Meatball-Doner-2	1	1	1
13	Meatball-Doner-3	0.991	4	1
14	Meatball-Doner-4	0.234	10	1
15	Meatball-Doner-5	7.72E-05	11	1

Table 5 reveal that Steakhouse-3, Kebab-3 and Meatball-Doner-2 are the DMUs that can achieve 1

efficiency score as efficient units and this means that each category has only 1 efficient DMU.

Table 6.

Hypothesis Tests

Research Hypotheses	Asymp.Sig. (2 tailed)	Statistical Decision
H1: There is a difference between dealers with few competitors in the environment and dealers with many competitors in the environment in terms of restaurant dealer efficiency.	0.611	Do not reject H0
H2: There is a difference between dealers with few years of service and dealers with many years of service for the restaurant in terms of restaurant dealer efficiency.	0.306	Do not reject H0
H3: There is a difference between the dealer having takeout service and the dealer not having takeout service in terms of restaurant dealer efficiency.	1.000	Do not reject H0

The results were obtained with the Mann Whitney U test, one of the non-parametric tests, using the SPSS-26 program to apply the hypothesis tests. Since the sample size is small, it was thought that the analysis with a non-parametric test would give more accurate results.

As seen in Table 6, two environmental factors (H1 and H2) and one variable (H3), which are thought to affect the efficiency in line with the company's request, were analyzed and the results were obtained. We read the values for each hypothesis from the Asymp Sig.(2-tailed) section in the table, it was checked whether this value is above 0.05. Number of competitors in the environment, number of years the restaurant has served and packet service Asymp Sig.(2-tailed) values are 0.611, 0.306, 1.000 respectively.

As a result, since all of these values are greater than 0.05, we decide to fail to reject H0. That is, we have observed that number of competitors in the environment, number of years the restaurant has served and packet service have no role in whether a dealer is effective or not.

5. Managerial Implication and Further Research Opportunities

In this study, 15 dealers of a restaurant chain operating in Istanbul were taken into consideration and 3 dealers were found to work effectively under the assumption of a fixed scale return. In the examination made for the 15 dealers of the restaurant, it is concluded that the branch in which it operates best is kebab. Although the study is limited to 15 dealers in terms of accessibility to the restaurant's data, the restaurant has more than 15 dealers, and a study can be done by considering all dealers in the future. With this study, in which all dealers are handled, event scores can be analyzed much more efficiently and better analysis can be made. By examining the activities of the overseas dealers of the restaurant in a different category, it can be possible to make an efficiency analysis on the basis of countries. Since DEA allows analysis on a yearly basis, the impact of the Covid-19 pandemic in restaurants can be examined with the 2020 data.

This study proposes an integrated framework combining PCA and categorical DEA approaches for evaluating performance of restaurants. Performance of 15 dealers of restaurant were

analyzed due to limited data availability. In addition, in the second stage of the study, whether the environmental variables that are requested to be examined by the restaurant management have an effect on the efficiency were questioned by hypothesis tests. The study has been handled with a small number of DMUs. In future studies, the number of DMUs and the number of environmental variables whose effects on current performance are desired to be tested by the management can be increased. Nevertheless, the obtained results can be discussed in the light of new applications of the proposed methodology. In conclusion, this performance evaluation framework could provide an accurate roadmap not only for restaurant studies but also for studies carried out in similar institutions and organizations.

Contribution of Researchers

Conceptualization = Ayşegül Pınarbaşı, Melis Almula Karadayı, Umut Aydın; Data curation; Ayşegül Pınarbaşı; Formal analysis = Ayşegül Pınarbaşı, Umut Aydın; Funding acquisition = None; Investigation = Ayşegül Pınarbaşı, Melis Almula Karadayı, Umut Aydın; Methodology = Melis Almula Karadayı, Umut Aydın; Project administration = Melis Almula Karadayı, Hakan Tozan; Resources = Ayşegül Pınarbaşı, Umut Aydın; Software = Melis Almula Karadayı, Umut Aydın; Supervision = Melis Almula Karadayı, Hakan Tozan; Validation = Melis Almula Karadayı, Umut Aydın; Visualization = Ayşegül Pınarbaşı, Umut Aydın; Roles/Writing- original draft = Ayşegül Pınarbaşı, Melis Almula Karadayı, Umut Aydın.

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to disclose.

References

- Adler, N., & Golany, B. (2001). Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. *European Journal of Operational Research*, 132(2), 260-273. Doi : [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00150-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00150-8)

- Adler, N., & Yazhemsy, E. (2010). Improving discrimination in data envelopment analysis: PCA-DEA or variable reduction. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 273-284. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.03.050>
- Andrejić, M., Bojović, N., & Kilibarda, M. (2013). Benchmarking distribution centres using Principal Component Analysis and Data Envelopment Analysis: A case study of Serbia. *Expert Systems with Applications*, 40(10), 3926-3933. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.085>
- Andrejić, M., Bojović, N., & Kilibarda, M. (2016). A framework for measuring transport efficiency in distribution centers. *Transport Policy*, 45, 99-106. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.09.013>
- Aydın U., Karadayı M.A., Ülengin F., Ülengin K.B. (2021). Enhanced Performance Assessment of Airlines with Integrated Balanced Scorecard, Network-Based Superefficiency DEA and PCA Methods. In: Topcu Y.I., Özyayın Ö., Kabak Ö., Önsel Ekici Ş. (eds) Multiple Criteria Decision Making. MCDM 2019. Contributions to Management Science. Springer, Cham. Doi : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-52406-7_9
- Bal, H., & Özsoy, V. S. (2016). Temel Bileşenler Analizi ile Vza Modellerinin Seçilmesi ve Birimlerin Sıralanması: Şehirlerin Ekonomik Performansı Üzerine Bir Uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, ICEBSS Special Issue*, 125-135. Doi : <https://dergipark.org.tr/en/pub/dpusbe/issue/31354/346545>
- Banker, R. D., & Morey, R. C. (1986a). Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs. *Operations Research*, 34(4), 513-521. Doi : <http://dx.doi.org/10.1287/opre.34.4.513>
- Banker, R. D., & Morey, R. C. (1986b). The use of categorical variables in data envelopment analysis. *Management Science*, 32(12), 1613-1627. Doi : <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.32.12.1613>
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092. Doi : <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Barros, C.P., & Wanke, P. (2015). An analysis of african airlines efficiency with two-stage TOPSIS and neural networks. *Journal of Air Transport Management*. 44-45, 90-102. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.03.002>
- Botti, L., Briec, W., & Cliquet, G. (2009). Plural forms versus franchise and company-owned systems: A DEA approach of hotel chain performance. *Omega*, 37(3), 566-578. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2007.12.002>
- Bravo-Ureta, B. E., Solís, D., López, V. H. M., Maripani, J. F., Thiam, A., & Rivas, T. (2007). Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 27(1), 57-72. Doi : <http://dx.doi.org/10.1007/s11123-006-0025-3>
- Brown, D.M., & Hoover, L.W. (1990). Productivity measurement in foodservice: Past accomplishments—a future alternative. *Journal of the American Dietetic Association*, 90(7), 973-978. Doi : [http://dx.doi.org/10.1016/S0002-8223\(21\)01673-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0002-8223(21)01673-4)
- Çalış, A., Özçelik, G., & Gencer, C. (2016). Türkiye'deki İmalat Sanayi Sektörlerinin Promethee Multimoora ve Smaa-2 Yöntemleriyle Sıralanması. *Endüstri Mühendisliği*, 27(2), 28-44.
- 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 : [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chen, Z., Wanke, P., Antunes, J.J.M., & Zhang, N. (2017). Chinese airline efficiency under CO2 emissions and flight delays: a stochastic network DEA model. *Energy Economics*, 68, 89-108. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2017.09.015>
- Chiang, C. I., & Sheu, R. S. (2020). How the sustainability of your recipes? *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22(48), 100244. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100244>
- Chou, S. F., & Fang, C. Y. (2013). Exploring surplus-based menu analysis in Chinese-style fast food restaurants. *International Journal of Hospitality Management*, 33, 263-272. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2012.08.010>

- Dinçer, H., Hacıoğlu, Ü., & Yüksel, S. (2017). Balanced scorecard based performance measurement of European airlines using a hybrid multicriteria decision making approach under the fuzzy environment. *Journal of Air Transport Management*, 63, 17-33. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.05.005>
- Duman, G. M., Tozanli, O., Kongar, E., & Gupta, S. M. (2017). A holistic approach for performance evaluation using quantitative and qualitative data: A food industry case study. *Expert Systems with Applications*, 81, 410-422. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.070>
- Gharakhani, D., Maghferati, A. P., & Jalalifar, S. (2012). Evaluation of the efficiency of restaurants using DEA method (The case of Iran). *Life Science Journal*, 9(4), 530-534. Doi : <http://dx.doi.org/10.7537/marslsj090412.79>
- Giménez-García, V. M., Martínez-Parra, J. L., & Buffa, F. P. (2007). Improving resource utilization in multi-unit networked organizations: The case of a Spanish restaurant chain. *Tourism Management*, 28(1), 262-270. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.tourman.2005.12.021>
- Gnewuch M., & Wohlrabe K. (2018). Super-efficiency of education institutions: an application to economics departments. *Education Economics*, 26(6), 610-623. Doi : <http://dx.doi.org/10.1080/09645292.2018.1471663>
- Grmanová, E., & Strunz, H. (2017). Efficiency of insurance companies: Application of DEA and Tobit analyses. *Journal of International Studies*, 10(3), 250- 263. Doi : <http://dx.doi.org/10.14254/2071-8330.2017/10-3/18>
- He, P., Sun, Y., Shen, H., Jian, J., & Yu, Z. (2019). Does environmental tax affect energy efficiency? An empirical study of energy efficiency in OECD countries based on DEA and Logit model. *Sustainability*, 11(14), 3792. Doi : <http://dx.doi.org/10.3390/su11143792>
- Hu, J. L., Chiu, C. N., & Chu, H. T. (2019). Managerial efficiency in the food and beverage industry in Taiwan. *Journal of Hospitality Financial Management*, 27(1), 5. Doi : <https://doi.org/10.7275/dcyb-xp52>
- Jothimani D., Shankar R., & Yadav, S.S. (2017). A PCA-DEA framework for stock selection in Indian stock market. *Journal of Modelling in Management*, 12(3), 386-403. Doi : <http://dx.doi.org/10.1108/JM2-09-2015-0073>
- Karadayi, M. A., Ekinçi, Y., Akkan, C., & Ülengin, F. (2017). İstanbul için acil servis birimlerinin etkinliğinin kategorik veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 12, 31-39.
- Lee, B. L., & Worthington, A. C. (2014). Technical efficiency of mainstream airlines and low-cost carriers: New evidence using bootstrap data envelopment analysis truncated regression. *Journal of Air Transport Management*, 38, 15-20. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2013.12.013>
- Liu, J.S., Yang, C., Lu, W.M. & Chuang, M.A. (2009). A Network-based approach for increasing discrimination in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 60 (11), 1502-1510. Doi : <http://dx.doi.org/10.1057/jors.2009.35>
- Lu W.M., Wang W.K., Hung S.W., & Lu E.T. (2012). The effects of corporate governance on airline performance: Production and marketing efficiency perspectives. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(2), 529-544. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2011.09.003>
- Mallikarjun, S. (2015). Efficiency of US airlines: a strategic operating model. *Journal of Air Transport Management*, 43:46-56 Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.12.004>
- McDonald, J. (2009). Using least squares and tobit in second stage DEA efficiency analyses. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 792-798. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2008.07.039>
- Nasser, A. (2019). Measuring the performance of hospitals in Lebanese qadas Using PCA- DEA model. *Computer and Information Science*, 12(1), 23-32. Doi : <http://dx.doi.org/10.5539/cis.v12n1p23>
- Özden, Ü. H. (2008). Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye' deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi. *Istanbul University Journal of the School of Business Administration*, 2, 167-185. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/iuisletme/issue/9243/115660>

- Parte, L., & Alberca, P. (2019). A multistage model to evaluate the efficiency the bar industry. *International Journal of Hospitality Management*, 77, 512-522. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.08.015>
- Peixoto, M. G. M., Musetti, M. A., & de Mendonça, M. C. A. (2020). Performance management in hospital organizations from the perspective of Principal Component Analysis and Data Envelopment Analysis: The case of Federal University Hospitals in Brazil. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106873. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2020.106873>
- Pineda, P.J.G., Liou, J.J.H., Hsu, C., & Chuang, Y. (2018). An Integrated MCDM Model for improving airline operational and financial performance. *Journal of Air Transport Management*, 68, 103-117. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.06.003>
- Põldaru, R., & Roots, J. (2014). A PCA-DEA approach to measure the quality of life in estonian counties. *Socio-Economic Planning Sciences*, 48(1), 65-73. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.seps.2013.10.001>
- Reynolds, D., & Biel, D. (2007). Incorporating satisfaction measures into a restaurant productivity index. *International Journal of Hospitality Management*, 26(2), 352-361. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhm.2006.01.003>
- Reynolds, D., & Taylor, J. (2011). Validating a DEA-based menu analysis model using structural equation modeling. *International Journal of Hospitality Management*, 30(3), 584-587. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhm.2010.11.001>
- Reynolds, D., & Thompson, G. M. (2007). Multiunit restaurant productivity assessment using three-phase data envelopment analysis. *International Journal of Hospitality Management*, 26(1), 20-32. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhm.2005.08.004>
- Roh, E. Y., & Choi, K. (2010). Efficiency comparison of multiple brands within the same franchise: Data envelopment analysis approach. *International Journal of Hospitality Management*, 29(1), 92-98. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhm.2009.06.004>
- Rouse, P., Putterill, M., & Ryan, D. (2002). Integrated performance measurement design: insights from an application in aircraft maintenance. *Management Accounting Research*, 13 (2), 229-248. Doi : <http://dx.doi.org/10.1006/mare.2002.0180>
- Rouyendegh, B. D., & Erol, S. (2010). The DEA-FUZZY ANP department ranking model applied in Iran Amirkabir University. *Acta Polytechnica Hungarica*, 7(4), 103-114.
- Sakthidharan, V., & Sivaraman, S. (2018). Impact of operating cost components on airline efficiency in India: A DEA Approach. *Asia Pacific Management Review*, 23(4), 258-267. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2017.12.001>
- Saranga H, & Nagpal, R. (2016). Drivers of operational efficiency and its impact on market performance in the Indian Airline industry. *Journal of Air Transport Management*, 53, 165-176. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.03.001>
- Singh, D., Torres, E. N., & Robertson-Ring, A. (2016). Playing for first place: An analysis of online reviews and their impact on local market rankings. *Advances in Hospitality and Tourism Research*, 4(1), 32-51. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ahtr/issue/32312/359076>
- Stoica, O., Mehdian, S., & Sargu, A. (2015). The Impact of Internet Banking on the Performance of Romanian Banks: DEA and PCA Approach. *Procedia Economics and Finance*, 20(15), 610-622. Doi : [http://dx.doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00115-X](http://dx.doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00115-X)
- Tepe, M. (2006). Kıyaslama çalışmasında veri zarflama analizi kullanımı. Doctoral dissertation, Istanbul Technical University, Istanbul. Retrieved from <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/5823>
- Tsionas, M.G., Chen, Z., & Wanke, P. (2017). A structural vector autoregressive model of technical efficiency and delays with an application to Chinese airlines. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 101, 1-10. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.003>
- Uslu Cibere, G., Başaran, M. A., & Kantarcı, K. (2020). Evaluation of Hotel Performance Attributes Through Consumer Generated Reviews: The Case of Bratislava. *Advances in Hospitality and Tourism Research*, 8(1), 48-75. Doi : <https://doi.org/10.30519/ahtr.592312>
- Wanke, P., Azad, M. A. K., Barros, C. P., & Hassan, M. K. (2016). Predicting efficiency in Islamic

- banks: An integrated multicriteria decision making (MCDM) approach. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 45, 126-141. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.intfin.2016.07.004>
- Wu, H., Li, Y. (2017). The Impacts of Female Executives on Firm Performances: Based on Principle Component Analysis (PCA) and Data Envelopment Analysis (DEA). In Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management, 223-235. Springer, Singapore. Doi : http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-1837-4_20
- Wu, Y., Ke, Y., Xu, C., Xiao, X., & Hu, Y. (2018). Eco-efficiency measurement of coal-fired power plants in China using super efficiency data envelopment analysis. *Sustainable Cities and Society*, 36, 157-168. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.011>
- Yap, G. L. C., Ismail, W. R., & Isa, Z. (2013). An alternative approach to reduce dimensionality in data envelopment analysis. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 12(1), 17. Doi : <http://dx.doi.org/10.22237/jmasm/1367381760>
- Yıldırım, E. (2010). Veri zarflama analizinde girdi ve çıktılarının belirlenmesindeki kararsızlık problemi için temel bileşenler analizine dayalı bir çözüm önerisi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 39(1), 141-153. <https://dergipark.org.tr/en/pub/iuisletme/issue/9249/115719>
- Yürüşen, S. (2011). Veri zarflama analizi ile bayi performansının hesaplanması: Otomotiv sektöründe bir uygulama. Master Dissertation, Istanbul Technical University, Istanbul. Retrieved from <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/1971>
- Zou, B., Kwan, I., Hansen, M., Rutherford, D., & Kafle, N. (2016). Airline fuel efficiency: assessment methodologies and applications in the US domestic airline industry. *Airline Efficiency*, 5, 317-353. Doi : <http://dx.doi.org/10.1108/S2212-160920160000005012>

TEDARİKÇİ SEÇİMİNDE YEŞİL KRİTERİN ÖNEMİNİN ARAŞTIRILMASI: TÜRK GIDA SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ

Mustafa DALAY¹, Kazım SARI^{2*}

¹Beykent Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5481-4902>

²Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-4487-4602>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Tedarikçi Seçimi, Yeşil Tedarik Zinciri, Bulanık DEMATEL</i>	<i>Tedarikçi seçimi, birçok farklı kriterin aynı anda dikkate alındığı ve bir tedarik zincirinin başarısı için oldukça önemli olan stratejik bir karardır. Günümüzde bireylerin çevre bilinci ve işletmelerin çevreye olan hassasiyetleri, sivil toplum kuruluşlarının konu ile ilgili faaliyetleri, medyanın etkisi ve çevreye ilişkin mevzuatın oluşturulması ile önemli ölçüde artmıştır. Bu durum farklı ülke ve sektörlerdeki işletmeler için fiyat, kalite, güvenilirlik gibi geleneksel kriterlerin yanında çevreyle ilgili yeşil kriterin de tedarikçi seçim sürecinde yerini almasını sağlamıştır. Ancak, yeşil kritere, tedarikçi seçim sürecinde ne ölçüde ağırlık verildiği, Türkiye gibi gelişmekte olan ülke işletmeleri için bir tartışma konusudur. Bu amaçla, bu çalışmada, Türk gıda sektöründeki işletmelerin hangi kriterlere göre tedarikçi seçimi yaptığı ve seçim sürecinde yeşil kritere ne düzeyde ağırlık verdiği araştırılmaktadır. Bu kapsamdaki araştırmamız, 50 tedarik zinciri yöneticisinin katılımıyla bulanık DEMATEL ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık DEMATEL, kriterlerin önem sırasının belirlenmesi ve birbirleriyle olan etki düzeylerini tespit etmekte kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) metotlarından biridir. Elde edilen sonuçlar, Türk gıda sektöründeki işletmelerin tedarikçi seçiminde, en çok fiyat, kalite, güven ve iş yapısına önem verdiğini, yeşil kritere ise düşük düzeyde önem verdiğini ortaya çıkarmıştır.</i>

EXPLORING THE IMPORTANCE OF GREEN CRITERIA IN SUPPLIER SELECTION: THE CASE OF THE TURKISH FOOD INDUSTRY

Keywords	Abstract
<i>Supplier Selection, Green Supply Chain, Fuzzy DEMATEL</i>	<i>Supplier selection is a strategic decision that considers many different criteria at the same time and is very important for the success of a supply chain. Today, the environmental awareness of individuals and the sensitivity of businesses to the environment have increased significantly with the activities of non-governmental organizations, the influence of the media and the creation of environmental legislation. This situation has ensured that besides traditional criteria such as price, quality, and reliability for businesses in different countries and sectors, green criteria related to the environment take their place in the supplier selection process. However, the extent to which the green criterion is given weight in the supplier selection process is a matter of debate for businesses in developing countries such as Turkey. For this purpose, in this study, it is investigated according to which criteria the enterprises in the Turkish food sector choose their suppliers and to what extent they give importance to the green criterion in the selection process. Our research in this context was carried out with fuzzy DEMATEL with the contribution of 50 supply chain manager. Fuzzy DEMATEL is one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods used to determine the order of importance of the criteria and to determine the level of influence with each other. The results obtained revealed that the Turkish food sector companies give importance to price, quality, trust, and business structure the most, while they give low importance to the green criterion in supplier selection.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 01.08.2022

Submission Date : 01.08.2022

Kabul Tarihi : 22.11.2022

Accepted Date : 22.11.2022

*Sorumlu yazar; e-posta: kazims@beykent.edu.tr

1.Giriş

Günümüzde çevre sorunu bütün dünyada yoğun ve önemi artan bir şekilde gündeme gelmektedir. Aslında işletmeler başlangıçta, çevresel (yeşil) unsurları dikkate almayı ek bir maliyet olarak düşünmüşlerdir. Ancak artan kısıtlayıcı mevzuat, toplumun bilinçlenmesi ve beraberinde enerji ve kaynak tasarrufunu yakalayabilme fırsatı, işletmelerin yeşil unsurlara aktif bir biçimde yönelmesini sağlamıştır (Grisi, Guerra ve Naviglio, 2010). Mevcut durumda, işletmeler küresel pazarda ayakta kalmak için faaliyetlerinin çevreye olan etkilerini değerlendirmek durumundadır. Yeni yüzyılda sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için çevre, ekonomik ve sosyal performansların entegrasyonu önemli bir iş sorunudur (Lee, Kang, Hsu ve Hung, 2009). Bu iş sorununda başarı için yeşil kriterleri dikkate alarak tedarik zincirlerinin yeniden kurgulanması gereklidir. Tedarikçi seçimi, tedarik zincirlerinin kurgulanmasında önemli bir yeri olan ve aynı zamanda işletmesinin başarısını etkileyen kritik bir karar noktasıdır (Kuo, Hsu ve Li, 2015). Bazı araştırmacılar, tedarikçi seçimiyle ilgili konuları ele alırken yeşil kriterin bir etken olarak değerlendirmiştir (Kuo ve diğ. 2015; Genovese, Koh ve Bruno, 2013).

Ancak mevcut çalışmalardan yeşil kriterin görece önem derecesi ve tedarikçi seçiminde tam olarak nasıl bir rol aldığı belirlemek, Türkiye özelinde mümkün değildir. Türkiye’de çevreye duyarlılığının artmasına rağmen; çevre ile ilgili genel görüş, maliyeti arttıran bir unsur olduğu yönündedir. Ayrıca işletmelerin çevre konusu ilgili bilgilendirilme ve deneyim eksiklikleri vardır (Büyüközkan ve Vardaloğlu, 2008). Yeşil çevre bilincinin hızlı artmasına rağmen; bunun tüketime yansımaları aynı hızda olmamıştır. Bunun iki temel nedeni ise, yeşil ürün performansına olan şüpheli yaklaşımlar ve kullanılan hammaddelere olan güven düzeyidir (Çabuk, Nakıboğlu ve Keleş, 2008).

Endüstri 4.0 kapsamında Türkiye’de iş gücü, ekonomik büyüklük, teknoloji ve tedarik zinciri içerisindeki almış olduğu önem bakımından “Gıda ve İçecek” sektörü altı önemli pilot sektör arasında yer almaktadır. Yine bu sektör %18’lik oran ile toplam brüt üretimden ilk sırada pay almakta iken; gelişmiş ülkelerden Almanya’da ise %10’luk bir orana ve ikinci sıraya tekabül etmektedir (TÜSİAD, 2016). Bu nedenle çalışmamızda gıda sektörü seçilmiştir.

Bu çalışmanın iki önemli hedefi vardır. Bunlar;

- Türkiye’de faaliyet gösteren gıda işletmeleri için tedarikçi seçim kriterlerinin neler olduğunu, önem dereceleri ile ortaya koymak,
- Türk gıda işletmeleri tarafından tedarikçi seçiminde yeşil kriterin diğer kriterlere oranla ne derece önemsendiğini ortaya koymak.

Bu süreçte, Türk gıda sektöründen 50 tedarik zinciri yöneticisinin katılımıyla seçim kriterinin önem derecelerinin ortaya konmasında, büyük veriye ihtiyaç duymaması ve kriterler arasındaki ilişkilerin çıkarılmasında etkili bir yöntem olan DEMATEL tercih edilmiştir. DEMATEL içerisinde tedarikçi seçimindeki belirsizlikleri ve muğlaklıkları modellemek için bulanık mantık kullanılmıştır. Çünkü bulanık mantık ruhen insan düşüncesine ve doğal dile çok daha yakındır. Gerçek dünya problemlerinin çoğu belirsiz, yetersiz, kesin olmayan ve muğlak bilgiler içerir. Bulanık mantık, konusunda uzman ve yöneticilerin bilgi ve deneyimlerini, sezgisel ve anlaşılması kolay dilsel terimlerle bir dizi temel kurala çevirebilir (Tavana, Shaabani, Mohammadabadi and Varzгани, 2020). Ayrıca bulanık mantık, belirsiz ortamlarda diğer karar verme teknikleri ile geniş kapsamlı ve etkin olarak kullanılmaktadır (Resendea, Geraldesa and Lima Junior, 2021).

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölümde, yöntem başlığının altında bulanık DEMATEL ve hesaplama adımları verilmiştir. Dördüncü bölümde gıda sektöründe tedarikçi seçim kriterlerinin bulanık DEMATEL ile belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde çalışmanın sonuçları sunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Tedarikçi değerlendirmesi, literatürde geniş yer verilen önemli bir çalışma alanıdır. Literatürde bazı değerlendirme metotları yeşil tedarikçi performansını ölçse dahi; bu metotlar stratejik satın alma durumlarına göre geliştirilmemiştir (Dobos ve Vörösmarty, 2014). Günümüz iş çevresinde artan çevresel farkındalık ve sürdürülebilirlik nedeniyle, yeşil tedarikçi seçimi uygulamaları oldukça popüler hale gelmiştir. Yeşil tedarik zinciri yönetimi kullanımının temel amacı; tedarik zinciri ile ilgili aktivitelerden kaynaklı çevreye verilen zararın minimize edilmesidir (Sarı, 2017). Çalışmamızda tedarikçi seçimi için kullanılan DEMATEL çok farklı alanlardaki

çalışmalarda kullanılan bir metottur. Söyle ki bu metod, e-öğrenme değerlendirmesinde (Tzeng, Chiang ve Li, 2007), strateji veya politika analizlerinde (Huang, Shyu ve Tzeng, 2007); (Wei, Huang, Tzeng ve Wu, 2010), ölçüm değerlendirmesinde (Liou, Yen ve Tzeng, 2008), hastane hizmet kalitesini ölçümünde (Jiunn-I, Hsin-Hung ve Kuan-Kai, 2010), karar vermede (Michnik, 2013), sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde (Ren, Manzardo, Toniolo ve Scipioni, 2013); (Liang ve diğ. 2016) vb. alanlarda uygulanmıştır.

Tedarikçi seçiminde yeşil kriterlerin öneminin belirlenmesi ile ilgili olarak literatürde DEMATEL dışında başka metodlar da kullanılmıştır. Şöyle ki DEA (Veri Zarflama Analizi) kullanılan bir çalışmada tedarikçi seçimi yapılırken, geleneksel kriterlerin, sadece yeşil kriterler ile değil aynı zamanda süreç maliyetleriyle birlikte ele alınması gerektiğini gösteren bulgular elde edilmiştir (Dobos ve Vörösmarty, 2018). Öte yandan, AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği) ile yapılan başka bir çalışmada çevreyi koruma ve sürdürülebilir kalkınma ihtiyacının prensipte kabul edilse de geniş çapta benimsenmediğini göstermiştir (Freeman and Chen, 2015). TOPSIS ve ELECTRE (Gerçeği İfade Eden Eleme ve Seçim) kullanan diğer bir çalışma ise yeşil tedarikçi seçiminde etkili olan kriterleri ortaya çıkarmayı hedeflemiştir (Qu, Zhang, Qu and Xu, 2020).

Bu çalışma kapsamında, 1966 yılından 2020 yılına kadar olan zaman aralığında 200'ün üzerinde makale incelenmiş ve 14 seçim kriteri ortaya çıkarılmıştır. Bunlar; araştırma ve geliştirme (ARG), ekonomik durum (EKO), fiyat (FYT), güven (GVN), iş yapısı (İŞY), kalite (KLT), lojistik (LOJ), mühendislik ve teknik kabiliyet (MTK), satın alma koşulları (SAK), servis ve hizmet (SRV), teslimat (TSL), üretim (iş gücü, sistem, kapasite, esneklik) (ÜRT), yönetim sistemi ve taahhüdü (YÖN), çevre politikaları (ÇEV)'dir. Bu kriterler ve ilgili literatür bilgisi Tablo 1'de sunulmuştur.

ARG, tedarikçinin araştırma ve geliştirme yeteneğini, yönetimini ve dizayn taleplerine olan esnekliğini; ECO, tedarikçinin büyük projelerde yer almasını, finansal performans, finansal istikrar ve karlılığını; FYT, satın alınacak ürünün fiyatı ve maliyetini, indirim miktarını ve ödeme koşullarını; GVN, tedarikçi işletmenin sektördeki ün ve

pozisyonunun iyi olmasını, yapılan anlaşmaya sadık olmasını, devlet mevzuatına uyumluluğunu; İŞY, tedarikçi işletmenin iş süreçleri ve kayıtlarını, pazar bilgisini, iş öyküsünü ve bilgi sistemlerini; KLT, ürünün kalitesini, ürünün ambalajlama kalitesini, iade oranlarını, ürün özelliklerini; LOJ, nakliye maliyetlerini, teslimat kalitesini, ulaşım zamanını ve tedarikçinin depolama kaynaklarını; MTK, tedarikçinin benzer (muadil) ürün deneyimini, mühendislik ve teknik destek kaynaklarını, teknik bilgisini ve teknolojisini; SAK, ekonomik sipariş miktarını, endüstriyel satın almaya uygunluk ve satın alma yönetimini; SRV, tedarikçinin ürünle ilgili eğitim desteklerini, servis ve hizmet seviyesini, satış sonrası destek ve satış ekibinin profesyonelliğini; TSL, tedarikçi yerleşim yerinin uygunluğunu, dağıtım kapasitesini, zamanında teslimat ve ürün teslim süresini; ÜRT, tedarikçinin iş gücünü, üretim sistemini, kapasitesini, esneklik kabiliyetini, tedarik zinciri yönetimini ve makine çalışma şartlarını; YÖN, tedarikçi işletmenin yönetim ve organizasyonunu, sahip olduğu belge ve kayıtları (ISO, denetim vb.), tedarikçi yönetiminin taahhüdünü, kurum kültürü ve stratejisini; ÇEV, satın alınan ürünlerin geri dönüştürülebilir olmasını, yeniden kullanımı, kirlilik kontrolünü, çevresel dizayn, çevre dostu malzeme ve teknoloji kullanımı ile tedarikçinin yeşil imajını ifade etmektedir.

Tablo 1

Literatür Taramasında Elde Edilen Tedarikçi Seçim Kriterleri Tablosu

No	Makale	Çalışmanın Özelliği	ARG	ÇEV	EKO	FYT	GVN	İŞY	KLİT	LOJ	MTK	SAK	SRV	TSL	ÜRT	YÖN
1	Dickson (1966)	Satıcı seçim sistemleri ve kararlarının analizi			X	X	X	X	X				X	X	X	X
2	Anthony ve Buffa (1977)	Stratejik satın alma planlaması								X						
3	Monczka, Giunipero ve Reck (1981)	Tedarikçi bilgilerinin önemi													X	
4	Browning, Zabriskie ve Huellmantel (1983)	Stratejik satın alma planlaması									X					
5	Soukup (1987)	Tedarikçi seçim stratejileri			X											
6	Ansari ve Modarres (1988)	Tam zamanında satın alma		X												
7	Newman (1988)	Kaliteyi sağlamada satın almanın rolü							X							
8	Ronen ve Trietsch (1988)	Satın alma karar destek sistemi			X											
9	Wagner, Ettenson ve Parrish (1989)	Perakende satıcıları arasında tedarikçi seçimi				X	X		X				X	X		
10	Bernard (1989)	Tedarikçi performansının yönetilmesi														X
11	Benton ve Krajewski (1990)	Satıcı performansı				X									X	
12	Hwang, Moon ve Shinn (1990)	Satın alma koşulları ve ekonomik sipariş miktarı										X				
13	Weber, Current ve Benton (1991)	Tedarikçi seçim kriterleri ve metodları				X										
14	Kaynak ve Aytekin (2005)	Tedarikçi performans kriterleri													X	
15	Haq ve Kannan (2006)	Analitik hiyerarşi süreciyle satıcının değerlendirilmesi			X	X		X	X	X	X		X	X	X	
16	Kannan, Rajendran, Sarkis ve Murugesan (2013)	Yeşil tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
17	Senvar, Kahraman ve Oztaysi (2014)	Tedarikçi seçimi ve performans ölçümü	X		X		X		X	X		X	X	X	X	
18	Kuo, Hsu ve Li (2015)	Yeşil tedarikçi seçim modeli geliştirme		X												X
19	Banaeian, Mobli, Nielsen ve Omid (2015)	Gıda sektöründe yeşil tedarikçi seçim modeli geliştirme		X												
20	Kamili, Nurcahyo ve Farizal (2020)	Bakım ve onarımın yeşil tedarik zincirine ve çevreye etkisi		X												
21	Wang, Tsai, Nguyen, Nguyen ve Huang (2020)	Gıda sektöründe yeşil tedarikçi seçimi		X												

3. Yöntem

Bu bölümde araştırmada kullanılan bulanık DEMATEL açıklanmıştır. Çalışma için araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Beykent Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler için Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'nun 03.01.2020 tarihli kararı ile araştırmanın etik ve bilimsel açıdan uygunluğu onaylanmıştır. Çalışma kapsamında yasal/özel izin gereksinimi olmamıştır.

3.1. Bulanık DEMATEL

Literatürde yer bulan ÇKKV metot sayısı oldukça fazla olup, bunlar içerisinde hangi metodun ne zaman kullanılması gerektiği ile ilgili kesin bir yol haritası yoktur. Bu noktada önemli olan unsur, tercih edilen çözüm metodunun problemin amacı ile uyumlu olmasıdır (Karaatlı, Ömürbek, Işık ve Yılmaz, 2016). Tedarikçi seçim problemi, sıralama ve tercih amaçlı olup DEMATEL ile tedarikçinin performansını iyileştirmek ve daha sağlıklı seçim yapabilmek için anahtar faktör kriterlerini ortaya çıkarabilmek mümkündür. Bu çalışmada DEMATEL kullanılarak, kriterler arasında doğrudan ve dolaylı etki elde edilmekte ve seçim faktörleri arasındaki nedensel ilişki ve gücü hesaplanmaktadır. DEMATEL, büyük miktarda veriye ihtiyaç duymaması nedeniyle diğer ÇKKV metotlarına göre daha çok tercih edilmektedir (Chang, Chang ve Wu, 2011). DEMATEL, karmaşık kriterler arasındaki etki ilişkisini incelemek, yapısal bir model oluşturmak ve analiz etmek için geliştirilmiş bir yöntemdir (Wu ve Lee 2007). Kullanılan notasyonlar aşağıda verilmiştir:

İndisler

i, j : Kriter numarası

n : Anket yapılan kişi sayısı

h : Anket yapılan toplam kişi sayısı

Parametreler

A_{ij} : Her kriterin üçgen bulanık üyelik derecesi

$l_{ij}^n; m_{ij}^n; r_{ij}^n$: Üçgen bulanık sayılar

$xr_{ij}^n, xm_{ij}^n, xl_{ij}^n$: Normalize edilmiş üçgen bulanık sayılar (sağ, orta, sol)

Δ_{min}^{max} : En büyük bulanık değer ile en küçük bulanık değer farkı

xrs_{ij}^n : Normalleştirilmiş değer (sağ)

xls_{ij}^n : Normalleştirilmiş değer (sol)

504

x_{ij}^n : Toplam normalleştirilmiş değer

Z_{ij}^n : Kesin (net) değer

F : Başlangıç direk ilişki matrisi

T : Direk ilişki matrisi

K : Normalleştirme katsayısı

S : Normalleştirilmiş direk ilişki matrisi

I : Birim matris

X : Normalize matris

M : Toplam ilişki matrisi

D : Sütunların toplamı

R : Satırların toplamı

$D+R$: Grafiğin yatay eksen

$D-R$: Grafiğin düşey eksen

Çalışmada kullanılan bulanık DEMATEL, dokuz adımdan oluşmaktadır:

Adım 1. Direk İlişki Matrisi T oluşturulur. Bu matriste tüm kriterlerin birbirleri ile ilgili ikili değerlendirmeleri yer almaktadır.

Adım 2. Kriterlerin belirlenmesi ve bulanık ölçeğin oluşturulması:

Organ (2013)'de bahsedildiği üzere öncelikle kriterler belirlenir. Bu kriterlerin birbirleri ile etkileşimleri yani etkileyen ve etkilenen faktörlerin bulunabilmesi için uzmanlar tarafından, dilsel ifade olarak Etkisiz (EY), Düşük Etkili (DE), Orta Etkili (NE), Yüksek Etkili (YE), Çok Yüksek Etkili (ÇYE) olarak beş dilsel terimle değerlendirilir. Bu dilsel ifadelere karşılık gelen bulanık sayılar, Feng ve Ma (2020)'da öngörüldüğü şekilde üçgen bulanık sayılar ile ifade edilmiş ve Tablo 2'de gösterilmiştir:

Tablo 2

Bulanık Dilsel Ölçek

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayılar
Etkisiz (EY)	(0,00; 0,00; 0,25)
Düşük Etkili (DE)	(0,00; 0,25; 0,50)
Orta Etkili (OE)	(0,25; 0,50; 0,75)
Yüksek Etkili (YE)	(0,50; 0,75; 1,00)
Çok Yüksek Etkili (ÇYE)	(0,75; 1,00; 1,00)

Adım 3. Uzman görüşünü yansıtan üçgen bulanık sayılar, Net Puanlara Dönüştürme Yöntemi (NPDY) ile net sayılara dönüştürülür. NPDY, bulanık sayı aralığının bulanık maksimum ve minimum değerlerini belirlemeye dayanır. Üyelik işlevlerine göre, toplam puan, ağırlıklı ortalama olarak bulunabilir. Bununla birlikte, eğer iki bulanık sayı farklı şekillere ve aynı net değere sahip ise NPDY daha iyi netlik değeri elde eder (Opricovic ve Tzeng, 2003).

A_{ij} (l_{ij}^n ; m_{ij}^n ; r_{ij}^n), j kriteri ve bulanık anketleri n ($n = 1, 2, 3, \dots, h$) (n : anket yapılan kişi sayısı) etkileyen kriter i 'nin derecesi anlamına gelir. A her bir kriteri temsil etmekte olup, A_{ij} her kriterin üçgen bulanık üyelik derecesini göstermektedir. NPDY aşağıdaki gibi beş adımlı bir algoritma içerir (Chang, Chang ve Wu, 2011):

a. Normalleştirme

xr_{ij}^n , xm_{ij}^n ve xl_{ij}^n normalize edilmiş üçgen bulanık değerleri göstermekte olup, aşağıdaki formüllerle ifade edilir:

$$xr_{ij}^n = (r_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{\min}^{\max} \quad (1)$$

$$xm_{ij}^n = (m_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{\min}^{\max} \quad (2)$$

$$xl_{ij}^n = (l_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{\min}^{\max} \quad (3)$$

$$\Delta_{\min}^{\max} = \max xr_{ij}^n - \min l_{ij}^n \quad (4)$$

b. Sağ (r_s) ve sol (l_s) normalleştirilmiş değerleri hesaplanır:

$$xrs_{ij}^n = xr_{ij}^n / (1 + xr_{ij}^n - xm_{ij}^n) \quad (5)$$

$$xls_{ij}^n = xm_{ij}^n / (1 + xm_{ij}^n - xl_{ij}^n) \quad (6)$$

c. Toplam normalleştirilmiş net değerleri hesaplanır:

$$x_{ij}^n = [xrs_{ij}^n (1 - xls_{ij}^n) + xrs_{ij}^n \times xrs_{ij}^n] / [1 - xls_{ij}^n + xrs_{ij}^n] \quad (7)$$

d. Kesin (net) değerleri hesaplanır:

$$Z_{ij}^n = \min l_{ij}^n + x_{ij}^n \times \Delta_{\min}^{\max} \quad (8)$$

e. Net değerler entegre edilir:

$$Z_{ij} = 1 / h (Z_{ij}^1 + Z_{ij}^2 + \dots + Z_{ij}^h) \quad (9)$$

Adım 4. Ortalama değer elde edilir. Başlangıç Direk İlişki Matrislerinin (F) ortalama değerini, tüm İlk Direk İlişki Matrislerinin (T) toplam miktarının yanıt verenlerin sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir.

Adım 5. Normalize Edilmiş Direk İlişki Matrisi S oluşturulur.

$$K = 1 / (\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}) \quad (10)$$

$$S = K \times T \quad (11)$$

Adım 6. Toplam ilişki matrisi M hazırlanır. (I birim matris, X normalize matris)

$$M = X (I - X)^{-1} \quad (12)$$

Adım 7. Satırların ve sütunların toplamını elde edilir (D ve R).

Adım 8. Merkezi rol ve ilişki dereceleri hazırlanır.

Adım 9. Neden-sonuç ilişki diyagramı elde edilir. Aksakal ve Dağdeviren (2010)'da bahsedildiği üzere "Durulaştırma" yöntemi yardımıyla Neden-Sonuç ilişki diyagramı çizilerek analiz yapılır. Bu diyagramda yatay eksen ($D+R$) ve dikey eksen ($D-R$) olan iki eksenli koordinat düzleminde, incelenen tüm kriterlerin görsel analiz ve yorumları yapılır (Organ, 2013).

4. Türk Gıda Sektörü Üzerinde bir Uygulama

Literatür taraması sonucu elde edilen 14 tedarikçi seçim kriterinin birbiri ile olan ilişkilerinin analiz edilmesi ve görece ağırlıklarının belirlenmesi bulanık DEMATEL ile yapılmıştır. Bu süreçte, gıda sektöründe ve gıda sektörüne hizmet veren işletmelerde çalışan, konusunda uzman 50 tedarik zinciri yöneticisi ile yüz yüze ve çevrim içi görüşmeler yapılmıştır. Görüşmeye katılanların %72'si erkek, %28'i kadındır. Katılanların eğitim düzeyleri ise %4'ü lise, %4'ü ön lisans, %46'sı lisans, %40'ı yüksek lisans ve %6'sı doktora şeklindedir.

Bulanık DEMATEL için üç bölümden oluşan bir soru seti hazırlanmıştır. İlk bölüm demografik bilgilerden oluşmaktadır. İkinci bölümde kolay anlaşılması ve yanıtlanması için her bir kriterin tanımı ana hatlarıyla belirtilmiştir. Son bölümde, kriterlerin birbirini etkileme derecesi Tablo 2'deki dilsel ifadelerle göre çift yönlü bir karşılaştırma yapılmıştır.

Bulanık DEMATEL, Bölüm 3'de ifade edildiği şekilde adım adım uygulanmıştır:

Adım 1'de toplanan verilerden bir Direk İlişki Matrisi T oluşturulur. Tablo 3'de örnek olarak Uzman 1'den alınan verinin direk ilişki matrisi gösterilmiştir. Bu şekilde 50 uzmanın her biri için Direkt İlişki Matrisi T oluşturulur.

Tablo 3

Uzman 1 için Direk İlişki Matrisi T

Kriter	ARG	EKO	FYT	GVN	İŞY	KLT	LOJ	MTK	SAK	SRV	TSL	ÜRT	YÖN	ÇEV
ARG	EY	YE	YE	NE	NE	NE	DE	ÇYE	YE	DE	DE	YE	YE	YE
EKO	ÇYE	EY	ÇYE	YE	YE	ÇYE	YE	YE	ÇYE	DE	YE	YE	YE	YE
FYT	NE	ÇYE	EY	YE	YE	ÇYE	YE	YE	ÇYE	YE	YE	YE	YE	ÇYE
GVN	DE	YE	ÇYE	EY	ÇYE	ÇYE	ÇYE	ÇYE	YE	ÇYE	ÇYE	NE	ÇYE	ÇYE
İŞY	YE	YE	YE	ÇYE	EY	YE	NE	YE	NE	YE	NE	ÇYE	YE	NE
KLT	NE	ÇYE	ÇYE	ÇYE	ÇYE	EY	YE	YE	NE	YE	NE	YE	YE	ÇYE
LOJ	DE	NE	YE	YE	YE	ÇYE	EY	NE	NE	ÇYE	ÇYE	NE	YE	YE
MTK	ÇYE	NE	YE	ÇYE	ÇYE	YE	DE	EY	DE	NE	DE	NE	NE	YE
SAK	YE	ÇYE	ÇYE	NE	NE	NE	YE	YE	EY	YE	YE	YE	YE	YE
SRV	NE	ÇYE	ÇYE	ÇYE	YE	NE	ÇYE	NE	ÇYE	EY	ÇYE	ÇYE	ÇYE	YE
TSL	DE	YE	YE	ÇYE	NE	YE	ÇYE	DE	ÇYE	ÇYE	EY	YE	YE	NE
ÜRT	YE	YE	ÇYE	NE	ÇYE	NE	NE	YE	ÇYE	NE	YE	EY	YE	YE
YÖN	ÇYE	YE	YE	ÇYE	ÇYE	YE	NE	NE	ÇYE	ÇYE	YE	YE	EY	YE
ÇEV	ÇYE	NE	YE	ÇYE	YE	ÇYE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	YE	EY

Adım 3'de üçgen bulanık sayılar, Denklemler 1-9 kullanılarak net sayılara dönüştürülür.

Bu işlemde Uzman 1 tarafından yapılan değerlendirme dilsel karşılığını kullanarak, A1 (ARG) kriterinin A2 (EKO) kriteri ile ilgili normalleştirme ve kesinleştirme sürecini örneklendireceğiz. Bu karşılaştırma için; ÇYE değerlendirmesinin; bulanık dilsel ölçek $(l_{ij}^n, m_{ij}^n, r_{ij}^n)$ üçgen değerleri $(0,75, 1,00, 1,00)$ olarak bulunmuştur. Bu değer, seçilen uzmanın; A1 kriterinin A2 kriteri üzerinde çok yüksek bir etkiye sahip olduğuna inandığı anlamına gelir.

Normalize edilmiş üçgen bulanık değerler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Xr_{12^1} = \frac{1 - 0,75}{1} = 0,25$$

$$Xm_{12^1} = \frac{1 - 0,75}{1} = 0,25$$

$$Xl_{12^1} = \frac{0 - 0}{1} = 0$$

Sağ ve sol normalleştirilmiş değerler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Xrs_{12^1} = \frac{0,25}{[1 + 0,25 - 0,25]} = 0,25$$

$$Xls_{12^1} = \frac{0,25}{[1 + 0,25 - 0]} = 0,2$$

Toplam normalleştirilmiş net değerleri hesaplanır:

$$X_{12^1} = \frac{[0,2 \cdot (1 - 0,2) + (0,25 \times 0,25)]}{[1 - 0,2 + 0,25]} = 0,21$$

Kesin (net) değerleri hesaplanır:

$$z_{12^1} = 0 + 0,21(1) = 0,21$$

Benzer şekilde, diğer uzmanlar için de A1 ile A2 kriterleri için kesin değerlerin hesaplanması işlemi yapılır:

$z_{12^2} = 0,50, z_{12^3} = 0,27, z_{12^4} = 0,50, \dots$ şeklinde 50 uzman için bu hesaplama yapılır.

Tüm uzmanların kesin değerleri toplanarak; toplam uzman sayısına bölünür. Böylelikle kesin değerlerin birleştirme işlemi yapılmış olur.

$$z_{12} = \frac{(0,21 + 0,50 + 0,27 + 0,50 + \dots)}{50} = 0,25$$

Adım 4'de gösterildiği şekilde Başlangıç Direk İlişki Matrisi F oluşturulur. F matrisi Tablo 4 de gösterilmiştir.

Tablo 4
Başlangıç Direk İlişki Matrisi *F*

Kriter	ARG	EKO	FYT	GVN	İŞY	KLT	LOJ	MTK	SAK	SRV	TSL	ÜRT	YÖN	ÇEV	Toplam
ARG	0	0,28	0,35	0,32	0,34	0,32	0,24	0,27	0,29	0,26	0,24	0,28	0,28	0,29	3,76
EKO	0,25	0	0,35	0,32	0,33	0,32	0,26	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,3	0,28	3,82
FYT	0,26	0,27	0	0,33	0,33	0,32	0,26	0,28	0,28	0,29	0,27	0,29	0,3	0,27	3,75
GVN	0,24	0,27	0,36	0	0,33	0,32	0,27	0,27	0,29	0,28	0,26	0,29	0,29	0,25	3,72
İŞY	0,26	0,29	0,37	0,33	0	0,32	0,25	0,28	0,29	0,28	0,27	0,29	0,3	0,27	3,81
KLT	0,25	0,28	0,35	0,31	0,33	0	0,27	0,28	0,29	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	3,78
LOJ	0,23	0,29	0,36	0,33	0,33	0,33	0	0,27	0,29	0,27	0,25	0,29	0,3	0,28	3,82
MTK	0,25	0,28	0,36	0,32	0,32	0,31	0,25	0	0,3	0,28	0,27	0,28	0,3	0,28	3,81
SAK	0,25	0,26	0,35	0,33	0,34	0,32	0,27	0,27	0	0,28	0,27	0,29	0,3	0,28	3,81
SRV	0,26	0,28	0,36	0,32	0,33	0,32	0,26	0,28	0,29	0	0,27	0,29	0,3	0,27	3,82
TSL	0,21	0,28	0,37	0,32	0,33	0,33	0,24	0,28	0,29	0,28	0	0,29	0,29	0,27	3,79
ÜRT	0,25	0,28	0,36	0,32	0,33	0,32	0,26	0,28	0,28	0,29	0,28	0	0,3	0,27	3,80
YÖN	0,26	0,28	0,36	0,32	0,33	0,32	0,26	0,29	0,3	0,29	0,28	0,29	0	0,28	3,87
ÇEV	0,25	0,27	0,35	0,31	0,31	0,31	0,24	0,26	0,28	0,26	0,26	0,27	0,29	0	3,65
Toplam	3,22	3,62	4,64	4,20	4,25	4,16	3,34	3,60	3,74	3,61	3,47	3,73	3,83	3,58	
Maks.	4,64														

Adım 5'de Denklemler 10-11 kullanılarak Normalleştirilmiş Direk İlişki Matrisi *S* elde edilir ve sonrasında Adım 6'da Denklem 12 kullanılarak Toplam İlişki Matrisi *M*, Tablo 5'de görüldüğü şekliyle oluşturulur.

$$S_{12} = \frac{1 \times 0,25}{4,64} = 0,05$$

A_{12} kriterinin değeri Birim Matristen çıkarılır.

$$S_{12} = 0 - 0,05 = -0,05$$

Toplam İlişki Matrisi değeri Denklem 12'ye göre bulunur:

$$M_{12} = 0,28$$

Tüm ikili değerlendirmeler *M* Toplam İlişki Matrisine işlenir.

Tablo 5

Toplam İlişki Matrisi *M*

Kriter	ARG	EKO	FYT	GVN	İŞY	KLT	LOJ	MTK	SAK	SRV	TSL	ÜRT	YÖN	ÇEV	ΣD
ARG	0,22	0,30	0,38	0,35	0,36	0,35	0,28	0,30	0,31	0,30	0,29	0,31	0,32	0,30	4,37
EKO	0,28	0,25	0,39	0,35	0,36	0,35	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,32	0,32	0,30	4,43
FYT	0,27	0,30	0,31	0,35	0,35	0,35	0,28	0,30	0,31	0,30	0,29	0,31	0,32	0,30	4,36
GVN	0,27	0,30	0,38	0,28	0,35	0,34	0,28	0,30	0,31	0,30	0,29	0,31	0,32	0,29	4,33
İŞY	0,28	0,31	0,39	0,35	0,29	0,35	0,28	0,31	0,32	0,31	0,30	0,32	0,32	0,30	4,43
KLT	0,28	0,30	0,38	0,35	0,35	0,28	0,28	0,30	0,31	0,31	0,30	0,31	0,32	0,30	4,39
LOJ	0,27	0,31	0,39	0,35	0,36	0,35	0,23	0,30	0,32	0,31	0,29	0,32	0,33	0,30	4,43
MTK	0,28	0,31	0,39	0,35	0,36	0,35	0,28	0,25	0,32	0,31	0,30	0,32	0,32	0,30	4,43
SAK	0,28	0,30	0,39	0,35	0,36	0,35	0,29	0,30	0,26	0,31	0,30	0,32	0,33	0,30	4,42
SRV	0,28	0,31	0,39	0,35	0,36	0,35	0,29	0,31	0,32	0,25	0,30	0,32	0,32	0,30	4,44
TSL	0,27	0,31	0,39	0,35	0,36	0,35	0,28	0,30	0,32	0,31	0,24	0,32	0,32	0,30	4,40
ÜRT	0,28	0,31	0,39	0,35	0,36	0,35	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,26	0,32	0,30	4,42
YÖN	0,28	0,31	0,39	0,36	0,36	0,35	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,32	0,27	0,31	4,49
ÇEV	0,27	0,29	0,37	0,34	0,34	0,34	0,27	0,29	0,30	0,29	0,28	0,30	0,31	0,24	4,25
ΣR	3,79	4,21	5,32	4,85	4,90	4,81	3,91	4,20	4,35	4,21	4,06	4,35	4,45	4,17	

Adım 7'de ifade edildiği şekli ile D ve R değerleri (sıra ve sütun toplamları) hesaplanarak, Adım 8'de ifade edilen merkezi rol derecesi ve ilişki dereceleri, Tablo 6'da gösterildiği şekliyle hesaplanır.

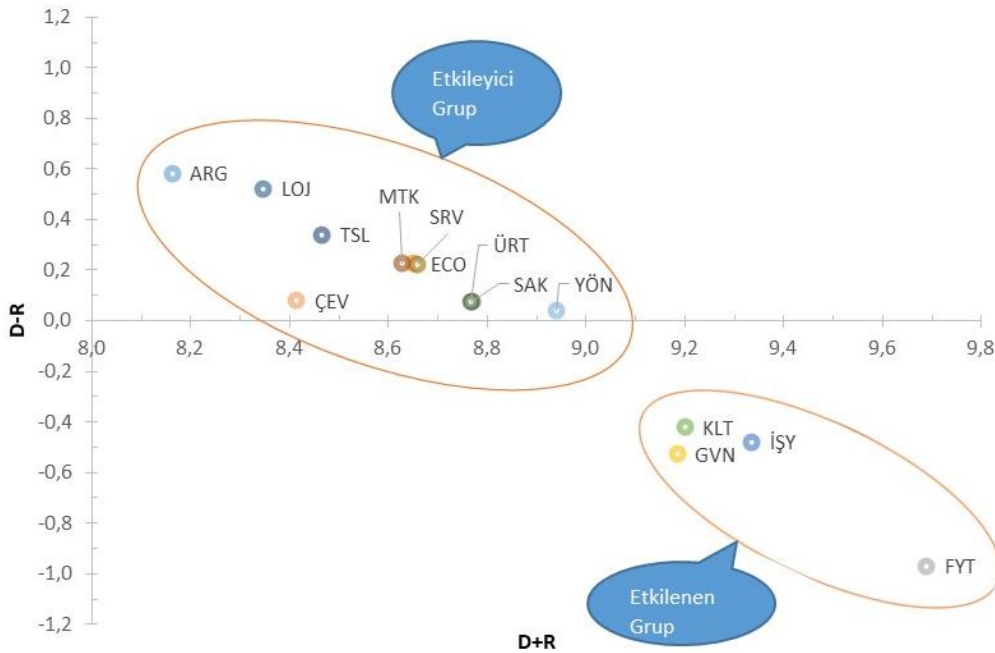
Tablo 6

Merkezi Rol Derece Tablosu

Kriter	R	D	D+R	D-R
ARG	3,790	4,373	8,163	0,583
EKO	4,212	4,438	8,65	0,226
FYT	5,329	4,360	9,689	-0,969
GVN	4,856	4,329	9,184	-0,527
İŞY	4,906	4,429	9,335	-0,478
KLT	4,810	4,390	9,20	-0,420
LOJ	3,912	4,434	8,345	0,522
MTK	4,201	4,428	8,628	0,227
SAK	4,347	4,422	8,769	0,076
SRV	4,218	4,440	8,658	0,221
TSL	4,062	4,403	8,465	0,341
ÜRT	4,346	4,422	8,767	0,076
YÖN	4,448	4,491	8,939	0,043
ÇEV	4,167	4,247	8,413	0,080

Adım 9'da ifade edildiği şekliyle nedensel diyagram hazırlanır. Nedensel diyagram, merkezi rol derecesine sahip yatay eksen ($D+R$) tarafından oluşturulur. İlişki derecesi olan dikey eksen ($D-R$)'dir.

Şekil 1'de görülen nedensel diyagram grafiğinde dikey eksendeki $D-R$ 'de pozitif değere sahip olan kriterler diğer kriterleri etkileyen konumda olup gönderici ya da etkileyici olarak adlandırılırlar. $D-R$ 'de negatif olanlar ise alıcı ya da etkilenen olarak adlandırılırlar. Bu bağlamda, $D-R$ 'de negatif olan FYT, İŞY, GVN ve KLT diğer kriterlerden önemli oranda etkilenen kriterlerdir. $D-R$ 'de pozitif olan ARG, LOJ, TSL gibi kriterler ise etkileyici konumdadırlar. Şöyle ki, etkileyici grupta olan kriterlerin performansı etkileyen grupta olan kriterlerin performansı üzerinde belirleyicidir.



Şekil 1. Nedensel Diyagram

Buna ilaveten, yatay eksenindeki $D+R$ değeri, bir kriterin tedarikçi seçim sürecindeki önem derecesini gösterir. Şöyle ki, $D+R$ değeri yüksek olan FYT, İŞY, GVN ve KLT kriterleri diğer kriterlerle oranla tedarikçi seçiminde daha fazla önemsenir. Ancak burada unutulmaması gereken nokta gönderici gruptaki kriterlerin alıcı gruptaki kriterlerin performansı üzerinde etkili olduğudur. Örneğin, ARG en düşük $D+R$ değeri (8,163) ile tedarikçi seçiminde en az önem verilen bir kriter olarak görülürken, öte yandan en yüksek pozitif $D-R$ değeri (0,583) ile diğer kriterleri en çok etkileyen bir kriterdir. Dolayısıyla görünürde ARG az önem verilen bir kriter iken arka planda ARG tedarikçi seçiminde önemli bir rol oynar diyebiliriz.

ÇEV özelinde Şekil 1 incelendiğinde, $D-R$ değeri (0,080) pozitif olduğundan diğer kriterleri etkileyen bir kriter olduğu görülmektedir. Ancak ÇEV etkileyici grup içerisinde $D-R$ değeri en düşük olan kriterlerden birisidir. Bu durum ÇEV'in etkisinin ARG ve LOJ gibi kriterlerle karşılaştırıldığında az olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, kriterlerin tedarikçi seçimindeki önem derecelerini gösteren yatay eksenindeki $D+R$ değerinin (8,413) göreceli düşük olması diğer kriterlere oranla, ÇEV'e daha az önem verildiğini göstermektedir. Bu durum, Türkiye'de gıda sektöründe faaliyet gösteren yöneticilerin satın alma kararlarında ÇEV kriterine belli bir oranda önem vermekle birlikte çok öne çıkan bir kriter olmadığını göstermektedir.

Mevcut literatürde de bu çalışmada elde edilen bulgulara paralel bulgular elde edildiği görülmektedir. Örneğin, Gürbüz ve Demirer (2006), Türkiye'de faaliyet gösteren işletmelerde globalleşmenin etkisi ile çevre kriteri ile ilgili bilinç artışı olduğunu belirtmekle birlikte, çevre kriterinin kaliteli ve düşük maliyetli üretim kriterleri ile aynı düzeyde dikkate alınmadığını, çevresel faktörlerin daha çok yasal zorunluluklar ile uygulanmaya çalışıldığını belirtmektedir. Benzer şekilde, Tundys (2016) da gelişmekte olan ülkelerde yeşil tedarik zinciri anlayışının gelişme kaydetmesine rağmen, tedarikçi seçiminde en önemli kriterin ekonomik boyutlarla ilişkili kriterlerin olduğunu belirtmiştir.

5. Sonuç

Bu çalışmanın amacı tedarikçi seçim kriterleri ve yeşil kriterlerin öneminin Türk gıda sektörü özelinde incelenmesidir. Bu amaca ulaşabilmek

için bulanık DEMATEL bazlı bir model geliştirerek, seçim kriterlerinin ortaya konması ve yeşil kriterin tedarikçi seçimine etkisinin ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Yaptığımız detaylı literatür taramamız, işletmeler tarafından 14 ana kriterin tedarikçi seçiminde dikkate alındığı göstermiştir. Bu kriterler, araştırma ve geliştirme (ARG), ekonomik durum (EKO), fiyat (FYT), güven (GVN), iş yapısı (İŞY), kalite (KLT), lojistik (LOJ), mühendislik ve teknik kabiliyet (MTK), satın alma koşulları (SAK), servis ve hizmet (SRV), teslimat (TSL), üretim (ÜRT), yönetim sistemi ve taahhüdü (YÖN), çevre politikaları (ÇEV)'dir. Türk gıda sektöründe çalışan 50 tedarik zinciri yöneticisi ile yapılan görüşmeler sonucunda tamamlanan çalışmada elde edilen sonuçlar, FYT, GVN, İŞY ve KLT kriterlerinin tedarikçi seçiminde en önemli kriterler olduğunu, ancak bu kriterlerin ARG, LOJ ve TSL gibi kriterlerden ciddi ölçüde etkilendiğini göstermiştir. ÇEV kriterinin ise nispeten düşük düzeyde bir önem derecesine sahip olduğu ancak diğer kriterleri az da olsa etkilediği görülmüştür.

Elde edilen bulgulara göre, yeşil kriterlere yeteri kadar önem vermeyen Türk gıda sektöründeki tedarik zinciri yöneticilerine önerilerimiz, yeşil tedarikçilerle çalışıyor olmanın yalnızca çevresel riski azaltmaya değil aynı zamanda üretim maliyetlerini de azaltan, karlılığı arttırabilen ve böylelikle rekabet gücü sağlayan bir unsur olduğunu vurgulamaktır.

Mevcut çalışma kapsamı, Türk gıda sektörü ile sınırlıdır. Gelecek çalışmalarda kapsam genişletilebilir ve diğer sektörlerdeki seçim kriterleri ve çevre kriterine verilen önem karşılaştırılabilir. Çalışmada kullanılan bulanık DEMATEL, ÇKKV metotlarından yalnızca birisi olup, TOPSIS, AHP vb. ÇKKV metotları da kullanılabilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Mustafa DALAY, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, araştırma probleminin planlanması, uygulanması ve çözümüne katkı sağlanması; Kazım SARI, araştırma probleminin tespiti, önemi ve problemin çözümü için kullanılan yöntemlerin belirlenmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve makalenin gözden

geçirilmesi ve yeniden düzenlenmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Kaynaklar

- Aksakal, E. ve Dağdeviren, M. (2010). Anp ve Dematel Yöntemleri ile Personel Seçimi Problemine Bütünleşik Bir Yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 905-913. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/75828>
- Ansari, A. and Batoul, M. (1988). JIT purchasing as a quality and productivity centre. *The International Journal of Production Research*, 26, 19-26. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207548808947838>
- Anthony, T.F. and Buffa, F.P. (1977). Strategic Purchase Scheduling. *The Journal of Purchasing and Materials Management*, Fall 1977, 27-31. Doi : <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1977.tb00400.x>
- Banaeian N., Mobli, H., Nielsen I.E. and Omid, M. (2015). A Methodology for Green Supplier Selection in Food Industries, *Technology Management for Sustainable Production and Logistics*, EcoProduction, 3-23. Doi:https://doi.org/10.1007/978-3-642-33935-6_1
- Benton, W.C. and Krajewski, L. (1990). Vendor Performance and Alternative Manufacturing Environments. *The Decision Sciences*, 21, 403-415. Doi:<https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1990.tb01693.x>
- Bernard, P. (1989), "Managing vendor performance", *The Production and Inventory Management Journal*, 1-7. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/managing-vendor-performance/docview/199911110/se-2>
- Browning, J.M., Zabriskie, N.B. and Huellmantel, A.B. (1983). Strategic Purchasing Planning. *The Journal of Purchasing and Materials Management*, Spring 1983, 19-24. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1983.tb00071.x>
- Büyüközkan G. ve Vardaroğlu Z. (2008). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi. *Lojistik Dergisi*, 1-15. Erişim adresi: <https://www.academia.edu/download/33516466/ytzy8.pdf>
- Chang, B., Chang, C.W. and Wu C.H. (2011). Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria, *Expert Systems with Applications* 38, 1850-1858. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.114>
- Çabuk, S., Nakıboğlu, B. ve Keleş, C. (2008). Tüketicilerin Yeşil (Ürün) Satın Alma Davranışlarının Sosyo-Demografik Değişkenler Açısından İncelenmesi. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(1), 85-102. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/cusosbil/issue/4378/60011>
- Dickson, W.G. (1966). An Analysis of Vendor Selection Systems And Decisions. *The Journal of Purchasing*, February, 5-17. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>
- Dobos and Vörösmarty (2014). Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators. *The Int. J. Production Economics*, Elsevier 157, 273-278. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.026>
- Dobos, I. and Vörösmarty, G. (2018). Inventory-related costs in green supplier selection problems with Data Envelopment Analysis (DEA). *International Journal of Production Economics*. 1-27. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.022>
- Feng, G.C. and Ma, R. (2020). Identification of the factors that influence service innovation in manufacturing enterprises by using the fuzzy DEMATEL method, *The Journal of Cleaner Production* 1-28. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120002>
- Freeman, J. and 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>
- Genovese, A., Lenny Koh, S.C. and Bruno, G. (2013). Esposito, E. Greener supplier selection: State of the art and some empirical evidence. *The International Journal of Production Research*, 51, 2868-2886. Doi:<https://doi.org/10.1080/00207543.2012.748224>
- Grisi, R.M., Guerra, L. and Naviglio, G. (2010). Supplier Performance Evaluation for Green Supply Chain Management. P. Taticchi (Ed.), *Business Performance Measurement and*

- Management*, 149-162. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-04800-5_10
- Gürbüz, E. ve Demirer, Ö. (2006). Ürünlerin Ekonomik Sosyal ve Çevresel Başarılarının Belirlenmesi: Türkiye Gıda Sektörü Araştırması. *D.E.Ü.İ.B.F. Dergisi*, 21(1), 102-103. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/deuibfd/issue/22751/242865>
- Haq, A.N. and Kannan, G. (2006). Fuzzy analytical hierarchy process for evaluating and selecting a vendor in a supply chain model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 826-835. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-005-2562-8>
- Hwang, H., Moon, D.H. and Shinn, S.W. (1990). An Eoq Model With Quantity Discounts For Both Purchasing Price And Freight Cost, *The Computers and Operations Research*, 73-78. Doi: [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(90\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0305-0548(90)90029-7)
- Huang, C.Y., Shyu, J.Z. and Tzeng, G.H. (2007). Reconfiguring the innovation policy portfolios for Taiwan's SIP Mall industry. *The Technovation*, 27, 744-765. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.04.002>
- Jiunn-I, S., Hsin-Hung, W. and Kuan-Kai, H. (2010). A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality. *Knowl. Based Syst.* 23, 277-282. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2010.01.013>
- Kamili, U.A., Nurcahyo, R. and Farizal (2020). *Supply Chain Effect to Environment of Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Industry*. 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications, 469-473. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICIEA49774.2020.9102079>
- Kannan, G., Rajendran, S., Sarkis, J. and Murugesan, P. (2013). Multi Criteria Decision Making approaches for Green supplier evaluation and selection: A literature review. *The Journal of Cleaner Production*, 1-52. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.046>
- Karaatlı, M., Ömürbek, N., Işık, E. ve Yılmaz, E. (2016). Performans Değerlemesinde DEMATEL ve Bulanık TOPSIS Uygulaması. *Ege Akademik Bakış*. 16(1), Sayfa:49-64. Doi: <https://doi.org/10.21121/eab.2016121904>
- Kaynak, R. ve Aytekin, M. (2005). *Makine Halı Sektöründe Satınalma Davranışına Etki Eden Tedarikçi Performans Kriterleri*. V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25-27.
- Kuo, T.C., Hsu, C.W. and Li, J.Y. (2015). Developing a Green Supplier Selection Model by Using the DANP with VIKOR, *The Sustainability*, 1661-1689. Doi: <https://doi.org/10.3390/su7021661>
- Lee, A.H.I., Kang, H.Y., Hsu, C.F. and Hung, H.C. (2009). A green supplier selection model for high-tech industry. *The Expert Systems with Applications*, 36, 7917-7927. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.052>
- Liang, H., Ren, J., Gao, Z., Gao, S., Luo, X. and Dong, L., Scipioni (2016). A. Identification of critical success factors for sustainable development of biofuel industry in China based on grey decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL). *J. Clean. Prod.* 131, 500-508. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.151>
- Liou, J.J.H., Yen, L. and Tzeng, G.H. (2008). Building an effective safety management system for airlines. *The Journal of Air Transport Manage.* 14, 20-26. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.10.002>
- Michnik, J. (2013). Weighted Influence Non-linear Gauge System (WINGS) –An analysis method for the systems of interrelated components. *The European Journal of Operational Research*, 3, 536-544. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.02.007>
- Monczka, R.M., Giunipero, L.C., C.P.M. and Reck, R.F. (1981). Perceived Importance of Supplier Information. *The Journal of Purchasing and Materials Management*, Spring 1981, 21-29. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1981.tb00629.x>
- Newman, R.G. (1988). Insuring Quality: Purchasing's Role. *The Journal of Purchasing and Materials Management*, Fall 1988, 14-21. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1988.tb00633.x>
- Opricovic, S. and Tzeng, G. (2003). Defuzzification Within a Multicriteria Decision Model, www.worldscientific.com, 11(5), 635-652. Erişim Tarihi: 22.03.2020. Doi: <https://doi.org/10.1142/S0218488503002387>

- Organ A. (2013). Bulanık Dematel Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi, *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 157-172. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/cusosbil/issue/4392/60412>
- Qu, G., Zhang, Z., Qu, W. and Xu, Z. (2020). Green Supplier Selection Based on Green Practices Evaluated Using Fuzzy Approaches of TOPSIS and ELECTRE with a Case Study in a Chinese Internet Company. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 1-32. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17093268>
- Ren, J., Manzardo, A., Toniolo, S. and Scipioni, A. (2013). Sustainability of hydrogen supply chain. Part I: identification of critical criteria and cause-effect analysis for enhancing the sustainability using DEMATEL. *The International Journal of Hydrogen Energy*, 38, 14159-14171. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.08.126>
- Resendea, C., Geraldesa, C. and Lima Junior, F.R. (2021). Decision Models for Suppliers Selection in Industry 4.0 Era: A Systematic Literature Review. *Procedia Manufacturing*, 55, 492-499. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.067>
- Ronen, B. and Trietsch, D. (1988). A Decision support system for purchasing management of large projects. *The Operations Research*, 36(6), 882-890. Doi : <https://doi.org/10.1287/opre.36.6.882>
- Sarı, K. (2017). A Novel Multi-Criteria Decision Framework For Evaluating Green Supply Chain Management Practices, *The Computer and Industrial Ingeneering*, 105, 338-347. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.016>
- Senvar, O., Tuzkaya G. ve Kahraman, C. (2014). Multi Criteria Supplier Selection Using Fuzzy PROMETHEE Method (Eds.) Kahraman, C. ve Oztaysi, B., *Supply Chain Management Under Fuzziness, The Recent Developments and Techniques*, Springer, Volume 313, ISBN 978-3-642-53939-8, (eBook), 24-25. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-53939-8_2
- Soukup, W.R. (1987). Supplier Selection Strategies. *The Journal of Purchasing and Materials Management*, Summer 1987, 7-12. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1987.tb00180.x>
- Tavana, M. and Shaabani, A., Mohammadabadi, S.M. and Varzgani, N. (2020). An integrated fuzzy AHP- fuzzy MULTIMOORA model for supply chain risk-benefit assessment and supplier selection. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. P:24. Doi: <https://doi.org/10.1080/23302674.2020.1737754>
- Tundys, B. (2016). *Sustainable supplier selection criteria in the context of developing of green supply chain*. 2016 5th IEEE Int. Conf. on Advanced Logistics & Transport (ICALT), 147-153. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/304658416_Sustainable_supplier_selection_criteria_in_the_context_of_developing_of_green_supply_chain
- TÜSİAD, 2016, Türkiye'nin Sanayi 4.0 Dönüşümü, Bölüm 3-4, 35-44. Erişim adresi: <https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/8671-turkiyenin-sanayi-40-donusumu>
- Tzeng, G.H., Chiang, C.H. and Li, C.W. (2007). Evaluating intertwined effects in e-learning programs: a novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. *The Expert Syst. Appl.* 32, 1028-1044. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.02.004>
- Wagner J., Ettenson R. and Parrish J. (1989). Vendor Selection Among Retail Buyers: An Analysis by Merchandise Division, *The Journal of Retailing*, 58-79. Erişim adresi: <https://psycnet.apa.org/record/1989-41562-001>
- Wang, C.N., Tsai, H.T., Nguyen, V.T., Nguyen, V.T. and Huang, Y.F. (2020). A Hybrid Fuzzy Analytic Hierarchy Process and the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Supplier Evaluation and Selection in the Food Processing Industry. *The Symmetry*, 12, 211, 1-12. Doi: <https://doi.org/10.3390/sym12020211>
- Weber, C.A., Current, J.R. and Benton, B.C. (1991). Vendor selection criteria and methods, *The European Journal of Operational Research*, 2-28. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90033-R](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90033-R)
- Wei, P.L., Huang, J.H., Tzeng, G.H. and Wu, S.I. (2010). Causal modeling of web-advertising effects by improving SEM based on DEMATEL technique. *The International Journal of*

Information Technology and Decision Making 9,
799–829. Doi:[https://doi.org/10.1142/
S0219622010004032](https://doi.org/10.1142/S0219622010004032)

Wu, W. W. and Lee, Y. T. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *The Expert systems with applications*, 32(2), 499-507. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.12.005>