



TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ ÇERÇEVESİNDE MÜŞTERİ MEMNUNİYETİNİ ETKİLEYEBİLECEK RİSK FAKTÖRLERİNİN DEMATEL YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ

Burcu POLAT¹, Selen AVCI AZKESKİN^{2*}, Zerrin ALADAĞ³

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, ORCID No : <http://orcid.org/0009-0004-9185-3582>

^{2*} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-7433-5696>

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5986-7210>

Anahtar Kelimeler

DEMATEL,
Gri DEMATEL,
Bulanık DEMATEL,
Tedarik zinciri
yönetimi,
Müşteri memnuniyeti
için risk faktörleri

Öz

Otomotiv sanayi, geniş tedarik ağına sahip ve birbiri içine geçmiş faaliyetleri içeren büyük bir sistemdir. Bu sistemde her paydaş üzerine düşen görev ve sorumlulukları zamanında ve eksiksiz olarak yerine getirmekle yükümlüdür. Böylece nihai müşteri memnuniyeti sağlanarak tüm paydaşlar için sürdürülebilir başarı elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, bir otomotiv yan sanayi firmasında tedarik zinciri performansını etkileyerek müşteri memnuniyetini etkileyebilecek risk faktörleri arasındaki neden-sonuç ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden DEMATEL (The Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) Gri DEMATEL ve Bulanık DEMATEL üç farklı eşik değeri ile kullanılmıştır. Böylece hem eşik değer analizi yapılmış hem de gri ve bulanık sayıların etkileyen / etkilenen faktör gruplarına ve faktör ağırlıklarına etkisi analiz

*Sorumlu yazar; e-posta : selen.avci@kocaeli.edu.tr

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1465791>

edilmiştir. DEMATEL, GRI DEMATEL ve Bulanık DEMATEL'e göre doğal afetler (R_4) etkileyen grupta yer almıştır. Arıza (R_1) ve küresel tehditler (R_3) ise DEMATEL ve Gri DEMATEL'e göre her eşik değeri için etkileyen gruptayken; Bulanık DEMATEL'de bir eşik değerinde etkilenen grupta yer almıştır. Kalite (R_2), -operatör eksikliği (R_5), altparça eksikliği (R_6) ve makine verimsizliği (R_7) tüm analizlerde etkilenen gruplarda yer almıştır. Her üç yöntemde de faktör ağırlığı bakımından ilk sırada R_7 ve son sırada R_1 yer almaktadır. Yöntemlere göre ilk üçte yer alan faktörler değişmemiş olup R_7 , R_2 ve R_6 olarak belirlenmiştir.

ANALYZING RISK FACTORS INFLUENCING CUSTOMER SATISFACTION IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT THROUGH DEMATEL METHODS

Keywords	Abstract
DEMATEL, Grey DEMATEL, Fuzzy DEMATEL, Supply chain management, Risk factors in customer satisfaction	<i>The automotive industry is a vast system with an extensive supply network and interconnected activities. Each stakeholder within this system is responsible for fulfilling their duties and obligations promptly and comprehensively. Consequently, by ensuring ultimate customer satisfaction, sustainable success can be achieved for all stakeholders. In this study, the causal relationship between risk factors that can impact supply chain performance and subsequently affect customer satisfaction in an automotive subcontracting company has been examined. Three different threshold values of Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Grey DEMATEL, and Fuzzy DEMATEL methods, which are Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques, have been utilized. Threshold value analysis has been conducted, and the impact of grey and fuzzy numbers on dispatcher/receiver factor groups and criterion weights has been analyzed. According to DEMATEL, Grey DEMATEL, and Fuzzy DEMATEL, R_4 - natural disasters belonged to the dispatcher group of factors. R_1 - breakdown and R_3 - global threats were categorized as dispatchers in both DEMATEL and Grey DEMATEL for each threshold value, while in Fuzzy DEMATEL, they were categorized as receivers in one threshold value. R_2 - quality, R_5 - operator shortage, R_6 - shortage of sub-components, and R_7 - machine inefficiency were consistently placed in the receiver</i>

groups across all analyses. In terms of factor weights, R7 ranked first and R1 last in all three methods. The top three factors remained consistent across the methods and were identified as R7, R2, and R6.

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 05.04.2024	Submission Date : 05.04.2024
Kabul Tarihi : 09.07.2024	Accepted Date : 09.07.2024

1. Giriş

Tedarik zinciri, bir ürünü üretmek için gerekli hammaddenin temin edilmesinden başlayarak, ürünün sırasıyla yarı mamul ve mamule dönüştürülerek nihai müşteriye teslim edilmesini amaçlayan süreçteki her bir üretici ve dağıtıcının oluşturduğu sistemin genel adıdır. Bu sistemin temel amacı, müşteri taleplerinin kaliteden ödün vermeden, eksiksiz ve zamanında karşılanarak müşteri memnuniyetinin en üst seviyede tutulmasıdır. Tedarik zincirinin herhangi bir üyesinde yaşanacak olumsuz durum, tüm sistemi etkilemekte, verimsizliklere, maliyet artışına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır.

Otomotiv sektörü, en gelişmiş tedarik zinciri ağına sahip sektörlerden biridir. Otomotiv sanayisinde; metal, cam, plastik, tekstil, elektrik-elektronik gibi sektörler bir arada ve bir düzen içinde çalışmaktadır. Sektör, yapısı gereği hem çeşitlilik hem de global iş birliği açısından oldukça zengindir. Bu zenginlik, yönetilmesi güç olan büyük belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle müşteri memnuniyetinin çok önemli ve öncelikli olduğu bu sektörde, müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyecek risklerin önem derecesinin bilinmesi ve bu riskler arasındaki ilişkinin tespit edilerek risklere yönelik önlemlerin alınması işletmelere farkındalık sağlayacaktır.

Karmaşık ve iç içe geçmiş sorunları çözmek için çok sayıda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi bulunmaktadır (Si, You, Liu ve Zhang, 2018). Bu yöntemlerden biri olan DEMATEL (The Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory), etkileyen ve etkilenen grupları önem derecesine göre analiz etmekle birlikte kriterler arasındaki göreceli ilişkileri yansıtacak bir haritanın geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Koçak ve Diyadin, 2018).

Literatürde klasik DEMATEL'in yanı sıra Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Bulanık DEMATEL, DEMATEL yönteminin bulanık mantık ile bütünleşik olarak uygulanmasıdır. Bulanık mantık, karar vericilerin dilsel değerlendirmeler yaptığı karar problemlerinde etkin sonuçlar verir. Burada veriler kesinlik içermediğinden 1-0 yerine bulanık sayılar kullanılmaktadır (Muhammad ve Çavuş, 2017). Gri DEMATEL ise DEMATEL yönteminin gri sistem teorisine dayalı olarak uygulanmasıdır. Gri sistem teorisi, belirsizliği sayısallaştırabilmek için alternatif bir yöntem olarak literatüre kazandırılmıştır. Geliştirilmesindeki temel mantık,

stokastik ya da bulanık yöntemlerle üstesinden gelinemeyecek belirsiz sistemlerin davranışlarını tahmin etmektir (Burhan, 2018).

Bu çalışmada, bir otomotiv yan sanayi firmasında hat duruş riskine neden olarak müşteri memnuniyetini etkileyebilecek faktörler DEMATEL, Gri DEMATEL ve Bulanık DEMATEL yöntemleriyle farklı eşik değerleri kullanılarak analiz edilmiş ve etkileyen / etkilenen grupların değişimi gözlemlenmiştir. DEMATEL, faktörlerin etkileyen / etkilenen gruplara ayrılması için temel bir yöntem olarak seçilmiştir. Karar vericilerin dilsel değerlendirmeler yapmaları ve faktörlerin birbiri üzerindeki etkisini belirlemede kararsız kalma durumları göz önünde bulundurularak problem Bulanık ve Gri Dematel yöntemleriyle de değerlendirilmiştir. Ayrıca her yönteme göre faktörlerin önem ağırlıkları hesaplanmış ve faktörler önem ağırlıklarına göre sıralanmıştır. Üç yönteme göre elde edilen sıralamalardan nihai sıralama elde edebilmek için Borda sayım yöntemi kullanılmıştır. Sonrasında, Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı testi ile sıralamaların birbirleriyle ve tam sıralamayla olan benzerliği tespit edilmiştir. Böylece literatürde sıklıkla kullanılan DEMATEL yöntemlerden elde edilen sonuçların birbirine benzerliği araştırılmıştır. Ayrıca, müşteri memnuniyetini etkileyen faktörlerin daha iyi anlaşılması için gerçek bir problem ele alınmıştır.

Bir sonraki bölümde literatür özeti verilmiş, üçüncü bölümde yöntemler açıklanmıştır. Dördüncü bölümde vaka çalışması sunulmuş, yöntemin uygulama adımlarından bahsedilmiştir. Beşinci bölümde bulgular özetlenmiş, altıncı ve son bölümde sonuç ve değerlendirmeler ile çalışma sonlandırılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

DEMATEL yöntemi literatürde çeşitli karar problemlerinde kullanılmıştır. Örneğin; Aksakal ve Dağdeviren (2010), uluslararası bir firmanın personel seçimi probleminde, Koçak ve Diyadin (2018), Endüstri 4.0'a ait kritik başarı faktörlerinin incelenmesinde, Erdal (2019), iş sağlığı ve güvenliği alanında tehlikeli durumları ve riskleri tespit etmek amacıyla, Özdağoğlu, Keleş ve Eren (2019), bir sağlık işletmesinde nefelometre cihazı alternatiflerinin belirlenmesinde yöntemden yararlanmıştı. Can ve Delice (2019), insan hatalarının değerlendirilmesi ve azaltılması tekniği (HEART) ile gelişmiş bir DEMATEL (AV-DEMATEL) yöntemlerini birleştiren yeni bir yaklaşım önermiş ve önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için bir buhar kazanı günlük kontrol sürecini ele alınmıştır. Çakır ve Kısa (2020), bir lojistik firmasında stajyer adaylarının değerlendirilmesinde, Kabadayı ve Dağ (2020), bayi performans ölçümünde kullanılacak olan anahtar performans göstergelerinin (KPI) önem derecelerinin tespit edilmesinde, Güler, Avcı ve Aladağ (2021), depremzedeler için geçici barınma alanlarının seçim probleminde, Özdağoğlu, Keleş ve Işıldak (2021), Türkiye'de bulunan havalimanlarının değerlendirilmesinde, Komsiyah, Ayuliana ve Balqis (2021), Endonezya'da en iyi sanayi alt bölgelerinin belirlenmesinde, Öztürk, Yazgan ve Delice (2021), uçak bakım teknisyenlerinin

fiziksel iş yükü faktörlerinin önceliklendirilmesinde, Ullah, Sepasgozar, Thaheem, Wang ve Imran (2021), çevrimiçi gayrimenkul platformu tercihinde, Çerçi ve Çınar (2024), incir üretimindeki risk faktörlerinin önem derecesine göre sıralanması ve birbirleriyle olan etkileşiminin belirlenmesinde, Düzdar, Beşbaş ve Peker (2024), dijital dönüşüm parametrelerinin önem derecesinin belirlenmesinde DEMATEL yönteminde yararlanmıştır.

DEMATEL yöntemi bulanık ve gri şekliyle de çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Bali, Tutun, Pala ve Çörekçi (2014), ısı sistemleri üreten bir işletmenin kargo şirketi seçim probleminde Bulanık DEMATEL'den faydalanmıştır. Delice ve Zegerek (2016) acil servislerde çalışan sağlık personelinin karşılaştığı mesleki risk seviyelerini değerlendirmek amacıyla bulanık DEMATEL ile bulanık Gri İlişkisel Analiz (GRA) yöntemlerini birleştirmiştir. Kabadayı ve Dağ (2017) makine seçiminde, Albayrak ve Erkayman (2018), sporcular için akıllı bileklik seçim probleminde, Koç (2019) tedarikçi seçim probleminde, Turan ve Turan (2019), bir plastik fabrikasında çalışanların memnuniyetlerini ölçebilmek için yönetim modellerinde Bulanık DEMATEL kullanmıştır. Özcan ve Tüysüz (2016), perakende zincirlerinde performans göstergelerinin analizinde, Kirkire ve Rane (2017), tıbbi cihaz geliştirme başarısına katkıda bulunan faktörleri değerlendirmek Gri DEMATEL yöntemini kullanmıştır. Poudeh, Cheshmberah, Torabi, Gavareshki ve Hosnavi (2019), karmaşık ürün sistemlerinin araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) projeleri için dış kaynak kullanımında dikkate alınması gereken en önemli etki faktörlerini Gri DEMATEL ile belirlemiştir. Xia ve Ruan (2020), sürdürülebilir tarımın gelişmesinin önündeki kritik engellerin değerlendirilmesinde, Rajak, Parthiban ve Dhanalakshmi (2021), Hindistan'da sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin önündeki engellerin nedensel ilişkisini ve önceliklendirilmesini analiz etmek için, Goyal, Goel ve Agarwal (2022), Hint tekstil endüstrisinde yalnız üretimde yeşil başarıyı yönlendirebilecek motivasyon faktörlerinin değerlendirilmesinde, Jalhoom ve Mahjoob (2024), inşaat projeleriyle ilgili risklerin değerlendirilmesinde, Psychogiou ve Tsoulfas (2024), Yunanistan'da şarap tedarik zincirinde güveni etkileyen kritik faktörleri belirlemek amacıyla, Debnath vd. (2024), giyim üretim endüstrisinde sürdürülebilir üretim uygulamalarını benimsemeye karşılaşılan zorlukları değerlendirmek amacıyla Gri DEMATEL yöntemini kullanmıştır. Ardakani, Kiani ve Babakhanifard (2024), bir cam fabrikasında atıkların azaltılması ve kaynak optimizasyonu için ekonomik, insan kaynakları, organizasyonel-yönetimsel ve altyapı olmak üzere dört boyutta kategorize edilen 15 kriterin neden sonuç ilişkisini Bulanık DEMATEL yöntemiyle ortaya koymuştur.

Literatürde bazı çalışmalarda DEMATEL, Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL yöntemleri bir arada kullanılarak karşılaştırılmıştır. Örneğin; Gürbüz ve Çavdarıcı (2018), Türkiye'de geri dönüşüm sektöründeki sorunları DEMATEL ve Gri DEMATEL yöntemleri ile önceliklendirmiştir. İki yöntemde de en çok etkileyen ile en çok etkilenen kriter aynı olurken, diğer kriterler farklı sıralarda yer almıştır. Khatun, Wagner, Jung ve Glaß (2023), tam otonom sürüş sistemleri için fonksiyonel güvenlik ve siber güvenlik arasındaki faktörlerin

değerlendirilmesinde DEMATEL ve Bulanık DEMATEL yöntemlerini birlikte kullanmıştır.

DEMATEL yöntemi tedarik zinciri yönetiminde de çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Örneğin; Asad, Mohammadi ve Shirani (2016), bilgi teknolojileri tabanlı tedarik zincirinde esneklik yeteneklerini etkileyen faktörler arasındaki neden sonuç ilişkisini incelemek için dört ana faktör altında yirmi beş alt faktör tanımlanmış ve çözüm için Gri DEMATEL kullanmıştır. Çalışmada ana faktörler; tedarik esnekliği, işletim sistemi esnekliği, dağıtım esnekliği ve bilgi teknolojisi entegrasyonu olarak belirlenmiştir. Günümüzde kuruluşlar, döngüsel ekonomiye geçiş için çeşitli uygulamaları benimsemeye çalışmaktadır. Govindan, Khodaverdi ve Vafadarnikjoo (2016), tedarik zinciri yönetiminde başlıca rolü olan üçüncü parti lojistik (3PL) sağlayıcı seçimi ve değerlendirmesinde önemli kriterleri belirlemek için Gri DEMATEL yöntemini önermiştir. Lin, Tseng ve Pai (2018), sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde kriterler arasındaki neden sonuç ilişkisini araştırmak için Bulanık DEMATEL kullanmıştır. Çalışmada ele alınan kriterlerden etkileyen olarak belirlenenler; birim fiyat ve ödeme koşulları, teknik spesifikasyonlar, uluslararası sertifikalar, aynı sektörde faaliyet gösteren büyük müşteriler ve tedarik edilen malzemelerinin sertifikaları olarak belirlenmiştir. Haleem, Khan ve Khan (2019), gıda tedarik zincirinde izlenebilirlik sisteminin başarılı bir şekilde uygulanmasında önemli rol oynayan faktörleri belirlemek için 12 kriteri Gri DEMATEL ile değerlendirmiş ve en etkili faktör, "gıda güvenliği ve kalitesi" olarak belirlenmiştir. Dalay ve Sarı (2022), Türk gıda sektöründe yer alan firmaların tedarikçi seçim kriterlerini belirlemek ve seçim sürecinde çevreyle ilgili yeşil kriter ne oranda önem verdiğini araştırmak için Bulanık DEMATEL yöntemini kullanmıştır. Sonuç olarak, Türk gıda sektöründeki firmaların tedarikçi seçiminde sırayla fiyat, kalite, güven ve iş yapısına önem verdiğini, yeşil kriterin ise sonlarda yer aldığı belirlenmiştir. Giri, Molla ve Biswas (2022), sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi seçim problemini pisagor Bulanık DEMATEL yöntemiyle ele almıştır. Etkileyen kriterler; kirlilik azaltımı, yeşil tasarım, güvenlik ve sağlık, istihdam uygulamaları, tedarikçi/müşteri iş birliği, paydaş ilişkileri, red oranı, e-ticaret yetenekleri olarak analiz edilmiştir. Yontar (2023), blockchain teknolojisinin özelliklerinin tedarik zinciri yönetiminin sürdürülebilirliği ile uyumluk ve etki düzeyini Gri DEMATEL ile araştırmıştır. 15 kriterin değerlendirildiği çalışmada en yüksek ağırlığa sahip olan kriter, etkin bilgi paylaşımı olarak belirlenmiştir. Bu kriteri sırasıyla, süreçler arasında bütünlük, paydaşlar arasında güçlü ilişki, sistematik veri yönetimi ve şeffaflık izlemiştir. Tedarik zincirinde döngüsel ekonomi, kaynakların kullanımını optimize ederek atık ve atık ürünlerin azaltılmasını hedefleyen bir yaklaşımdır. Khan, Haleem ve Khan (2024), kuruluşların döngüsel ekonomiye yönelik girişimlerde bulunmalarına yardımcı olan temel kolaylaştırıcıları araştırmak üzere Gri DEMATEL kullanmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler; tüketicilerin kullanılmış ürünlere yönelik tutumu, döngüsel ekonomi uygulamalarını yönetmek için politikalar ve yasal çerçeveler, döngüsel ekonomiye yönelik üst yönetim taahhüdü, tersine lojistik altyapısı,

takip edilebilirlik uygulaması, yetenek geliştirme, dairesel iş model, dairesel ürünlere talep oluşturma, döngüsel ekonomi süreci için verimli teknoloji ve güçlü ekonomik teşvikler olarak belirlenmiştir. Sharma, Routroy, Singh ve Nag (2024), Hindistan'da üretim işletmeleri için tedarik zinciri kırılabilirlik faktörlerini, aralarındaki neden-sonuç ilişkilerine dayalı olarak DEMATEL ile incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, tedarik tasarımı ve tedarik zinciri verimliliği ile ilgili faktörlerin etkilenen faktörler olduğunu, tedarik zinciri iş birliği ve bilgi teknolojisi ile ilgili faktörlerin ise etkileyen faktörler olduğunu göstermiştir.

DEMATEL, otomotiv sektöründe tedarik zinciri yönetimi çalışmalarında da yöntem olarak kullanılmıştır. Khompatraporn ve Somboonwivat (2017), Tayland otomotiv tedarik zincirinin rekabet gücünü etkileyen on faktörü Bulanık DEMATEL yöntemiyle analiz etmiştir. 10 kriter arasından etkileyen kriterler, hükümet politikası ve düzenlemeleri, afet ve çevresel riskler, konum ve çalışma ortamı olarak belirlenmiştir. Chirra ve Kumar (2018), otomotiv sektöründe tedarik zinciri esnekliğini Bulanık DEMATEL ile modellemiştir. 14 kriter arasından; hacim esnekliği, üretim esnekliği, tedarikçi iş birliği esnekliği ve tedarikçi esnekliğinin firma performansında belirleyici kriterler olduğu kabul edilmiştir. Sathyan, Parthiban, Dhanalakshmi ve Minz (2021), talebi tahmin ederek ve araç özelliklerini analiz ederek otomotiv tedarik zincirlerindeki yanıt verebilirliği artırmak için büyük veri analitiği ve bulanık ÇKKV ile bütünleşik bir yöntem geliştirmiştir. Sonuç olarak, üç temel faktörün; güvenlik özellikleri, aracın fiyatı ve yolcu konforu olduğu tespit edilmiştir. Saroha, Garg ve Luthra (2022), Hindistan otomotiv sektöründe sürdürülebilirliğe yönelik döngüsel tedarik zinciri yönetimi uygulamalarını bulanık DEMATEL ile değerlendirmiş ve en kritik faktörler hükümet politikaları ve mali uygulamalar olarak belirlenmiştir. Sathyan ve Palanisamy (2022), özellikle Covid-19 pandemiden sonra önem kazanan otomotiv tedarik zincirinde "duyarlılığı" belirlemeyi ve modellemeyi amaçlamıştır. Çalışmada yöntem olarak Bulanık DEMATEL temelli yapısal eşitlik modellemesi kullanılmıştır. Sonuç olarak, yönetimde stratejik karar alabilme, talebin doğru tahmini, organizasyondaki ileri imalat sistemi ve veri entegrasyon araçlarının kritik faktörler olduğu belirlenmiştir. Kumar Singh ve Modgil (2023), otomotiv endüstrisinde yalın uygulamaların performans ölçümleri üzerindeki etkisini araştırarak otomotiv tedarik zinciri üzerinde önemli etkisi olabilecek yalın kriterleri belirlemiştir. DEMATEL ve Bulanık VIKOR yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada, dikkate alınan yalın kriterler arasında kalite yönetimi, bilgi yönetimi ve müşteri yönetimi uygulamalarının temel performans ölçümlerini diğerlerine göre daha fazla etkilediği tespit edilmiştir. Sathyan, Parthiban, Dhanalakshmi ve Sachin (2023), Hindistan otomotiv sektöründe tedarik zinciri yanıt verebilirliğini sağlayan önemli unsurları belirleyebilmek için Bulanık DEMATEL, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)'i entegre olarak kullanmıştır. Bulanık DEMATEL'e göre en önemli üç faktör, yönetime bağlılık ve stratejik karar verme, talep tahmini ve sürekli iyileştirme'dir.

Otomotiv sektöründe yapılan çalışmalardan bazıları tedarik zincirinde risk yönetimine odaklanmıştır. Xia, Govindan ve Zhu (2015), Çin otomotiv sektöründeki yeniden imalatçıların önündeki nedensel iç engellerin belirlenmesi için Gri DEMATEL'i kullanmıştır. Çalışmada, etkileyen faktörler önem sırasına göre; yeniden üretim için gelişmiş üretim teknolojisinin eksikliği, motor kalitesini kontrol etmek için teknolojinin eksikliği, nitelikli işçi eksikliği, bilgi yönetim sisteminin eksikliği, yeniden üretilmiş ürün sürecinin standardize edilmesinin zorluğu, bilimsel üretim planlarının eksikliği, atık ürünlerin hasarını tespit etmek için gelişmiş teknolojinin eksikliği ve yeniden üretilmiş motorların daha yüksek emisyon standartlarını karşılayamamasıdır. Mzougui, Carpitella, Certa, El Felsoufi, Izquierdo (2020), otomotiv sektörü tedarik zinciri risk değerlendirmesinde FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis-Başarısızlık Modu, Etkiler ve Kritiklik Analizi), AHP ve Bulanık DEMATEL'e dayalı bir model önermiştir. Sonuç olarak, önleme/azaltma müdahalelerinin planlanmasında sırasıyla, doğal afetlere bağlı tedarik zinciri kesintilerine, üretim tesisleri, insan kaynakları, politikalar ve arıza süreçlerine ve verimsiz taşımaya önem verilmesi gerektiği ortaya konmuştur. Prashar ve Aggarwal (2020), Hint otomotiv şirketlerinde tedarik zinciri boyunca kalite yönetimi ve risk yönetiminin başarılı bir şekilde uygulanması için bazı kolaylaştırıcıların öne çıktığını vurgulamış ve bu kolaylaştırıcılar arasındaki neden-sonuç ilişkisini Gri DEMATEL ile araştırmıştır. Stratejik planlama, insan kaynakları yönetimi, bilgi kalitesi ve paylaşımı ve tedarikçi ortaklığı etkileyen kriterler olarak belirlenmiştir. Tabariyan ve Taghipour (2023), İran'da bulunan bir şirketin tedarik zincirindeki riskleri belirlemek üzere entegre DEMATEL- Analitik Ağ Prosesi (ANP) yöntemini kullanmıştır. 30 faktörün belirlendiği çalışmada Delphi tekniği ile faktör sayısı 17'ye düşürülmüştür. Sonuç olarak en etkili kriterler, teknoloji değişikliği, doğal afetler, hava kirliliği, yaptırımlar, daralma ve genişleme politikaları ve kalitatif kontrol süreçleri olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, Türkiye'de bulunan bir otomotiv firmasında tedarik zinciri yönetimini etkileyebilecek risk faktörleri DEMATEL, Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL yöntemleri ile incelenmiştir. Çalışmanın Türkiye'de önde gelen bir firmanın uzmanları ile gerçekleştirilmesi ve DEMATEL, Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL yöntemlerinin karşılaştırılmasını sunması bakımından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. Yöntem

Çalışmada, tedarik zinciri yönetimini etkileyebilecek risk faktörlerinin birbiriyle ilişkisini analiz etmek ve etkileyen / etkilenen faktörleri gruplandırmak için DEMATEL, Gri DEMATEL ve Bulanık DEMATEL yöntemleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiği kurallarına uyulmuştur.

3.1. DEMATEL Yöntemi

DEMATEL yöntemi, 1971 ve 1976 yılları arasında Cenevre Battelle Memorial Enstitüsünün Bilim ve İnsan İlişkileri Programında, karmaşık nedensel ilişkilerin yapısını görselleştirmek için kullanılmıştır (Ullah, Sepasgozar, Thaheem, Wang ve Imran, 2021). Yöntem, karmaşık ve birbirine girmiş yapıdaki bir probleme neden olan kriterlerin anlaşılması ihtiyacından doğmuştur. Kriterlerin birbirleri arasındaki ilişkisini, problemi etkileyen ve probleminden etkilenen faktörleri ve bu faktörlerin önem ağırlıklarını analiz etmektedir.

Yöntemin adımları aşağıda açıklanmıştır (Aksakal ve Dağdeviren, 2010; Şahin, Kasap ve Özkan, 2020; Şen vd., 2021):

Adım 1. Uzmanlar, kriterleri Tablo 1’de gösterilen değerlendirme skalasına göre ikili olarak karşılaştırır. Böylece köşegenleri “0” ve asimetrik bir matris olan Direkt İlişki Matrisi (X) elde edilir. n toplam kriter sayısı, x_{ij} i . kriterin j . kriter üzerindeki etkisi olmak üzere X matrisinin gösterimi Eşitlik (1)’de verilmiştir.

Tablo 1

DEMATEL Karar Verici (Uzman) Değerlendirme Skalası

Tanım	Sayısal Değer
Etkisiz	0
Düşük Etki	1
Orta Etki	2
Yüksek Etki	3
Çok Yüksek Etki	4

$$X = \begin{bmatrix} 0 & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & 0 & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Birden fazla karar vericinin olması durumunda verilen puanların aritmetik ortalaması alınır ve Eşitlik (2)’deki gibi A ortalama direkt ilişki matrisi elde edilir. Elde edilen bu matris uzman grubun ortak kararıdır.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 0 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Adım 2. Eşitlik (3) ve Eşitlik (4) kullanılarak, Eşitlik (5)’te gösterilen normalize edilmiş direkt ilişki matrisi N hesaplanır.

$$S = maks \left[\begin{array}{l} Maks \sum_{i=1}^n a_{ij}, 1 \leq i \leq n \\ Maks \sum_{j=1}^n a_{ij}, 1 \leq j \leq n \end{array} \right] \quad (3)$$

$$N = \frac{A}{S} \quad (4)$$

$$N = \begin{bmatrix} 0 & a_{12}/S & \dots & a_{1n}/S \\ a_{21}/S & 0 & \dots & a_{2n}/S \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}/S & a_{n2}/S & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Adım 3. Eşitlik (6) kullanılarak toplam ilişki matrisi T hesaplanır. Burada, I birim matrisi ifade eder.

$$T = N + N^2 + N^3 + \dots + N^p = Nx(I - N)^{-1} \quad (6)$$

$$T = \begin{bmatrix} 0 & t_{12} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & 0 & \dots & t_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Adım 4. Kriterlerin etki yönlerini belirleyebilmek için eşik değer belirlenir. Eşik değer karar vericiler tarafından subjektif belirlenebileceği gibi T üzerindeki değerlerin ortalaması alınarak da hesaplanabilir.

Adım 5. Eşitlik (8) ve (9) kullanılarak etkileyen ve etkilenen kriter grupları belirlenir. Her bir satır toplamı D_i , ilgili kriterin diğer kriterleri doğrudan veya dolaylı etkileme düzeyini; her bir sütun toplamı R_j ise ilgili kriterin diğer kriterlerden doğrudan veya dolaylı etkilenme düzeyini göstermektedir.

$$D_i = \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

$$R_j = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

Her bir kriter için t_i^+ hesaplanarak kriterin toplam etkisi; t_i^- hesaplanarak kriterin etkileme veya etkilenme düzeyi bulunur. t_i^+ ilgili kriterin sistem içindeki önemini belirtir (Eşitlik 10). t_i^- değeri pozitif ise ilgili kriter gönderici, negatif ise alıcı olarak nitelendirilir (Eşitlik 11).

$$t_i^+ = D_i + R_j \quad (10)$$

$$t_i^- = D_i - R_j \quad (11)$$

Adım 6. Etki yön grafiği çizilir. Etki-yönlü graf diyagramı yatay ekseninde D_i+R_j , düşey ekseninde D_i-R_j olan bir koordinat düzleminde (D_i+R_j, D_i-R_j) noktalarının gösterilmesiyle elde edilir.

Hesaplanan eşik değeri, her bir t_{ij} değeri ile kontrol edilir. Eğer eşik değeri, toplam ilişki matrisinde i . kriterin j . kritere olan değerinden daha büyük ise t_{ij} gönderici, küçük ise alıcı grubunda yer almaktadır.

Adım 7. Eşitlik (12) ve (13) ile karar değişkenlerinin önem ağırlıkları hesaplanır.

$$w_i = \sqrt{(D_i + R_j)^2 + (D_i - R_j)^2} \quad (12)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_i^n w_i} \quad (13)$$

3.2. Bulanık DEMATEL

Bulanık mantık, belirsizlik ortamlarında en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bulanık mantıkta belirsizlik, üye olma ya da olmamanın dışında derecelendirilmiş üyelikler olduğunu ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, bulanık mantık “evet-hayır”, “doğru-yanlış” yerine “çok az, az, orta, yüksek, çok yüksek” gibi ortalama değerleri kullanarak dereceli veri modellemesi yapmaktadır. Bulanık mantığın amacı, günlük hayatta kullanılan dilsel ifadeleri matematiksel ifadelere dönüştürmektir. Bulanık DEMATEL ise bulanık sayılar kullanılarak DEMATEL yönteminin bulanık mantıkla bütünleştirilmesidir. Üçgensel bulanık sayılar ile DEMATEL yönteminin uygulanması için sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenir (Albayrak ve Erkayman (2018)):

Adım 1. Karar probleminde yer alan kriterler belirlenir.

Adım 2. Kriterlerin belirlenmesi ve bulanık değerlendirme skalasının oluşturulması

$C = \{C_i \mid i=1,2,\dots,n\}$ kriterleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için p tane uzman kişiden oluşan bir karar verici grup Tablo 2’de verilen dilsel değişkenlerin karşılığı olan sayısal değerlerle kriterler arasındaki etkileşimi ortaya koymak için ikili karşılaştırmalar yaparlar. Bu şekilde p tane $\tilde{z}^1, \tilde{z}^2, \dots, \tilde{z}^p$, bulanık matris oluşturulur.

Buna göre elemanları i . kriterin j . kriteri etkileme derecesini gösteren k uzmanına ait $\tilde{z}_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, u_{ij}^k)$ üçgensel bulanık sayılarından oluşan direkt ilişki matrisi Eşitlik (14)’te gösterilmiştir.

Tablo 2

Bulanık DEMATEL Karar Verici (Uzman) Değerlendirme Skalası

Dilsel Değişken	Bulanık Sayı
Etkisiz (E)	(0;0;0,25)
Düşük Etki (DE)	(0;0,25;0,50)
Orta Etki (OE)	(0,25;0,50;0,75)
Yüksek Etki (YE)	(0,50;0,75;1)
Çok Yüksek Etki (ÇYE)	(0,75;1;1)

$$\tilde{Z}_k = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \tilde{z}_{1n}^k \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \tilde{z}_{n1}^k & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad k=1,2,\dots,p; i=1,2,\dots, n \quad (14)$$

Adım 3. Eşitlik (15) ve (16) kullanılarak Eşitlik (17)'de gösterilen normalize bulanık direkt ilişki matrisi oluşturulur.

$$\tilde{x}_{ij}^k = \frac{\tilde{z}_{ij}^k}{r^k} = \left(\frac{l_{ij}^k}{r^k}, \frac{m_{ij}^k}{r^k}, \frac{u_{ij}^k}{r^k} \right) \quad (15)$$

$$r^k = \max(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n u_{ij}^k) \quad (16)$$

$$\tilde{x} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Adım 4. Normalize bulanık direkt ilişki matrisi l, m, u üçgensel sayılarından oluşan alt matrislere ayrılarak her bir alt matris için Eşitlik (18) uygulanır ve böylece her alt matrise ait toplam direkt ilişki matrisi oluşturulur.

$$\tilde{T} = \tilde{x} + \tilde{x}^2 + \tilde{x}^3 m = \sum_{j=1}^{\infty} \tilde{x}^j = \tilde{x}(1 - \tilde{x})^{-1} \quad (18)$$

Alt toplam ilişki matrisleri birleştirilir ve toplam ilişki matrisi Eşitlik (19)'daki gibi oluşturulur.

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{T}_{11} & \tilde{T}_{12} & \dots & \tilde{T}_{1n} \\ \tilde{T}_{21} & \tilde{T}_{22} & \dots & \tilde{T}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{T}_{n1} & \tilde{T}_{n2} & \dots & \tilde{T}_{nn} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Adım 5. Neden sonuç ilişkileri (gönderici ve alıcı grupları) belirlenir.

Toplam ilişki matrisi oluşturulduktan sonra bu matrisin sütun elemanları toplamı \tilde{D}_i ve satır elemanları toplamı olan \tilde{R}_i değerleri bulunur. Ardından bu değerlerin toplanmasıyla $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ ve $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ değerleri hesaplanır. $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ ile $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ üçgensel bulanık sayılar olup Eşitlik (20) ve (21) ile durulaştırma işlemi yapılır.

$$\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def} = \frac{1}{4}(x_{ij,l} + 2x_{ij,m} + x_{ij,u}) \quad (20)$$

$$\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def} = \frac{1}{4}(x_{ij,l} + 2x_{ij,m} + x_{ij,u}) \quad (21)$$

$\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$, bir kriterin diğer kriterler içindeki önemini ve toplam etkisini gösterirken, $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ ise kriterlerin gönderici ya da alıcı olarak iki gruba ayrılmasını sağlar. Bu değer pozitifse, kriter gönderici grubunda olup diğer kriterler üzerindeki etkisi yüksektir. Eğer bu değer negatifse, kriter alıcı grupta yer almakta olup diğer kriterler üzerindeki etkisi düşüktür. Bu adımın ardından etki yönlü graf diyagramı çizilebilir.

Adım 6. Eşitlik (22) ve Eşitlik (23)'e göre kriter ağırlıkları hesaplanır.

$$w_i = \{(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)^2 + (\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^2\}^{1/2} \quad (22)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (23)$$

3.3 Gri DEMATEL

Gri sistemler, az sayıda örneklemeden oluşan ve bilginin eksik olduğu karar problemleri için özel olarak geliştirilmiştir. Gri sistem teorisi, konuyla ilgili deneyimin sınırlı olduğu durumlarda tatmin edici sonuçlar sağlayabilir. Gri sistem analizinde gri sayılar, gri eşitlikler ve gri matrisler kullanılır. Gri sayılar, alt ve üst değeri belli ancak tam değeri belli olmayan sayılar olup $\otimes_1 \in [\underline{a}, \bar{a}]$ şeklinde gösterilirler. Burada, \underline{a} alt, \bar{a} üst değeri ifade eder. $\otimes_1 \in [a, b]$ ve $\otimes_2 \in [c, d]$ olmak üzere gri sayılar ile yapılacak toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri sırasıyla Eşitlik (24), (25), (26) ve (27)'de verilmiştir (Gürbüz ve Çavdarci, 2018):

$$\otimes_1 + \otimes_2 = [a + c, b + d] \tag{24}$$

$$\otimes_1 - \otimes_2 = [a - d, b - c] \tag{25}$$

$$\otimes_1 \times \otimes_2 = [\min\{ac, ad, bc, bd\}, \max\{ac, ad, bc, bd\}] \tag{26}$$

$$\otimes_1 / \otimes_2 = [\min\{a/c, a/d, b/c, b/d\}, \max\{a/c, a/d, b/c, b/d\}] \tag{27}$$

\otimes_1 gri sayısının bir skaler ile çarpımı Eşitlik 28’de verilmiştir.

$$k * \otimes_1 \in [ka, kb] \tag{28}$$

Gri sistemlerde karşılaştırma matrisleri Tablo 3’teki skalaya göre doldurulur.

Tablo 3

Gri DEMATEL Karar Verici (Uzman) Değerlendirme Skalası

Dilsel Değişken	Gri Sayı
Etkisiz (E)	[0,0]
Düşük etki (DE)	[0,1]
Orta etki (OE)	[1,2]
Yüksek etki (YE)	[2,3]
Çok yüksek etki (ÇYE)	[3,4]

Gri DEMATEL yöntemi adımları aşağıda açıklanmıştır (Gürbüz ve Çavdarıcı, 2018):

Adım 1. Gri sayılardan oluşan değerlendirmeler ile direkt ilişki matrisi A Eşitlik (29)’daki gibi oluşturulur.

$$A^k = \begin{bmatrix} [0,0] & \otimes a_{12} & \dots & \otimes a_{1n} \\ \otimes a_{21} & [0,0] & \dots & \otimes a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes a_{n1} & \otimes a_{n2} & \dots & [0,0] \end{bmatrix} \tag{29}$$

Adım 2. Eşitlik (30) ve (31) ile normalleştirilmiş direkt-ilişki matrisi $\otimes D$ elde edilir.

$$S = \max\left(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}^+, \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij}^+\right) \tag{30}$$

$$\otimes D = [\otimes d_{ij}]_{n \times n} = [d_{ij}^-, d_{ij}^+]_{n \times n} = \frac{\otimes A}{S} \quad (31)$$

Adım 3. Eşitlik (32), (33), (34), (35) ve (36) kullanılarak toplam ilişki matrisi T hesaplanır.

$$\otimes T = [\otimes t_{ij}]_{n \times n} = [t_{ij}^-, t_{ij}^+]_{n \times n} = \otimes D + (\otimes D)^2 + \dots + (\otimes D)^\infty \quad (32)$$

$$T^- = [t_{ij}^-]_{n \times n} = D^-(I - D^-)^{-1} \quad (33)$$

$$T^+ = [t_{ij}^+]_{n \times n} = D^+(I - D^+)^{-1} \quad (34)$$

$$D^+ = [d_{ij}^+]_{n \times n} \quad (35)$$

$$D^- = [d_{ij}^-]_{n \times n} \quad (36)$$

Adım 4. T kullanılarak satır toplamı $\otimes R$ ve sütun toplamı $\otimes C$ sırasıyla Eşitlik (37) ve Eşitlik (38) kullanılarak belirlenir.

$$\otimes R_i = \sum_{j=1}^n \otimes t_{ij} \quad (37)$$

$$\otimes C_j = \sum_{i=1}^n \otimes t_{ij} \quad (38)$$

Adım 5. Satır ve sütun toplamları kullanılarak $\otimes R_i + \otimes C_i$ 'ye göre kriter ağırlıkları hesaplanır.

Adım 6. Belirlenen eşik değerine göre etki yönlü graf diyagramı çizilebilir.

4. Vaka Çalışması

Bu çalışmada, otomotiv anasanyide hat duruş riskine neden olarak müşteri memnuniyeti etkileyebilecek faktörler araştırılmış ve aralarındaki neden-sonuç ilişkisi sorgulanmıştır. Vaka çalışması konu olan firma, ortalama 1500 personele sahip olup otomotiv anasanyilere plastik iç/dış trim ve aydınlatma ürünleri üreten, 5 farklı ülkede 4 Ar-Ge merkezi ve 7 üretim tesisiyle hizmet veren bir işletmedir. Ağırlıklı olarak plastik enjeksiyon makineleri ve montaj hatları ile müşterilerine hizmet sunmaktadır. Kullanılan bileşenlerinin %70'i plastik hammaddeden oluşmaktadır. Ayrıca, sünger, klips, keçe, vida, kimyasal gibi bileşenlerin de bulunduğu geniş bir tedarik zinciri ağına sahiptir.

Bir karar probleminde kriterlerin belirlenmesi problemin ortaya çıktığı koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Literatürde, daha önce yapılmış çalışmaları referans alarak kriter tespiti yapan araştırmacılar (Koçak ve Diyadin, 2018) olduğu gibi uzman grup görüşlerine dayandırılan (Aksakal ve Dağdeviren, 2010) veya yayımlanmış raporlar ve çeşitli kurumların oluşturduğu olgunluk modellerini esas alan (Koçak ve Diyadin, 2018) çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada kullanılacak risk faktörleri, uygulamanın yapıldığı firmanın geçmişte yaşadığı deneyimler ve gelecekte yaşayabilme ihtimali olan durumlar göz önünde bulundurularak Tablo 4'te özellikleri belirtilen uzmanlar tarafından belirlenmiştir.

Tablo 4

Karar Verici Profil Bilgileri

Uzman No	Unvan	Tecrübe	Eğitim	Uzmanlık Alanı
1	Operasyonlardan Sorumlu Direktör	17 yıl	Lisans	Operasyon Yönetimi
2	Tedarik Zinciri Müdürü	15 yıl	Yüksek Lisans	Tedarik Zinciri
3	Yalın Üretim & Üretim Müdür	15 yıl	Yüksek Lisans	Üretim

Risk faktörleri aşağıdaki gibidir:

1. Enjektör makinesi arızası (kalıp, makine, robot, vinç, sistem) (R_1)
2. Kalite problemleri (mamul, yarımamul, altparça) (R_2) : İç / dış prim yüzeylerindeki görsel hatalardır.
3. Küresel tehditler (salgın hastalıklar, savaş tehdidi, göç vb.) (R_3): Yakın geçmişte örneğini gördüğümüz üzere tüm imalat sektörü gibi otomotiv sektörü de küresel tehditlerden etkilenmektedir.
4. Doğal afetler (R_4): Küresel tehditlere benzer şekilde tüm imalat sektörüyle birlikte otomotiv sektörünü de etkileyebilecek ancak etkilerin lokal olarak hissedileceği bir faktör olarak çalışmaya dahil edilmiştir.
5. Operatör eksikliği (R_5): Otomotiv sektöründe alt / yardımcı parçalar özelleşmiş olduğundan operatörler zamanla gerekli beceriyi kazanarak belirli bir hıza ulaşmaktadır. Operatörün değişmesi durumunda aynı beceriye ulaşmak için gereken süre çeşitli kayıplara neden olmaktadır.

6. Altparça eksikliği (R_6): Otomotiv sektöründe malzeme ihtiyaç planlamasındaki parça sayısının çokluğu ve bir malzemenin olmaması durumunda parçanın üretilmemesi riskinin söz konusu olması sebebiyle bu faktör çalışmaya dahil edilmiştir.
7. Makine verimsizliği (R_7): Planlı bakım, toplam verimli bakım gibi makine verimliliğini etkileyebilecek süreçlere katkı sağlaması için çalışmaya dahil edilmiştir.

Uygulamanın gerçekleştirildiği fabrikada bulunan üç uzman kriterler arasındaki ilişkiyi Tablo 1'e göre değerlendirmiştir. Uzmanlar tarafından belirlenen direkt ilişki matrisleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5
DEMATEL Direkt İlişki Matrisi (X)

Uzman 1							
Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0	3	0	0	0	0	3
R_2	1	0	0	0	0	4	4
R_3	0	0	0	0	4	4	3
R_4	2	0	3	0	2	3	2
R_5	0	2	0	0	0	0	3
R_6	0	3	0	0	0	0	4
R_7	0	0	0	0	1	0	0
Uzman 2							
Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0	4	0	0	0	1	4
R_2	0	0	0	0	0	3	4
R_3	0	0	0	0	4	3	2
R_4	2	0	2	0	3	3	1
R_5	0	3	0	0	0	1	4
R_6	0	4	0	0	1	0	3
R_7	0	0	0	0	1	0	0
Uzman 3							
Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0	3	0	0	0	0	4
R_2	0	0	0	0	0	3	3
R_3	0	0	0	0	3	4	2
R_4	3	0	2	0	2	2	1
R_5	0	3	0	0	0	0	4
R_6	0	4	0	0	0	0	4
R_7	0	0	0	0	0	0	0

Bölüm 3.1’de verilen Eşitlik (2), (3), (4), (5) ve (6)’nın uygulanmasıyla elde edilen toplam ilişki matrisi Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6
DEMATEL Toplam İlişki Matrisi (T)

Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0,00	0,19	0,00	0,00	0,01	0,05	0,25
R_2	0,02	0,04	0,00	0,00	0,01	0,19	0,25
R_3	0,00	0,07	0,00	0,00	0,21	0,22	0,23
R_4	0,13	0,09	0,13	0,00	0,16	0,19	0,20
R_5	0,00	0,16	0,00	0,00	0,01	0,05	0,24
R_6	0,00	0,21	0,00	0,00	0,03	0,04	0,26
R_7	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01

Çalışmada, risk faktörleri 3 farklı eşik değeri belirlenerek analiz edilmiştir. İlk eşik değeri toplam ilişki matrisinde yer alan tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınarak 0,076 olarak hesaplanmıştır. İkinci eşik değeri, toplam ilişki matrisinde yer alan en büyük değer (0,26) ile hesaplanan ilk eşik değerinin (0,076) ortalaması alınarak 0,166 olarak bulunmuştur. Son eşik değeri ise toplam ilişki matrisinde yer alan en küçük değer (0,00) ile hesaplanan ilk eşik değerinin (0,076) ortalaması alınarak 0,038 şeklinde hesaplanmıştır.

Farklı eşik değerlerine göre etkileyen ve etkilenen kriterler Tablo 7’de gösterilmiş, Şekil 1’de ise etki yön grafiği çizilmiştir.

Tablo 7
DEMATEL Etkileyen ve Etkilenen Kriter Grupları

Kriterler	D	R	D_i-R_i	D_i+R_i	Eşik Değerleri		
					0,166	0,076	0,038
R_1	0,51	0,16	0,355	0,674	Etkileyen	Etkileyen	Etkileyen
R_2	0,52	0,77	-0,255	1,292	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen
R_3	0,73	0,13	0,607	0,861	Etkileyen	Etkileyen	Etkileyen
R_4	0,90	0,00	0,900	0,900	Etkileyen	Etkileyen	Etkileyen
R_5	0,46	0,47	-0,014	0,933	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen
R_6	0,54	0,74	-0,200	1,282	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen
R_7	0,05	1,45	-1,393	1,499	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen

Faktörlerin ağırlıkları Tablo 8’de hesaplanmıştır.

Tablo 8

DEMATEL Yöntemine Göre Faktörlerin Önem Ağırlıkları ve Sırası

Kriterler	D_i-R_i	D_i+R_i	w_i	W_i	Önem Sırası
R_1	0,355	0,674	0,762	0,088	7
R_2	-0,255	1,292	1,317	0,152	2
R_3	0,607	0,861	1,054	0,121	5
R_4	0,900	0,900	1,273	0,147	4
R_5	-0,014	0,933	0,933	0,107	6
R_6	-0,200	1,282	1,298	0,149	3
R_7	-1,393	1,499	2,046	0,236	1

Tablo 8'e göre, en öncelikli kriter R_7 makine verimsizliği olup bunu sırasıyla R_2 kalite problemleri (mamul, yarımamul, altparça) ve R_6 altparça eksikliği izlemiştir. R_1 arıza (kalıp, makine, robot, vinç, sistem) faktörü ise son sırada yer almıştır.

Bulanık DEMATEL yönteminde üç uzmanın kriterler arasındaki ilişkiyi değerlendirdikleri direkt ilişki matrisleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9

Bulanık DEMATEL Direkt İlişki Matrisi (Z_k)

Uzman 1							
Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0	YE	E	E	E	E	YE
R_2	DE	0	E	E	E	ÇYE	ÇYE
R_3	E	E	0	E	ÇYE	ÇYE	YE
R_4	OE	E	YE	0	OE	YE	OE
R_5	E	OE	E	E	0	E	YE
R_6	E	YE	E	E	E	0	ÇYE
R_7	E	E	E	E	DE	E	0
Uzman 2							
Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0	ÇYE	E	E	E	DE	ÇYE
R_2	E	0	E	E	E	YE	ÇYE
R_3	E	E	0	E	ÇYE	YE	OE
R_4	OE	E	OE	0	YE	YE	DE
R_5	E	YE	E	E	0	DE	ÇYE
R_6	E	ÇYE	E	E	DE	0	YE
R_7	E	E	E	E	DE	E	0

Uzman 3

Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0	YE	E	E	E	E	ÇYE
R_2	E	0	E	E	E	YE	YE
R_3	E	E	0	E	YE	ÇYE	OE
R_4	YE	E	OE	0	OE	OE	DE
R_5	E	YE	E	E	0	E	ÇYE
R_6	E	ÇYE	E	E	E	0	ÇYE
R_7	E	E	E	E	E	E	0

Bölüm 3.2’de verilen Eşitlik (14), (15), (16), (17) ve (18) kullanılarak l , m ve u alt matrislerine ait toplam ilişki matrisleri sırasıyla Tablo 10, Tablo 11 ve Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 10

Bulanık DEMATEL Toplam İlişki Matrisi (l)

Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
R_2	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,08
R_3	0,00	0,01	0,00	0,00	0,08	0,08	0,052
R_4	0,04	0,01	0,04	0,00	0,04	0,05	0,02
R_5	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
R_6	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09
R_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo 11

Bulanık DEMATEL Toplam İlişki Matrisi (m)

Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,12
R_2	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12
R_3	0,00	0,02	0,00	0,00	0,11	0,11	0,09
R_4	0,07	0,02	0,07	0,00	0,08	0,09	0,07
R_5	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,02	0,12
R_6	0,00	0,11	0,00	0,00	0,01	0,01	0,12
R_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00

Tablo 12

Bulanık DEMATEL Toplam İlişki Matrisi (u)

Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0,02	0,14	0,05	0,04	0,05	0,07	0,16
R_2	0,06	0,04	0,05	0,044	0,06	0,14	0,16
R_3	0,05	0,07	0,02	0,05	0,14	0,15	0,152
R_4	0,12	0,08	0,12	0,02	0,13	0,15	0,14
R_5	0,05	0,13	0,05	0,04	0,03	0,07	0,16
R_6	0,05	0,14	0,05	0,04	0,06	0,04	0,16
R_7	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,05	0,03

D_i+R_i ve D_i-R_i değerleri ve farklı eşik değerlerine göre etkileyen ve etkilenen kriterler Tablo 13'te gösterilmiş, Şekil 2'de ise etki yön grafiği çizilmiştir. İlk eşik değeri toplam ilişki matrisinde yer alan tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. İkinci eşik değeri, toplam ilişki matrisinde yer alan en büyük değer ile hesaplanan ilk eşik değerinin ortalaması alınarak bulunmuştur. Son eşik değeri ise toplam ilişki matrisinde yer alan en küçük değer ile hesaplanan ilk eşik değerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 13

Bulanık DEMATEL Etkileyen ve Etkilenen Kriter Grupları

Kriterler	D_i+R_i	D_i-R_i	Eşik Değerleri		
			0,726	0,086	0,043
R_1	1,45	0,44	Etkilenen	Etkileyen	Etkileyen
R_2	2,17	-0,28	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen
R_3	1,66	0,71	Etkilenen	Etkileyen	Etkileyen
R_4	1,65	1,09	Etkileyen	Etkileyen	Etkileyen
R_5	1,77	-0,01	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen
R_6	2,20	-0,26	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen
R_7	2,35	-1,69	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen

Tablo 13'e göre, 0,726 eşik değerine göre R_4 etkileyen faktör, diğer tüm faktörler ise etkilenendir. 0,086 ve 0,043 eşik değerlerine göre R_1 , R_3 ve R_4 etkileyen, R_2 , R_5 , R_6 ve R_7 etkilenen faktördür.

Son olarak, Gri DEMATEL yönteminde üç uzmanın kriterler arasındaki ilişkiyi değerlendirdikleri direkt ilişki matrisleri Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14

Gri DEMATEL Direkt İlişki Matrisi (A^k)

Uzman 1							
Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0	YE	E	E	E	E	YE
R_2	DE	0	E	E	E	ÇYE	ÇYE
R_3	E	E	0	E	ÇYE	ÇYE	YE
R_4	OE	E	YE	0	OE	YE	OE
R_5	E	OE	E	E	0	E	YE
R_6	E	YE	E	E	E	0	ÇYE
R_7	E	E	E	E	DE	E	0

Uzman 2							
Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0	ÇYE	E	E	E	DE	ÇYE
R_2	E	0	E	E	E	YE	ÇYE
R_3	E	E	0	E	ÇYE	YE	OE
R_4	OE	E	OE	0	YE	YE	DE
R_5	E	YE	E	E	0	DE	ÇYE
R_6	E	ÇYE	E	E	DE	0	YE
R_7	E	E	E	E	DE	E	0

Uzman 3							
Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0	YE	E	E	E	E	ÇYE
R_2	E	0	E	E	E	YE	YE
R_3	E	E	0	E	YE	ÇYE	OE
R_4	YE	E	OE	0	OE	OE	DE
R_5	E	YE	E	E	0	E	ÇYE
R_6	E	ÇYE	E	E	E	0	ÇYE
R_7	E	E	E	E	E	E	0

Bölüm 3.3'te verilen Eşitlik (28), (29), (30), (31), (32), (33) ve (34)'ün uygulanmasıyla elde edilen toplam ilişki matrisi $\underline{\alpha}$ için Tablo 15'te, $\overline{\alpha}$ için Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 15

Gri DEMATEL Toplam İlişki Matrisi - $\underline{\alpha}$ (T)

Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,02	0,17
R_2	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,13	0,17
R_3	0,00	0,04	0,00	0,00	0,14	0,15	0,12
R_4	0,07	0,03	0,07	0,00	0,08	0,11	0,07
R_5	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,16
R_6	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,02	0,17
R_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo 16

Gri DEMATEL Toplam İlişki Matrisi - $\bar{\alpha}$ (T)

Kriterler	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0,00	0,19	0,00	0,00	0,01	0,05	0,25
R_2	0,02	0,04	0,00	0,00	0,01	0,19	0,25
R_3	0,00	0,07	0,00	0,00	0,21	0,22	0,23
R_4	0,13	0,09	0,13	0,00	0,16	0,19	0,20
R_5	0,00	0,16	0,00	0,00	0,01	0,05	0,24
R_6	0,00	0,21	0,00	0,00	0,03	0,04	0,26
R_7	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01

D_i+R_i ve D_i-R_i değerleri ve farklı eşik değerlerine göre etkileyen ve etkilenen kriterler Tablo 17'de gösterilmiş, Şekil 3'te ise etki yön grafiği çizilmiştir. İlk eşik değeri toplam ilişki matrisinde yer alan tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. İkinci eşik değeri, toplam ilişki matrisinde yer alan en büyük değer ile hesaplanan ilk eşik değerinin ortalaması alınarak bulunmuştur. Son eşik değeri ise toplam ilişki matrisinde yer alan en küçük değer ile hesaplanan ilk eşik değerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 17

Gri DEMATEL Etkileyen ve Etkilenen Kriter Grupları

Kriterler	D_i+R_i	D_i-R_i	Eşik Değerleri		
			0,158	0,060	0,030
R_1	0,39	0,24	Etkileyen	Etkileyen	Etkileyen
R_2	0,77	-0,14	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen
R_3	0,52	0,38	Etkileyen	Etkileyen	Etkileyen
R_4	0,43	0,43	Etkileyen	Etkileyen	Etkileyen
R_5	0,49	0,04	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen
R_6	0,77	-0,10	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen
R_7	0,85	-0,85	Etkilenen	Etkilenen	Etkilenen

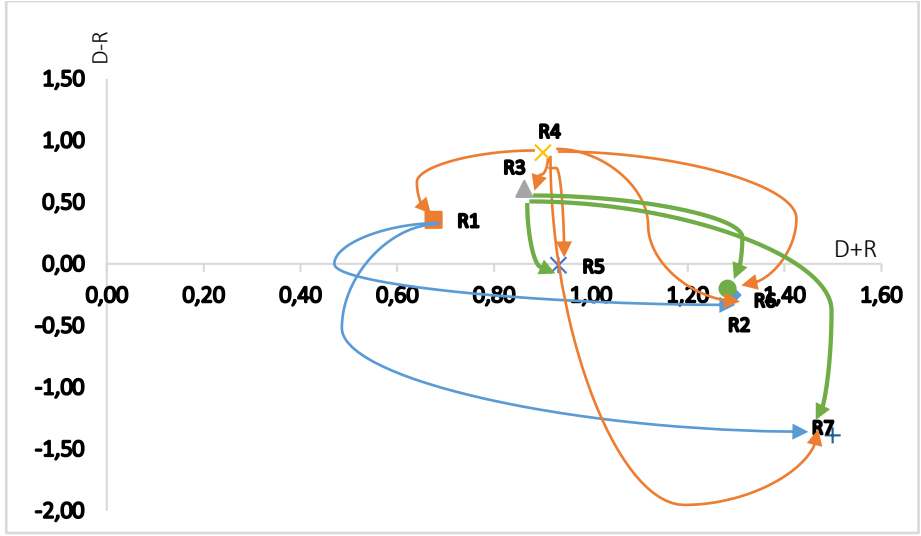
Tablo 17'ye göre, tüm eşik değerleri için R_1 , R_3 ve R_4 etkileyen, R_2 , R_5 , R_6 ve R_7 etkilenen faktör olarak belirlenmiştir.

5. Bulgular

Çalışmanın ilk aşamasında DEMATEL, Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL yöntemleri kullanılarak ulaşılan sonuçlar, üç farklı eşik değeri ile değerlendirilmiştir.

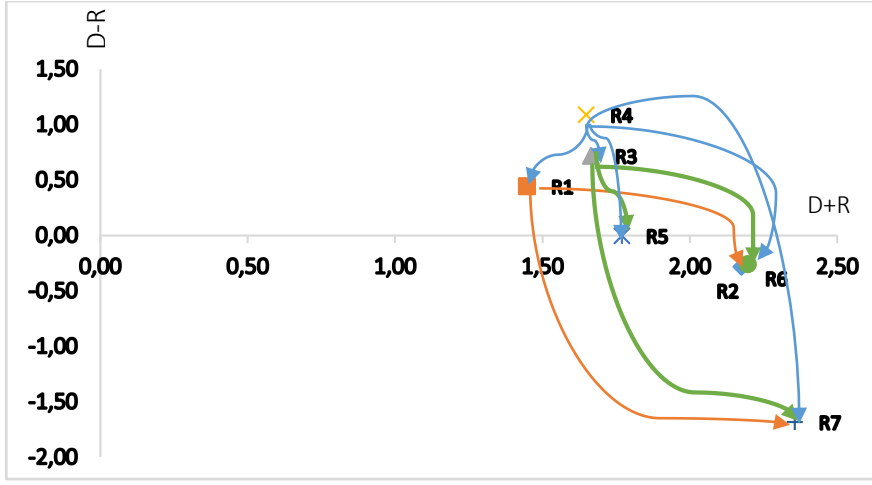
- DEMATEL, Gri DEMATEL ve Bulanık DEMATEL'e göre R_4 - doğal afetler etkileyen grupta yer almıştır.
- R_1 - arıza ve R_3 - küresel tehditler, DEMATEL ve Gri DEMATEL'e göre her eşik değeri için etkileyen gruptayken; Bulanık DEMATEL'de 0,726 eşik değeri için etkilenen grupta, diğer eşik değerleri için etkileyen grupta yer almıştır.
- R_2 - kalite, R_5 - operatör eksikliği, R_6 - altparça eksikliği ve R_7 - makine verimsizliği tüm analizlerde etkilenen gruplarda yer almıştır.

DEMATEL, Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL için çizilen etki – yön grafikleri sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3'te verilmiştir.



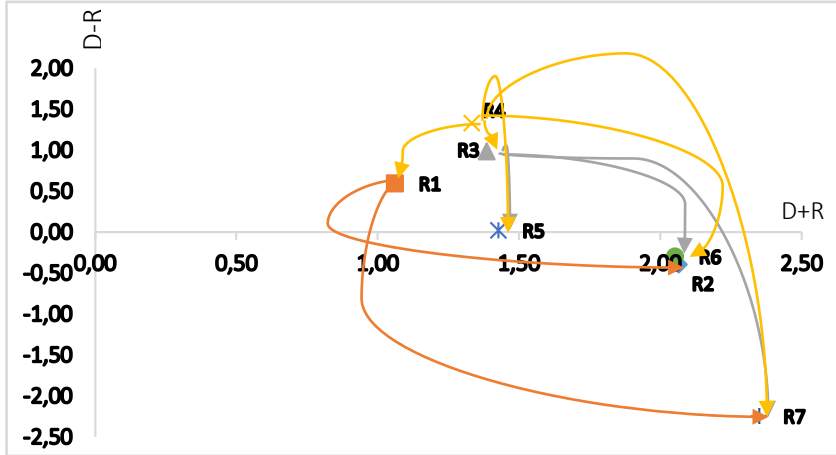
Şekil 1. DEMATEL Yöntemi Etki Yön Grafiği

Şekil 1’de gösterilen DEMATEL etki yön grafiği, Tablo 6’da yer alan toplam ilişki matrindeki tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan 0,076 eşik değerine göre çizilmiştir. Eşik değer üzerinde bulunan faktörler “etkileyen” faktör olarak diyagramda etki yönü ok ile gösterilmiştir. Örneğin; Tablo 6’da yer alan toplam ilişki matrisinde R_1 -arıza faktörünün R_2 -kalite üzerindeki etki değeri 0,19; R_1 -arıza faktörünün R_7 -makine verimsizliği üzerindeki etki değeri 0,25 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler eşik değerin üzerinde olduğundan R_1 -arıza faktörü R_2 -kalite ve R_7 -makine verimsizliği faktörlerini etkileyen konumundadır. R_3 - küresel tehditler, R_5 - operatör eksikliği, R_6 - altparça eksikliği ve R_7 - makine verimsizliği etkileyen konumundadır. R_4 - doğal afetler ise tüm faktörleri etkileyen olarak Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Bulanık DEMATEL Yöntemi Etki Yön Grafiği

Şekil 2'de gösterilen Bulanık DEMATEL etki yön grafiği, Tablo 10, Tablo 11 ve Tablo 12'de yer alan toplam ilişki matrislerindeki tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan 0,086 eşik değerine göre çizilmiştir. R_1 -arıza faktörü R_2 -kalite ve R_7 -makine verimsizliği faktörlerini etkileyen konumundadır. R_3 - küresel tehditler, R_5 - operatör eksikliği, R_6 - altparça eksikliği ve R_7 - makine verimsizliği etkileyen konumundadır. R_4 - doğal afetler ise R_1 - arıza, R_3 - küresel tehditler, R_5 - operatör eksikliği, R_6 - altparça eksikliği ve R_7 - makine verimsizliği faktörlerini etkileyen konumundadır.



Şekil 3. Gri DEMATEL Yöntemi Etki Yön Grafiği

Şekil 3'te gösterilen Gri DEMATEL etki yön grafiği, Tablo 15'te yer alan toplam ilişki matrislerindeki tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan 0,060 eşik değerine göre çizilmiştir. R_1 -arıza faktörü, R_2 -kalite ve R_7 -makine verimsizliği faktörlerini etkileyen konumundadır. R_3 - küresel tehditler, R_5 - operatör eksikliği, R_6 - altparça eksikliği ve R_7 - makine verimsizliğini etkileyen konumundadır. R_4 - doğal afetler ise R_1 - arıza, R_3 - küresel tehditler, R_5 - operatör eksikliği, R_6 - altparça eksikliği ve R_7 - makine verimsizliği faktörlerini etkileyen konumundadır.

DEMATEL, Gri DEMATEL ve Bulanık DEMATEL yöntemlerinin sonuçları Tablo 17'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 17

DEMATEL, Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL Karşılaştırılması

Kriterler	DEMATEL		Bulanık DEMATEL		Gri DEMATEL	
	W_i	Önem Sırası	W_i	Önem Sırası	W_i	Önem Sırası
R_1	0,088	7	0,109	7	0,091	7
R_2	0,152	2	0,164	3	0,177	2
R_2	0,121	5	0,126	6	0,119	5
R_4	0,147	4	0,124	5	0,114	6
R_5	0,107	6	0,133	4	0,122	4
R_6	0,149	3	0,166	2	0,176	3
R_7	0,236	1	0,178	1	0,201	1

Çalışmanın ikinci aşamasında DEMATEL, Gri DEMATEL ve Bulanık DEMATEL yöntemleri kullanılarak önem ağırlıklarındaki sıralama değişikliği incelenmiştir.

- Her üç yöntemde de önem ağırlığı en büyük olan risk faktörü " R_7 - makine verimsizliği" ve önem ağırlığı en küçük olan risk faktörü " R_1 - arıza (kalıp, makine, robot, vinç, sistem)" olarak belirlenmiştir.
- Her üç yöntemde de ilk üçte yer alan risk faktörleri " R_2 - kalite problemleri (mamul, yarımamul, altparça)", " R_6 - altparça eksikliği" ve " R_7 - makine verimsizliği"dir. Ancak; DEMATEL ve Gri DEMATEL'de sıralama R_7 - R_2 - R_6 şeklindeyken, Bulanık DEMATEL'de R_7 - R_6 - R_2 şeklindedir.
- DEMATEL yönteminde 4. sırada yer alan " R_4 - doğal afetler", Gri DEMATEL yönteminde 6. sırada yer almıştır. DEMATEL yönteminde 6. sırada yer alan " R_5 - operatör eksikliği", Gri DEMATEL yönteminde 4. sıradadır. Bunun dışında sıralamalar aynıdır.

Farklı sıralamalardan tam sıralama elde etmek için Borda sayım yöntemi uygulanmış ve Tablo 18'de gösterilmiştir.

Tablo 18
Tam Sıralama

Kriterler	DEMATEL	Bulanık DEMATEL	Gri DEMATEL	Borda Sayım Puanı	Tam Sıralama
R_1	0	0	0	0	7
R_2	5	4	5	14	2
R_3	2	1	2	5	6
R_4	3	2	1	6	5
R_5	1	3	3	7	4
R_6	4	5	4	13	3
R_7	6	6	6	18	1

Tablo 18'e göre, faktörlerin önem sırası; R_7 - R_2 - R_6 - R_5 - R_4 - R_3 - R_1 şeklindedir. Tüm yöntemlerde, R_7 için hesaplanan D_i+R_i diğer faktörlere göre yüksektir. D_i+R_i , faktörün diğer faktörlerle olan ilişkisini ifade eder. Bu nedenle bu faktörün ağırlığının yüksek hesaplandığı söylenebilir.

Yöntemlerden elde edilen sıralamaların birbirleriyle ve Borda tam sayım yönteminden elde edilen sıralamayla ilişkisini analiz etmek için Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı hesaplanmış ve Tablo 19'da gösterilmiştir. Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini bulmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu katsayı -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. İlişkinin az olduğu durumda katsayı 0'a yaklaşırken, kuvvetli bir ilişki olduğunda değer 1'e yaklaşmaktadır.

Tablo 19
Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı Testi

Kriterler	DEMATEL	Bulanık DEMATEL	Gri DEMATEL	Borda Tam Sayım
DEMATEL	1,000	,857*	,857*	,893**
Bulanık DEMATEL	,857*	1,000	,929**	,964**
Gri DEMATEL	,857*	,929**	1,000	,964**
Borda Tam Sayım	,893**	,964**	,964**	1,000

*Korelasyon 0,05 seviyesinde (2 kuyruklu) anlamlıdır.

**Korelasyon 0,01 seviyesinde (2 kuyruklu) anlamlıdır.

Tablo 19'a göre 0,05 anlamlılık derecesinde tüm sıralamalar birbiriyle ilişkilidir. En yakın ilişki 0,929 katsayı ile Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL arasındadır. Borda tam sayım yöntemiyle en yakın ilişki 0,964 katsayı ile Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL arasındadır.

6. Sonuçlar ve Tartışma

İşletmelerin temel amacı müşteri memnuniyetini sağlayarak, karlılıklarını artırmak ve varlıklarını devam ettirebilmektir. Özellikle otomotiv sanayi gibi büyük bir tedarik zinciri ağına sahip işletmelerde müşteri memnuniyeti daha çok önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, otomotiv yan sanayi olarak faaliyet gösteren bir firmada müşteride hat duruşunu etkileyerek müşteri memnuniyetini etkileyebilecek risk faktörleri DEMATEL yöntemleri ile araştırılarak gerçek bir problem ele alınmıştır. Çalışmada farklı eşik değerleri belirlenmiş ve bu eşik değerlerine göre etkileyen ve etkilenen grupların değişimi incelenmiştir. Ayrıca, DEMATEL, Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL yöntemleri kullanılarak risk faktörlerinin önem ağırlıkları ve önem sırası açısından değişimi incelenmiştir. Spearman Sıra Korelasyon Katsayısına göre elde edilen tüm sıralamalar 0,05 seviyesinde anlamlıdır. Birbirine en yakın sıralamalar Bulanık DEMATEL ve Gri DEMATEL arasındadır. Borda sayım yöntemine göre bulunan tam sıralamaya göre ağırlığı en yüksek risk faktörü "makine verimsizliği" olarak tespit edilmiştir. Diğer faktörlerle ilişkisi yüksek olan bu faktörün üzerinde önemle durulması gerekir. Ayrıca diğer faktörleri etkileme gücü yüksek olan faktörler doğal afetler, arıza ve küresel tehditler olarak tespit edilmiştir. Sektörde yer alan firmalar ülkemizde meydana gelebilecek doğal afet ve dünyada meydana gelebilecek savaş tehdidi ya da salgın hastalık gibi durumlar için önlemlerini almalıdır. Bunun yanı sıra arıza durumları için önleyici ve koruyucu bakım faaliyetleri planlanmalıdır. Elde edilen sonuçların otomotiv sektörü için yol gösterici olacağı düşünülmektedir. İlerleyen çalışmalarda DEMATEL yönteminden elde edilen neden-sonuç ilişkisi doğrultusunda kriter ağırlıkları ANP gibi kriter bağımlılıklarını dikkate alan bir ÇKKV yöntemiyle elde edilebilir ya da DEMATEL-ANP yöntemi bütünlük olarak kullanılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Burcu POLAT, problemin belirlenmesi, verilerin toplanması ve metodolojinin uygulanması; Selen AVCI AZKESKİN metodolojinin belirlenmesi, uygulanması, bilimsel yayın taraması ve makalenin yazımı; Zerrin ALADAĞ, metodolojinin belirlenmesi, makalenin yazımı ve sonuçların tartışılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Aksakal, E., ve Dağdeviren, M. (2010). ANP ve DEMATEL yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünlük bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 905-913. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/75828>
- Albayrak, Ö., ve Erkayman, B. (2018). Bulanık DEMATEL ve EDAS yöntemleri kullanılarak sporcular için akıllı bileklik seçimi. *Ergonomi*, 1(2), 92-102. Doi: <https://doi.org/10.33439/ergonomi.478303>
- Ardakani, D. A., Kiani, M., ve Babakhanifard, M. S. (basım aşamasında). A Fuzzy DEMATEL-FCM approach for analyzing the enablers of the circular economy and Industry 4.0 in the supply chain. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. Doi: <https://doi.org/10.1002/csr.2857>
- Asad, M. M., Mohammadi, V., ve Shirani, M. (2016). Modeling flexibility capabilities of IT-based supply chain, using a grey-based DEMATEL method. *Procedia Economics and Finance*, 36, 220-231. Doi: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30033-8](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30033-8)
- Bali, Ö., Tutun, S., Pala, A., ve Çörekçi, C. (2014). A MCDM approach with Fuzzy DEMATEL and Fuzzy TOPSIS for 3 PL provider selection. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 32, 222-239. Erişim adresi: <https://eds.yildiz.edu.tr/ArticleContent/Journal/sigma/Volumes/2014/Issues/1/YTUJENS-2014-32-2.566.pdf>
- Burhan, M. E. (2018). *DEMATEL temeline dayanan gri kalite fonksiyon geçirimi yaklaşımıyla ürün analizi* (Yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/274571/yok_AcikBilim_10203541.pdf?sequence=-1
- Chirra, S., ve Kumar, D. (2018). Evaluation of supply chain flexibility in automobile industry with fuzzy DEMATEL approach. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 19(4), 305-319. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40171-018-0195-7>
- Can, G. F., ve Delice, E. K. (2019). An advanced human error assessment approach: HEART and AV-DEMATEL. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 30(1), 29-49. Doi: <https://doi.org/10.1002/hfm.20819>
- Çakır, E., ve Kısa, A. C. G. (2020). Bütünlük DEMATEL-COPRAS yöntemi ile stajyer seçimi: bir lojistik firmasında uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi*

Sosyal Bilimler Dergisi, 65, 107-124. Erişim adresi:
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/956644>

Çerçi, F., ve Çınar, G. (2024). İncir Üretiminde Risk Kaynakları, Aydın ili örneği. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 30(1), 27-36. Erişim adresi:
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3503188>

Dalay, M., ve Sarı, K. (2022). Tedarikçi Seçiminde Yeşil Kriterin Öneminin Araştırılması: Türk Gıda Sektörü Örneği. *Endüstri Mühendisliği*, 33(3), 500-513. Doi: <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1152540>

Debnath, B., Taha, M. R., Siraj, M. T., Jahin, M. F., Ovi, S. I., Bari, A. B. M. M., Islam, A. R. M. T., ve Raihan, A. (2024). A grey approach to assess the challenges to adopting sustainable production practices in the apparel manufacturing industry: Implications for sustainability. *Results in Engineering*, 22, 102006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102006>

Delice, E. K., ve Zegerek, S. (2016). Ranking occupational risk levels of emergency departments using a new fuzzy MCDM model: A case study in Turkey. *Appl. Math. Inf. Sci*, 10(6), 2345-2356. Doi: <http://doi.org/10.18576/amis/100638>

Düzdar, İ., Beşbaş, Z., ve Peker, U. Ö. (2024). Dijital Dönüşüm Endeksi Parametrelerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 8(1), 143-153. Doi: <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1321818>

Erdal, H. (2019). İş sağlığı ve güvenliği için DEMATEL-ARAS tabanlı risk değerlendirme metodolojisi ve bir uygulama. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(2), 1831-1853. Doi: <https://doi.org/10.33206/mjss.465681>

Giri, B. C., Molla, M. U., ve Biswas, P. (2022). Pythagorean fuzzy DEMATEL method for supplier selection in sustainable supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 193, 116396. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116396>

Govindan, K., Khodaverdi, R., ve Vafadarnikjoo, A. (2016). A grey DEMATEL approach to develop third-party logistics provider selection criteria. *Industrial Management & Data Systems*, 116(4), 690-722. Doi: <https://doi.org/10.1108/IMDS-05-2015-0180>

Goyal, S., Goel, S., ve Agarwal, V. (2022). *Analysing Green Aspects in Lean Manufacturing for Textile Industry Using Grey DEMATEL Approach*. In: Mathiyazhagan, K., Vimal, K.E.K., Kumar, H., Ramesh, A., Agarwal, V. (eds) *Lean and Green Manufacturing. Management and Industrial Engineering*. Singapore: Springer, 157-175. Doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-5551-7_9

Güler, E., Avcı, S., ve Aladağ, Z. DEMATEL-SWARA yöntemleri ile geçici barınma alanlarının seçimine etki eden kriterlerin değerlendirilmesi. *Uluslararası Batı*

Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4(2), 57-74. Erişim adresi : <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2313673>

- Gürbüz, F., ve Çavdarıcı, S. (2018). Geri dönüşüm sektörüne ilişkin sorun alanlarının DEMATEL ve Gri DEMATEL yöntemiyle değerlendirilmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 285-301. Doi: <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.338350>
- Haleem, A., Khan, S., ve Khan, M. I. (2019). Traceability implementation in food supply chain: A grey-DEMATEL approach. *Information Processing in Agriculture*, 6(3), 335-348. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.01.003>
- Jalhoom, R. J. K., ve Mahjoob, A. M. R. (2024). An MCDM approach for evaluating construction-related risks using a combined fuzzy grey DEMATEL method. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(2), 13572-13577. Doi: <https://doi.org/10.48084/etasr.6959>
- Kabadayı, N., ve Dağ, S. (2017). Bulanık DEMATEL ve Bulanık PROMETHEE yöntemleri ile kablo üretiminde makine seçimi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(14), 239-260. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/400358>
- Kabadayı, N., ve Dağ, S. (2020). DEMATEL ve ELECTRE yöntemi ile tedarik zincirinde bayi performans değerlendirmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 241-253. Doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2019.39214>
- Khan, S., Haleem, A., ve Khan, M. I. (2024). Enablers to implement circular initiatives in the supply chain: a grey DEMATEL method. *Global Business Review*, 25(1), 68-84. Doi: <https://doi.org/10.1177/09721509209294>.
- Khatun, M., Wagner, F., Jung, R., ve Glaß, M. (2023). An application of DEMATEL and fuzzy DEMATEL to evaluate the interaction of safety management system and cybersecurity management system in automated vehicles. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 124, 106566. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106566>
- Khompatraporn, C., ve Somboonwivat, T. (2017). Causal factor relations of supply chain competitiveness via fuzzy DEMATEL method for Thai automotive industry. *Production Planning & Control*, 28(6-8), 538-551. Doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1309713>
- Kirkire, M. S., ve Rane, S. B. (2017). Evaluation of success factors for medical device development using grey DEMATEL approach. *Journal of Modelling in Management*, 12(2), 204-223. Doi: <https://doi.org/10.1108/JM2-09-2015-0062>
- Koç, E. (2019). Uluslararası tedarikçi seçim probleminde Bulanık DEMATEL yönteminin kullanımı. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(17), 339-356. Erişim adresi: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=778610>

- Koçak, A., ve Diyadin, A. (2018). Sanayi 4.0 geçiş süreçlerinde kritik başarı faktörlerinin DEMATEL yöntemi ile değerlendirilmesi. *Ege Akademik Bakış*, 18(1), 107-120. Doi: <https://doi.org/10.21121/eab.2018132203>
- Komsiyah, S., ve Balqis, D. A. (2023). Analysis of decision support system for determining industrial sub-district using DEMATEL-MABAC methods. *Procedia Computer Science*, 216, 499-509. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.162>
- Kumar Singh, R., ve Modgil, S. (2023). Assessment of lean supply chain practices in Indian automotive industry. *Global Business Review*, 24(1), 68-105. Doi: <https://doi.org/10.1177/09721509198902>
- Lin, K. P., Tseng, M. L., ve Pai, P. F. (2018). Sustainable supply chain management using approximate fuzzy DEMATEL method. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 134-142. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.017>
- Muhammad, M. N., ve Cavus, N. (2017). Fuzzy DEMATEL method for identifying LMS evaluation criteria. *Procedia computer science*, 120, 742-749. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106566>
- Mzougui, I., Carpitella, S., Certa, A., El Felsoufi, Z., ve Izquierdo, J. (2020). Assessing supply chain risks in the automotive industry through a modified MCDM-based FMECA. *Processes*, 8(5), 579. Doi: <https://doi.org/10.3390/pr8050579>
- Özcan, T., ve Tüysüz, F. (2016). Modified grey relational analysis integrated with grey DEMATEL approach for the performance evaluation of retail stores. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(02), 353-386. Doi: <https://doi.org/10.1142/S0219622016500073>
- Özdağoğlu, A., Keleş, M. K., ve Eren, F. Y. (2019). Sağlık işletmelerinde nefelometre cihazı alternatiflerinin değerlendirilmesi DEMATEL-MULTIMOORA bütünlük yaklaşımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 20(2), 275-299. Doi: <https://doi.org/10.24889/ifede.571205>
- Özdağoğlu, A., Keleş, M. K., ve Işıldak, B. (2021). Havalimanlarının Bulanık DEMATEL ve MABAC yöntemleri ile sıralanması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 46-67. Doi: <https://doi.org/10.25287/ohuiibf.697259>
- Öztürk, Y., Yazgan, E., ve Delice, E. K. (2021). Uçak Bakım Teknisyenleri için DEMATEL Yöntemi ile Fiziksel İş Yükü Faktörlerinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 1447-1453. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat/issue/64234/1010051>
- Poudeh, H. D., Cheshmberah, M., Torabi, H., Gavareshki, M. H. K., ve Hosnavi, R. (2019). Determining and prioritizing the factors influencing the outsourcing of Complex Product Systems R&D projects employing ANP and grey-

- DEMATEL method (case study: Aviation Industries Organization, Iran). *Technology in society*, 56, 57-68. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.09.005>
- Prashar, A., ve Aggarwal, S. (2020). Modeling enablers of supply chain quality risk management: a grey-DEMATEL approach. *The TQM Journal*, 32(5), 1059-1076. Doi: <https://doi.org/10.1108/TQM-05-2019-0132>
- Psychogiou, E.-E., ve Tsouflias, G. T. (2024). Critical factors affecting trust in the wine supply chain in Greece: A grey DEMATEL approach. *Logistics*, 8(1), 24. Doi: <https://doi.org/10.3390/logistics8010024>
- Rajak, S., Parthiban, P., ve Dhanalakshmi, R. (2021). Analysing barriers of sustainable transportation systems in India using Grey-DEMATEL approach: A supply chain perspective. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(3), 419-432. Doi: <https://doi.org/10.1080/19397038.2021.1929553>
- Saroha, M., Garg, D., ve Luthra, S. (2022). Identification and analysis of circular supply chain management practices for sustainability: a fuzzy-DEMATEL approach. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(3), 722-747. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-11-2020-0613>
- Sathyan, R., Palanisamy, P. ve Navin M. (2022). Modelling the drivers of responsiveness of automotive supply chain using an integrated fuzzy DEMATEL-ISM approach. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*. 17(2), 209-229. Doi: <https://doi.org/10.1108/JGOSS-05-2022-0039>
- Sathyan, R., Parthiban, P., Dhanalakshmi, R., ve Minz, A. (2021). A combined big data analytics and Fuzzy DEMATEL technique to improve the responsiveness of automotive supply chains. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12, 7949-7963. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02524-8>
- Sathyan, R., Parthiban, P., Dhanalakshmi, R., ve Sachin, M. S. (2023). An integrated Fuzzy MCDM approach for modelling and prioritising the enablers of responsiveness in automotive supply chain using Fuzzy DEMATEL, Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS. *Soft Computing*, 27(1), 257-277. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07591-x>
- Si, S. L., You, X. Y., Liu, H. C., ve Zhang, P. (2018). DEMATEL technique: A systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 3696457, 1-33. Doi: <https://doi.org/10.1155/2018/3696457>
- Sharma, S. K., Routroy, S., Singh, R. K., ve Nag, U. (2024). Analysis of supply chain vulnerability factors in manufacturing enterprises: a fuzzy DEMATEL approach. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 27(5), 814-841. Doi: <https://doi.org/10.1080/13675567.2022.2083590>

- Şahin, Y., Kasap, S. S., ve Özkan, E. (2020). Müşteri İlişkileri Yönetimi Açısından Çok Kriterli Tercih Edilebilirlik Analizi: Zincir Avm Örneği. *Endüstri Mühendisliği*, 31(3), 320-336. Doi: <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.737060>
- Şen, G., Demirel, E., Avcı, S., ve Aladağ, Z. (2021). Evaluation of effective risk factors in COVID-19 mortality rate with DEMATEL method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(4), 2151-2166. Doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.749133>
- Tabariyan, H. S., ve Taghipour, M. (2023). Identifying and prioritizing supply chain risks using the ANP and DEMATEL Model Process (including case study). *Sustainable Economies*, 1(1), 1-14. Doi: <https://doi.org/10.62617/se.v1i1.29>
- Turan, H., ve Turan, G. (2019). Bulanık DEMATEL, Bulanık DELPHI ve Bulanık SAW yöntemlerine başvurarak çalışanların beklentilerini değerlendirme. *Toros Üniversitesi İİSBF Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(10), 45-76. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/746766>
- Ullah, F., Sepasgozar, S. M., Thaheem, M. J., Wang, C. C., ve Imran, M. (2021). It's all about perceptions: A DEMATEL approach to exploring user perceptions of real estate online platforms. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 4297-4317. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.023>
- Xia, X., ve Ruan, J. (2020). Analyzing barriers for developing a sustainable circular economy in agriculture in China Using Grey-DEMATEL approach. *Sustainability*, 12(16), 6358. Doi: <https://doi.org/10.3390/su12166358>
- Xia, X., Govindan, K., ve Zhu, Q. (2015). Analyzing internal barriers for automotive parts remanufacturers in China using grey-DEMATEL approach. *Journal of cleaner production*, 87, 811-825. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.044>
- Yontar, E. (2023). The role of blockchain technology in the sustainability of supply chain management: Grey based DEMATEL implementation. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 8, 100113. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2023.100113>