VERİMLİLİK DERGİSİ
JOURNAL OF PRODUCTIVITY

Dijitalleşme Uygulamalarının Performans Göstergelerine Etkisinin Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Belirlenmesi: Lojistik Hizmet İşletmeleri Örneği*

Hüseyin Balcı[1], Hasan Ayyıldız[2]

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, lojistik sektöründe dijitalleşmenin işletme performansı üzerindeki etkilerini incelemeyi ve dijital dönüşümün sektörel uyum düzeyini belirlemeyi amaçlamaktadır.

Yöntem: Veriler, anketlerle toplanmış ve çok kriterli karar verme yöntemleriyle analiz edilmiştir. Öncelikle Bulanık DEMATEL ile dijitalleşme kriterlerinin önem düzeyleri belirlenmiş, ardından bu ağırlıklar Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerinde kullanılarak alternatifler performans göstergelerine göre sıralanmıştır. Ayrıca duyarlılık analizi ile ağırlık değişimlerinin sıralamalara etkisi değerlendirilmiştir.

Bulgular: Analizler sonucunda "Nesnelerin İnterneti (IoT)" en yüksek öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. Bulanık TOPSIS sonuçları IoT'nin dijital dönüşümde belirleyici bir unsur olduğunu göstermiştir. Bulanık VIKOR analizlerinde ise "Esneklik/Şeffaflık", "Kalite" ve "Karlılık" performans açısından öne çıkan faktörlerdir. Her iki yöntemin sıralamaları tutarlılık göstermektedir. Duyarlılık analizinde, sınırlı ağırlık değişimlerinde sıralamalar sabit kalırken, büyük ağırlık farklılıklarında değişimler ortaya çıkmıştır.

Özgünlük: Çalışma, dijitalleşmenin performansa etkisini neden-sonuç ilişkileri ve alternatif sıralamaları üzerinden inceleyen bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Bulanık DEMATEL, TOPSIS ve VIKOR'un birlikte kullanımı literatürdeki bir boşluğu doldurmakta ve uygulayıcılara karar desteği sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, Tedarik Zinciri Yönetimi, Lojistik 4.0, Endüstri 4.0, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme.

JEL Kodları: M15, M11, L90, C35.

Determining the Impact of Digitalization Applications on Performance Indicators Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques: The Case of Logistics Service Providers

ABSTRACT

Purpose: This study aims to examine the effects of digitalization on business performance in the logistics sector and to determine the sectoral adaptation level of digital transformation.

Method: Data were collected through survey and analyzed using multi-criteria decision-making methods. First, the importance levels of digitalization criteria were determined through the Fuzzy DEMATEL method, and these weights were subsequently used in the Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR methods to rank the alternatives based on performance indicators. Moreover, a sensitivity analysis was conducted to evaluate the impact of weight changes on the rankings.

Findings: The analyses indicate that the "Internet of Things (IoT)" is the most important criterion. Fuzzy TOPSIS results show that IoT is a key determinant in digital transformation. Fuzzy VIKOR analyses identify "Flexibility/Transparency," "Quality," and "Profitability" as the leading performance factors. The rankings from both methods are consistent. In the sensitivity analysis, rankings remained stable under limited weight changes, while significant weight variations led to shifts in the results.

Originality: The study presents a holistic approach by examining the impact of digitalization on performance through cause–effect relationships and alternative rankings. The combined use of Fuzzy DEMATEL, TOPSIS, and VIKOR fills a gap in the literature and provides decision-support insights for practitioners.

Keywords: Digitalization, Supply Chain Management, Logistics 4.0, Industry 4.0, Fuzzy Multi-Criteria Decision Making.

JEL Codes: M15, M11, L90, C35.

---

* Bu çalışma Hüseyin Balcı tarafından Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde Prof. Dr. Hasan Ayyıldız danışmanlığında yürütülen "Lojistik Hizmet İşletmelerindeki Dijitalleşme Uygulamalarının Performans Göstergeleri Üzerine Etkisi" başlıklı Doktora Tezi'nden üretilmiştir.

[1] Karadeniz Teknik Üniversitesi, Araklı Ali Cevat Özyurt MYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Trabzon, Türkiye
[2] Karadeniz Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Trabzon, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Hüseyin Balcı, huseyinbalci@ktu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1740576
Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 11.07.2025 | Kabul / Accepted: 21.10.2025
Atıf/Cite: Balcı H. ve Ayyıldız, H. (2026). "Dijitalleşme Uygulamalarının Performans Göstergelerine Etkisinin Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Belirlenmesi: Lojistik Hizmet İşletmeleri Örneği", *Verimlilik Dergisi,* 60(1), 61-82.

EXTENDED ABSTRACT

Industry 4.0 technologies are fundamentally transforming the logistics sector by accelerating the digitalization of operational processes and substantially enhancing organizational efficiency, transparency, and decision-making capacity. Within this paradigm, technologies such as the Internet of Things (IoT), big data analytics, artificial intelligence, robotic systems, and automation have emerged as strategic enablers that redefine logistics operations. The multifaceted and intricate impact of digital transformation on organizational performance necessitates an integrated and systematic assessment. This study aims to investigate the relative importance of digital logistics criteria and their influence on key performance indicators using advanced multi-criteria decision-making (MCDM) methods.

Modern logistics organizations operate in a highly volatile environment characterized by demand fluctuations, supply chain disruptions, and rising operational costs. Digitalization is increasingly recognized as a strategic lever to mitigate these challenges. Despite this, the literature provides limited evidence on which technological and operational criteria are most decisive and how they shape performance outcomes. Addressing this gap, the primary objective of this study is to identify the critical criteria in digital logistics transformation and evaluate their relative significance across performance dimensions. Secondary objectives include comparative analysis of criterion prioritization, assessment of methodological consistency, and sensitivity testing. The central research question is: “Which digital logistics criteria are pivotal for performance optimization, and how do they impact operational and strategic outcomes?”

This study adopts a hybrid MCDM framework, integrating Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR methodologies to capture both prioritization and compromise-based evaluation. Fuzzy logic was employed to accommodate the inherent uncertainty and subjectivity in expert judgments. The empirical dataset was derived from twelve domain experts, represented using triangular fuzzy numbers. Initially, Fuzzy TOPSIS was applied to ascertain the relative importance of digitalization criteria. Subsequently, Fuzzy VIKOR was utilized to rank performance alternatives, allowing for compromise solutions where conflicting criteria exist. Methodological rigor was further reinforced through correlation analysis to evaluate inter-method consistency and sensitivity analysis to assess the robustness of rankings under varying weight scenarios.

The analysis identifies the Internet of Things (IoT) as the most influential criterion in digital logistics transformation, with its capabilities in real-time monitoring, data integration, and process optimization being particularly decisive. Fuzzy VIKOR results indicate that “Flexibility/Transparency,” “Quality,” and “Profitability” are the most critical performance dimensions. Rankings across both methods demonstrated substantial consistency, confirming the reliability of the integrated MCDM approach. Sensitivity analysis revealed that minor variations in criterion weights produced stable rankings, whereas extreme weight adjustments resulted in noticeable shifts in priority, indicating moderate model flexibility coupled with sensitivity to substantial changes. These findings underscore the strategic importance of IoT and emphasize that logistics organizations should prioritize data-driven and transparency-focused digital initiatives.

The study substantiates that IoT serves as a cornerstone in digital logistics transformation and exerts a pronounced effect on performance enhancement. Based on these insights, organizations are advised to invest in IoT-enabled systems, sensor technologies, and real-time data processing infrastructures. The prominence of flexibility and transparency highlights their role in mitigating supply chain risks and enhancing operational visibility. Key limitations include the limited expert sample and sector-specific focus, suggesting caution in generalizing the results. Future research should consider larger, cross-sector datasets and explore alternative MCDM techniques such as ARAS, COPRAS, WASPAS, and ELECTRE for comparative analysis. This research contributes to the literature by offering a comprehensive, methodologically rigorous evaluation of digital logistics criteria and provides actionable guidance for managers in shaping evidence-based digital transformation strategies.

1.GİRİŞ

Günümüzde işletmeler, lojistik yönetiminde rekabet avantajı elde edebilmek için dijitalleşmeye yönelmektedir. Dijital teknolojiler, manuel süreçlerin yavaşlığı ve verimlilik eksikliklerini ortadan kaldırarak daha hızlı, esnek ve hatasız çözümler sunmakta; bu yönüyle Lojistik 4.0 kapsamında tedarik zinciri süreçlerinde önemli bir dönüşüm sağlamaktadır. Dolayısıyla dijitalleşme, sadece operasyonel bir tercih değil, aynı zamanda işletmeler için stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir

Dijitalleşmenin tedarik zinciri süreçlerine entegrasyonu, veri toplama, işleme ve değerlendirme kabiliyetlerini geliştirerek işletmelerin karar alma süreçlerini optimize etmektedir. Bu sayede, üretimden dağıtıma ve satışa kadar birçok aşamada maliyet avantajı, zaman tasarrufu ve müşteri memnuniyetinde artış gibi olumlu etkiler gözlemlenmektedir. Ayrıca dijitalleşme; çevresel etkilerin azaltılması, e-ticaret altyapılarının gelişimi ve sürdürülebilirlik gibi alanlarda da işletmelere katkı sağlamaktadır.

Literatürden ilgili kaynaklar incelendiğinde, Lojistik 4.0 ve dijitalleşme konularında pek çok çalışma bulunmakla birlikte, tedarik zinciri süreçlerinde dijitalleşmenin işletme performansı üzerindeki etkilerini bütüncül olarak inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Zhou ve diğerleri (2015), Almanya'nın Endüstri 4.0 stratejisini ele alırken; Maslarić ve diğerleri (2016), fiziksel internetin lojistikteki etkilerini değerlendirmiştir. Görçün (2018), robotik sistemlerin lojistik süreçlerdeki yerini incelerken; Müller ve diğerleri (2018), dijitalleşmenin sürdürülebilirlik boyutunu ortaya koymuştur. Diğer yandan Edirisuriya ve diğerleri (2018), yeşil ve yalın tedarik zinciri ile dijital dönüşüm ilişkisine odaklanırken; Reaidya ve diğerleri (2024), Endüstri 4.0'ın sağladığı teknolojik entegrasyon ve görünürlük, tedarik zinciri performansını anlamlı biçimde artırdığını ortaya kayarken; Asrol (2024), Endüstri 4.0 uygulamalarının tedarik zincirinde nasıl benimsendiğini sistematik literatür taraması ile ortaya koymakta; Bielecki ve diğerleri (2024), Supply Chain 4.0" kavramını tartışmakta ve gelecekteki tedarik zincirlerinin nasıl şekilleneceğini incelemektedir. Türkiye özelinde ise Gültaş (2024), Türkiye'deki şirketlerde akıllı depo yönetiminin Lojistik 4.0 kapsamında nasıl uygulandığını incelemekte ve bibliyometrik analiz şeklinde sunmakta, Aylak ve diğerleri (2020), işletmelerin dijital dönüşüm trendlerini analiz etmiş, Büyüközkan ve Göçer (2018) ise dijital tedarik zinciri kavramını hem akademik hem endüstriyel açıdan değerlendirmiştir.

Bu literatür çalışmaları dijitalleşmenin genel faydalarına odaklanırken, spesifik performans göstergelerine olan etkilerini ortaya koyan analizlere daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Dijitalleşme uygulamalarının sektörel farklılıklar gösterdiği, dolayısıyla her işletme üzerinde benzer etkiler yaratmadığı görülmektedir. Bu nedenle, tedarik zinciri süreçlerinde dijitalleşmenin benimsenme düzeyi ve sağladığı katkıların ayrıntılı olarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, dijitalleşmenin tedarik zinciri süreçlerine etkilerini değerlendirmek amacıyla hem nitel hem nicel analizler yapılmıştır. Veri toplama aracı olarak anket yöntemi kullanılmış, sorular uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulmuştur. Elde edilen veriler, kriterlerin ağırlık derecelerini belirlemek amacıyla Bulanık DEMATEL yöntemiyle analiz edilecektir. Elde edilen bu ağırlık değerleri, işletmelerin dijital tedarik zinciri eğilimleri doğrultusunda ulaşmayı hedeflediği öncelikleri belirlemek amacıyla Bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirme yapılarak işletmelerin dijitalleşme sürecinde hangi faktörlere öncelik vermesi gerektiği somut olarak ortaya konulacaktır. Son olarak, Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS yöntem çözümleme sonucu elde edilen verilerin örtüşüp örtüşmediği test edilecektir.

Bu çalışma lojistik sektöründeki dijital dönüşüme dair hem teorik hem de uygulamalı katkılar sunmayı amaçlamakta; sektör paydaşlarının dijitalleşme trendlerini daha doğru anlamaları ve stratejik planlarını buna göre şekillendirmeleri için yol gösterici bir nitelik taşımaktadır.

Bu doğrultuda çalışmanın yapısı şu şekilde oluşturulmuştur: Birinci bölümde araştırmanın kavramsal çerçevesi ve problem tanımı sunulmaktadır. İkinci bölümde, çalışmada kullanılan yöntemlere ilişkin teknik altyapı açıklanmakta olup sırasıyla Bulanık Mantık, Bulanık DEMATEL, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerine yer verilmektedir. Üçüncü bölümde araştırmanın ön çalışması, uygulama aşamaları ve çözümlemeleri sunulmakta; bu kapsamda Bulanık DEMATEL, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR analiz sonuçlarının yanı sıra duyarlılık analizine ilişkin bulgular detaylandırılmaktadır. Dördüncü bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılmakta ve uygulayıcılara yönelik öneriler sunulmaktadır.

2.MATERYAL ve YÖNTEM

Küresel jeopolitik belirsizlikler, ekonomik dalgalanmalar ve teknolojik dönüşümler, stratejik sektörlerde dijitalleşmeyi kaçınılmaz hale getirmiştir. Özellikle lojistik sektörü, dijital teknolojilerin en yoğun biçimde dönüştürdüğü alanlardan biri olup, bu dönüşüm "Lojistik 4.0" kavramı çerçevesinde anlam kazanmaktadır. Bu bağlamda araştırmanın temel amacı, Lojistik 4.0 kapsamında dijitalleşme uygulamalarının tedarik zinciri süreçleri üzerindeki etkilerini çok boyutlu bir şekilde analiz etmektir. Otomasyon, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri, artırılmış gerçeklik ve yapay zekâ gibi teknolojilerin lojistik faaliyetlerde kullanımının;

operasyonel verimlilik, maliyet avantajı, müşteri memnuniyeti ve rekabetçilik gibi performans göstergelerine etkisi değerlendirilmektedir.

Araştırma, lojistik hizmet sunan işletmelerin dijitalleşme yoluyla stratejik avantaj elde etme süreçlerini kavramsal ve deneysel düzeyde ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda, dijital teknolojilerin iş süreçlerine entegrasyonunun işletme performansına olan katkısı deneysel bulgularla desteklenerek açıklanmaktadır.

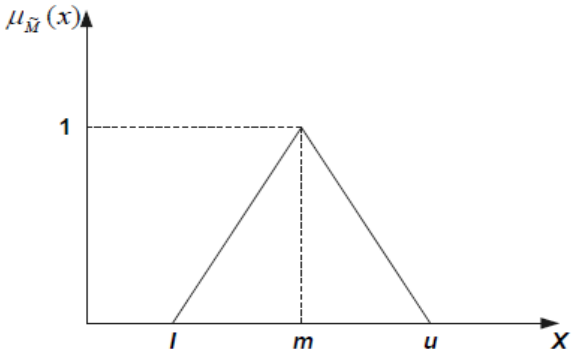
Bu çalışma, Türkiye'nin sanayi ve lojistik açıdan yoğun faaliyet gösterdiği üç büyük il olan İstanbul, Bursa ve Kocaeli'de faaliyet gösteren lojistik ve liman işletmelerini kapsamaktadır. Evren, UTİKAD'a üye 535 lojistik işletme ile TÜRKLİM'e üye 44 liman işletmesi olmak üzere toplam 579 işletmeden oluşmaktadır. Araştırma, bu işletmelerin Lojistik 4.0 uygulamalarını ne ölçüde benimsediğini ve bu uygulamaların iş performansına etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada, dijitalleşme bağlamında belirlenen altı temel uygulama alanı (artırılmış gerçeklik, bulut bilişim, nesnelerin interneti, robotik/sensör teknolojileri, insansız araçlar, yazılım/program kullanımı) ile bu teknolojilerin katkı sağladığı performans göstergeleri (hız, kârlılık, akıllılık, esneklik/şeffaflık, ölçülebilirlik, kalite) analiz kapsamına alınmıştır. Araştırma hem sektörel bir değerlendirme yapmakta hem de dijital dönüşümün lojistik faaliyetlerdeki somut etkilerine dair stratejik çıkarımlar sunmaktadır.

Verilerin analizinde ÇKKV yaklaşımları kapsamında bulanık mantık temelli yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmada yöntemsel sıralama, Bulanık DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Bulanık VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) şeklinde kurgulanmıştır. Bu tercih, metodolojik bir zorunluluktan ziyade araştırma probleminin doğasına uygun olarak bütüncül ve sistematik bir analiz çerçevesi oluşturma amacına dayanmaktadır. İlk aşamada Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak dijitalleşme kriterleri arasındaki neden-sonuç ilişkileri belirlenmiş ve kriter ağırlıkları ortaya konmuştur. Bu yöntem, kriterler arası etkileşimlerin ve nedensel ilişkilerin analizinde literatürde yaygın biçimde kullanılmaktadır (Wu ve Lee, 2007). Elde edilen ağırlıklar daha sonra Bulanık TOPSIS yöntemine aktarılmış ve bu sayede işletmelerin dijital dönüşüm sürecinde hangi faktörlere odaklanmaları gerektiği belirlenmiştir. Böylece, karar vericilere dijitalleşme stratejilerinde hangi alanlara yoğunlaşmaları gerektiği konusunda uygulamaya dönük sonuçlar sunulmaktadır. TOPSIS yöntemi alternatifleri ideal çözüme yakınlıklarına göre sıralarken, VIKOR yöntemi uzlaşmacı bir çözüm önererek çatışan kriterler arasında denge kurmaya odaklanmaktadır (Opricovic ve Tzeng, 2004). Dolayısıyla TOPSIS ve VIKOR'un birlikte uygulanması, yalnızca karşılaştırmalı analiz imkânı sunmakla kalmamış, aynı zamanda bulguların tutarlılığını ve güvenilirliğini artırmıştır. Literatürde lojistik ve tedarik zinciri yönetimi bağlamında benzer metodolojik yaklaşımların tercih edildiği çalışmalar da bulunmaktadır (Büyüközkan ve Göçer, 2018; Kumar ve diğerleri, 2020). Bu nedenle seçilen yöntem sıralaması hem literatür ile uyumlu hem de çalışmanın amaçlarına uygun bir metodolojik çerçeve sağlamaktadır.

2.1.Bulanık Mantık

Kesinliği bulunmayan yargıların ya da öznel tercihlere dayalı değerlendirmelerin modellenmesinde, bulanık küme teorisi ve buna bağlı bulanık aritmetik yöntemler etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Lin ve diğerleri 2007). Bu yaklaşım, belirsizliğin hâkim olduğu karar süreçlerinde daha duyarlı ve gerçekçi sonuçların elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Karar vericiler, her bir kriter-alternatif çifti için kendi algı ve değerlendirmelerine göre "güçlü", "daha güçlü", "zayıf", "çok zayıf" gibi dilsel ifadelerle tercihlerini ortaya koyabilirler. Söz konusu sözel değerlendirmeler, belirli bir üyelik fonksiyonu aracılığıyla sayısal değerlere dönüştürülerek karar modellerine entegre edilmektedir.



Şekil 1. Üyelik Fonksiyonu (Seçme ve diğerleri, 2009:11701)

Şekil 1'de görüldüğü üzere, M bulanık sayısı üçlü (l, m, u) formunda tanımlanmakta olup; burada *l* alt sınırı, *m* orta değeri, *u* ise üst sınırı temsil etmektedir (Seçme ve diğerleri, 2009).

2.2.Bulanık DEMATEL

Bulanık DEMATEL yöntemi, özellikle karmaşık ve çok boyutlu sorun kümelerinin analizinde etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem, birbiriyle etkileşim hâlindeki problemleri sistematik biçimde çözümlemeyi, hiyerarşik yapılar içinde uygulanabilir çözümler geliştirmeyi ve ilişkisel örüntüleri daha net biçimde ortaya koymayı hedefleyen bilimsel bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir. Yöntem, karar problemlerini oluşturan faktörleri nedensel (sebep) ve etkisel (sonuç) gruplarına ayırarak, karar vericilere daha stratejik bir planlama ve çözüm oluşturma imkânı tanır. Böylelikle sistemdeki nedensellik ilişkileri daha açık biçimde anlaşılabilir hâle gelmektedir (Li ve Tzeng, 2009).

Bulanık DEMATEL'in temel özelliği, faktörler arası etkileşim düzeylerinin çoğu zaman net bir biçimde belirlenememesi durumunda dahi, bulanık mantık yaklaşımıyla bu belirsizliğin yönetilebilmesini sağlamasıdır (Altan ve Aydın, 2015). Yöntemin en önemli avantajlarından biri, yalnızca doğrudan ilişkileri değil, aynı zamanda dolaylı ve karşılıklı ilişkileri de dikkate alan uzlaşmacı bir sebep-sonuç modelini temel almasıdır. Bu bağlamda Bulanık DEMATEL yöntemi, sistemdeki bileşenler arasında var olan çok sayıda alternatifi kapsamlı biçimde değerlendirebilme kapasitesine sahiptir. Ayrıca, kriterlerin birbirleri üzerindeki etkilerine ve önem derecelerine göre önceliklendirme yaparak; daha yüksek etki gücüne sahip olanları "sebep kriterleri", daha fazla etki altında kalanları ise "sonuç kriterleri" olarak sınıflandırılmaktadır (Tseng ve Lin, 2008).

Ayrıca bu çalışmada Bulanık DEMATEL yöntemi uygulanırken, kriterler arası ilişkiler lojistik alanında deneyime sahip 279 uzman tarafından değerlendirilmiştir. Uzmanlar, ikili karşılaştırmaları beşli dilsel ölçek üzerinden yapmış, elde edilen veriler üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Grup kararına ulaşmak için uzman görüşleri bulanık ortalama yöntemiyle birleştirilmiştir. Analizde kullanılan eşik değeri (α), literatürde yaygın kabul gören şekilde toplam ilişki matrisindeki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiş; böylece yalnızca bu eşik değerinin üzerindeki ilişkiler değerlendirmeye alınmıştır (Wu ve Lee, 2007; Li ve diğerleri, 2009).

Bulanık DEMATEL yönteminin uygulanma adımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Li & Tzeng, 2009).

1.Adım: Faktörlerin belirlenir ve bulanık skala oluşturulur. İlk aşamada, problem bağlamında etkileşimli yapıya sahip n adet faktör tanımlanır ve bu faktörler, m karar verici tarafından ikili karşılaştırmalarla değerlendirilir.

2.Adım: Bulanık direkt ilişki matrisi (Z matrisi) oluşturulur (Eşitlik 1).

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & x_{ln} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{nl} & \ldots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.Adım: Normalize edilmiş bulanık direkt ilişki matrisi oluşturulur (Eşitlik 2 ve 3).

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

$$r^{k} = 1^{max} < i < n(\sum_{j=1}^{n} l_{ij}^{k}) \quad (2)$$

$$r^{k} = 1^{max} < i < n(\sum_{j=1}^{n} u_{ij}^{k}) \quad (3)$$

4.Adım: Bulanık toplam ilişki matrisi oluşturulur (Eşitlik 4 ve 5).

$$\lim_{n\to\infty} \tilde{X} + \tilde{X}^{2} + \tilde{X}^{3} + \cdots + (\widetilde{X})^{n} \quad (4)$$

$$\tilde{T} = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{X}^{l}$$

$$\tilde{T} = \tilde{X}(I - \tilde{X})^{-1} \quad (5)$$

5.Adım: Etkileyen ve etkilenen faktörlerin belirlenir (Eşitlik 6).

$(R_1 + D_1)$ ve $(R_1 - D_1)$ (6)

6.Adım: Durulaştırma yapılır (Eşitlik 7 ve 8).

$$\tilde{R}_i^{def} + \tilde{D}_i^{def} = \frac{1}{4}(l + 2m + h) \quad (7)$$

$$\tilde{R}_i^{def} - \tilde{D}_i^{def} = \frac{1}{4}(l + 2m + h) \quad (8)$$

7.Adım: Faktör ağırlıklarının belirlenir (Eşitlik 9 ve 10).

$$w_i = \sqrt{(\tilde{R}_i^{def} + \tilde{D}_i^{def})^2 + (\tilde{R}_i^{def} - \tilde{D}_i^{def})^2} \quad (9)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\Sigma_i^n w_i} \quad (10)$$

2.3.Bulanık TOPSIS

ÇKKV yaklaşımları arasında önemli bir yere sahip olan TOPSIS yöntemi, ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiş ve zamanla çeşitli disiplinlerde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Yöntemin temel prensibi; karar alternatifleri arasından, ideal çözüme en yakın ve aynı zamanda negatif (anti-ideal) çözüme en uzak olan seçeneği belirleyerek en uygun tercihi ortaya koymaktır. Bu yaklaşım, karar vericilere, optimal çözümün belirlenmesinde hem fayda maksimize etmeyi hem de risk minimize etmeyi aynı anda dikkate alma imkânı sunar. Bu doğrultuda, ideal çözüme yakınlık ve olumsuz çözüme uzaklık temel alınarak en uygun alternatif, en iyi karar seçeneği olarak değerlendirilmektedir (Hwang ve Yoon, 1981; Özbek, 2017: 201).

Chen (2009: 72) tarafından ortaya konulan Bulanık TOPSIS yöntemi, belirsizlik içeren çok kriterli karar problemlerinde etkili bir değerlendirme aracı olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasına ilişkin temel adımlar aşağıda özetlenmiştir:

1.Adım: Kriterler seçilir.

İlk adımda, karar verme sürecinin kapsamına uygun olarak, ilgili alanda uzmanlığa sahip kişilerden oluşan bir karar verici grubunun oluşturulması sağlanır. Bu uzmanlar, değerlendirme sürecinde dikkate alınacak kriterleri, ortak fikir birliği çerçevesinde tanımlar ve yapılandırır.

2. Adım: Sözel değişkenler kullanılarak değerlendirmeler yapılır (Eşitlik 11).

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K}\left[\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \cdots \tilde{x}_{ij}^K\right] \quad (11)$$

3. Adım: Değerlendirmelerin bulanık sayılara dönüştürülür (Eşitlik 12,13,14).

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K}\left[\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \cdots \tilde{w}_j^K\right] \quad (12)$$

$$\overline{D} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix}\begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} \ldots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} \ldots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\widetilde{W} = [\tilde{w}_1, \quad \tilde{w}_2, \ldots, \quad \tilde{w}_n] \quad (14)$$

4. Adım: Karar matrislerinin oluşturulur (Eşitlik 15 veya 16).

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j}, \quad \frac{b_{ij}}{c_j}, \quad \frac{c_{ij}}{c_j}\right), j \in F, c_j^* = i^{max} c_{ij} \quad (15)$$

ya da

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \quad \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \quad \frac{a_j^-}{a_{ij}}\right), j \in M, a_j^- = i^{min} a_{ij} \quad (16)$$

5. Adım: Normalize edilmiş ağırlıklı karar matrisi oluşturulur (Eşitlik 17).

$$\tilde{V} = \left[\tilde{V}_{ij}\right]_{mxn}$$

$$\widetilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{ij}} = \tilde{\mathrm{r}}_{\mathrm{ij}} \mathrm{x} \tilde{\mathrm{w}}_{\mathrm{ij}} \quad (17)$$

6. Adım: Pozitif ve Negatif ideal çözümün belirlenir (Eşitlik 18).

$$A^+ = \left(\tilde{V}_1^+, \quad \tilde{V}_{2,\ldots,}^+ \quad \tilde{V}_n^+\right)$$

$$\mathrm{A}^- = \left(\widetilde{\mathrm{V}}_1^-, \quad \widetilde{\mathrm{V}}_{2,\ldots,}^- \quad \widetilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{n}}^-\right) \quad (18)$$

7. Adım: Uzaklıkların hesaplanır (Eşitlik 19).

$$d_i^+ = \Sigma_{j=1}^n d\left(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+\right), i = 1,2, \ldots, m$$

$$d_i^- = \Sigma_{j=1}^n d\left(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-\right), i = 1,2, \ldots, m \quad (19)$$

8. Adım: Yakınlık katsayılarının bulunur (Eşitlik 20).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \; i = 1,2,\dots,m \tag{20}$$

9. Adım: Alternatiflerin sıralanması yapılır.

10. Adım: Süreç sonuçlandırılarak değerlendirilme yapılır.

2.4.Bulanık VIKOR

Opricovic ve Tzeng (2004) tarafından geliştirilen VIKOR yöntemi, çok ölçütlü karar verme yaklaşımları arasında yer almakta olup, "çok kriterli optimizasyon" ve "uzlaşmaya dayalı çözüm" ilkelerine dayanmaktadır. Bu yöntem, alternatifler arasından en uygun olanı belirlemeyi veya karar seçeneklerini performans düzeylerine göre sıralamayı amaçlamaktadır. Temel yaklaşım, ideal çözüme en yakın olan seçeneğin belirlenmesi yoluyla karar sürecini yönlendirmektir. VIKOR, özellikle karar vericilerin birden fazla ölçüt arasında denge kurmak zorunda olduğu durumlarda, bireysel ölçütlere göre yapılan değerlendirmeleri bir bütün hâlinde ele alarak uzlaşmacı bir çözüm sunar. Bu süreçte, her bir alternatifin, tanımlanmış ideal çözüme olan yakınlığı hesaplanır ve bu mesafeler karşılaştırılarak en uygun çözüm önerilmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2004; Özbek, 2017: 217). Opricovic ve Tzeng (2004) tarafından geliştirilen Bulanık VIKOR yönteminin uygulama süreci, aşağıda adım adım özetlenmiştir:

1.Adım: Karar vericilerin sözel ifadeler ile yaptığı değerlendirmelerinin birleştirilir (Eşitlik 21).

$$\widetilde{w}_j = \frac{1}{n}\left[\sum_{e=1}^{n} \widetilde{w}_j^e\right] \; j = 1,2,\dots,k \tag{21}$$

2. Adım: Bulanık karar matrisinin oluşturulur (Eşitlik 22).

$$\begin{matrix} & C_1, & C_2, \dots & , C_k \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix}$$

$$\overline{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \tag{22}$$

i = 1, 2, ..., m; j = 1, 2, …, k

$\widetilde{W} = [\widetilde{w}_1, \quad \widetilde{w}_2, \dots, \quad \widetilde{w}_n]$ *j = 1, 2, …, k*

3. Adım: Bulanık en iyi $\widetilde{f_j^*}$ ve bulanık en kötü $\widetilde{f_j^-}$değerlerin belirlenir (Eşitlik 23).

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \tilde{x}_{ij} \quad , \qquad \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij} \tag{23}$$

4. Adım: $\widetilde{S_i}$ ve $\widetilde{R_i}$ değerlerinin hesaplanır (Eşitlik 24).

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^{k} \widetilde{w}_j \left(\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}\right)/(\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j \left[\widetilde{w}_j\left(\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}\right)/(\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)\right] \tag{24}$$

5. Adım: $\widetilde{S^*}, \widetilde{S^-}, \widetilde{R^*}, \widetilde{R^-}$ ve $\widetilde{Q_i}$ değerleri hesaplanır (Eşitlik 25).

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i \; , \qquad \tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i \; , \qquad \tilde{R}^- = \max_i R_i$$

$$\tilde{Q}_i = \text{v}\,(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*)/(\tilde{S}^- - \tilde{S}^*) + (1-v)(R_i - \tilde{R}^*)/(\tilde{R}^- - \tilde{R}^*) \tag{25}$$

6. Adım: $\widetilde{Q_i}$ durulaştırılır ve $\widetilde{Q_i}$ indeksi elde edilir (Eşitlik 26).

$$BNP_i = [(u_i - l_i) + (m_i - l_i)]/3 + l_i \; \forall_i \tag{26}$$

7. Adım: Şartları sağlayan en küçük $\widetilde{Q_i}$ değerine sahip alternatif en iyi çözüm olarak seçilir.

Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan $\tilde{Q}_i$ indeksi, VIKOR yönteminin karar mekanizmasında temel bir rol üstlenmektedir. Bu indeks, her bir alternatifin ideal çözüme olan göreli yakınlığını yansıtarak sıralamayı mümkün kılmaktadır. İndeks değeri ne kadar düşükse, ilgili alternatifin ideal çözüme o kadar yakın olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla, $\tilde{Q}_i$ değerleri arasında en küçük olan, karar verme sürecinde en uygun seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 1. Bulanık mantık üçgensel bulanık sayılar, sözel ifadeler ve puan değerleri karşılıkları

Sözel İfadeler	*Üçgensel Bulanık Sayı Karşılığı*	*Puan Karşılığı*

Çok Yüksek Etki (ÇYE)	(0,75; 1; 1)	5
Yüksek Etki (YE)	(0,50; 0,75; 1)	4
Eşit Seviye Etki (ESE)	(0,25; 0.50; 0,75)	3
Düşük Etki (DE)	(0; 0,25; 0,50)	2
Çok Düşük Etki (ÇDE)	(0; 0; 0,25)	1

Araştırmanın anket sürecinde ve elde edilen verilerin analizinde, Tablo 1'de sunulan sözel ifadeler ile bunlara karşılık gelen üçgensel bulanık sayılar ve puan değerleri temel alınarak değerlendirme yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA ÖN ÇALIŞMA ve ÇÖZÜMLEMELER

Bu çalışma, nicel araştırma yöntemine dayalı olarak yapılandırılmış ve ÇKKV tekniklerinden yararlanılarak yürütülmüştür. Araştırmanın temel amacı, lojistik sektöründe giderek önem kazanan Lojistik 4.0 uygulamalarının işletme performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Bu doğrultuda veri toplama aracı olarak yapılandırılmış anket tekniği tercih edilmiş ve anket formu, Lojistik 4.0 kapsamında öne çıkan dijitalleşme uygulamaları ile bu uygulamaların işletme performansına katkı sağlayabileceği düşünülen performans göstergeleri temel alınarak geliştirilmiştir. İlk aşamada, sektör paydaşları ve akademisyenlerden oluşan 10 kişilik uzman ekip katkılarıyla 13 değerlendirme kriteri ve 12 performans göstergesi belirlenmiştir. Ancak hazırlanan anketin pilot uygulamasında, ortalama cevaplama süresinin otuz dakikayı aşması, bazı kavramların katılımcılar tarafından yeterince anlaşılamaması ve bu durumun mantıksal tutarsızlıklara yol açması nedeniyle yeniden yapılandırma ihtiyacı doğmuştur. Uzman ekip görüşleri doğrultusunda bazı kriterler birleştirilmiş, bazıları ise tamamen çıkarılmıştır. Böylece, 6 temel Lojistik 4.0 uygulaması (artırılmış gerçeklik, bulut bilişim, nesnelerin interneti, robotik/sensör teknolojileri, insansız araçlar ve yazılım/program kullanımı) ile 6 performans göstergesi (hız, kârlılık, akıllılık, esneklik/şeffaflık, ölçülebilirlik ve kalite) nihai kriter seti olarak belirlenmiştir.

Anketin uygulanabilirliğini ve veri kalitesini artırmak amacıyla, uzman bir yazılımcı desteğiyle geliştirilen özel bir dijital anket formu kullanıma sunulmuştur. Bu form, kullanıcı dostu arayüzü sayesinde katılımcıları yönlendirme, eksik veya hatalı veri girişlerini önleme, belirli sorulara sınırlı seçim hakkı tanıma, mantıksal akış sağlama ve mükerrer katılımı engelleme gibi işlevlerle donatılmıştır. Anketin uygulanacağı hedef kitle, sektördeki bilgi düzeyi ve deneyim göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Evren, lojistik sektöründe faaliyet gösteren ve UTİKAD ile TÜRKLİM'e üye toplam 579 işletmeden oluşmakta olup, örnekleme yöntemi olarak olasılıksız örnekleme türlerinden yargısal örnekleme benimsenmiştir. Bu doğrultuda yaklaşık 3000 kişiye e-posta, sosyal medya ve yüz yüze görüşme gibi çeşitli iletişim kanalları aracılığıyla ulaşılmıştır. Veri toplama sürecinde eksik, özensiz veya mantık hatası içeren anketler kapsam dışı bırakılmış; geçerlilik ve güvenilirlik kontrollerinin ardından analizler 279 geçerli anket üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, hem veri kalitesini artırmak hem de araştırmanın metodolojik tutarlılığını sağlamak adına dikkatle yürütülmüştür.

3.1.Bulanık DEMATEL Çözüm

DEMATEL yöntemi, bir problemin etki eden kriterleri arasındaki neden-sonuç ilişkilerini ortaya koymaya olanak tanır. Bu özelliği sayesinde, diğer ÇKKV yöntemlerine kıyasla daha kapsamlı analizler ve çıkarımlar yapılmasını sağlar. Literatür taraması ve sektör temsilcilerinin görüşleri doğrultusunda, araştırmada lojistik 4.0 uygulamalarından altı ana kriter belirlenmiştir. Bu kriterler, Arttırılmış Gerçeklik (K1), Bulut Bilişim (K2), Nesnelerin İnterneti (K3), Robotik Sensör Teknolojileri (K4), İnsansız Araçlar (K5) ve Uygulama / Program Kullanımı (K6) şeklindedir. Devam eden süreçte bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak lojistik 4.0 uygulamalarının kendi içlerindeki ve birbirlerine göre önem dereceleri analiz edilmiştir. Toplam 276 katılımcıdan, Ek 1'de yer alan anket aracılığıyla Tablo 1'deki bulanık mantık temelli sözel ifadeler doğrultusunda puanlama yapmaları istenmiştir. Daha sonra, kriterlerin birbirleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla bu 276 anketin ortalama sonuçları kullanılarak Tablo 2'deki bulanık skala oluşturulmuştur.

Tablo 2. Sözel ifadeler kullanılarak yapılan değerlendirmeler

	K1	*K2*	*K3*	*K4*	*K5*	*K6*
K1	0	DE	YE	ESE	YE	DE
K2	ESE	0	YE	ESE	ESE	DE
K3	ESE	ESE	0	ESE	YE	DE
K4	YE	DE	YE	0	YE	DE
K5	YE	ESE	YE	ESE	0	DE
K6	ESE	DE	YE	DE	YE	0

İkinci aşamada, Tablo 2'de sunulan veriler doğrultusunda, Eşitlik 2 temel alınarak, Eşitlik 3 yardımıyla hesaplamalar yapılarak Tablo 3'te doğrudan ilişki matrisi yapılandırılmıştır.

Tablo 3. Bulanık Direkt İlişki Matrisi (Z Matrisi)

	K1			K2			K3			K4			K5			K6		
K1	0	0	0	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5
K2	0,25	0,5	0,75	0	0	0	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0	0,25	0,5
K3	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0	0	0	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5
K4	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1	0	0	0	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5
K5	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0	0	0	0	0,25	0,5
K6	0,25	0,5	0,75	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1	0	0	0

Üçüncü adımda, Tablo 3'te elde edilen veriler esas alınarak, Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 doğrultusunda hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak Tablo 4'te sunulan normalize edilmiş doğrudan ilişki matrisi (X matrisi) oluşturulmuştur.

Tablo 4. Normalize edilmiş bulanık direkt ilişki (X) matrisi

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	M1	M2	M3	M4	M5	M6	U1	U2	U3	U4	U5	U6
K1	0	0	0,33	0,17	0,33	0	0	0,09	0,27	0,18	0,27	0,09	0	0,13	0,25	0,19	0,25	0,13
K2	0,17	0	0,33	0,17	0,17	0	0,18	0	0,27	0,18	0,18	0,09	0,19	0	0,25	0,19	0,19	0,13
K3	0,17	0,17	0	0,17	0,33	0	0,18	0,18	0	0,18	0,27	0,09	0,19	0,19	0	0,19	0,25	0,13
K4	0,33	0	0,33	0	0,33	0	0,27	0,09	0,27	0	0,27	0,09	0,25	0,13	0,25	0	0,25	0,13
K5	0,33	0,17	0,33	0,17	0	0	0,27	0,18	0,27	0,18	0	0,09	0,25	0,19	0,25	0,19	0	0,13
K6	0,17	0	0,33	0	0,33	0	0,18	0,09	0,27	0,09	0,27	0	0,19	0,13	0,25	0,13	0,25	0

Dördüncü adımda, Tablo 4'te yer alan veriler doğrultusunda, Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve sonucunda Tablo 5'te yer alan bulanık toplam ilişki matrisi elde edilmiştir.

Tablo 5. Bulanık toplam ilişki matrisi

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	M1	M2	M3	M4	M5	M6	U1	U2	U3	U4	U5	U6
K1	1,78	0,79	2,43	1,39	2,33	0	2,93	2,01	3,64	2,51	3,5	1,42	4,15	3,25	4,89	3,72	4,73	2,72
K2	1,86	0,76	2,38	1,36	2,16	0	3,06	1,91	3,62	2,49	3,42	1,41	4,29	3,13	4,87	3,71	4,67	2,71
K3	1,91	0,91	2,17	1,38	2,31	0	3,08	2,08	3,43	2,51	3,49	1,42	4,3	3,29	4,69	3,72	4,72	2,72
K4	2,32	0,91	2,78	1,44	2,66	0	3,38	2,17	3,93	2,55	3,77	1,53	4,57	3,42	5,15	3,75	4,97	2,86
K5	2,26	1,01	2,73	1,56	2,35	0	3,36	2,22	3,9	2,69	3,53	1,52	4,56	3,46	5,13	3,9	4,76	2,85
K6	1,85	0,77	2,37	1,21	2,28	0	3,05	2	3,62	2,42	3,48	1,32	4,29	3,24	4,87	3,66	4,71	2,6

Beşinci adımda, Tablo 5'teki veriler esas alınarak gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiş; bu doğrultuda, Tablo 6'da yer alan etkileyen ve etkilenen faktörler sistematik biçimde belirlenmiş ve ilgili tablolar oluşturulmuştur.

Tablo 6. Etkileyen ve etkilenen faktörler

Di Matrisi				Ri Matrisi			
Kriterler	l	m	u	Kriterler	l	m	u
K1	8,719	16,009	23,442	K1	11,982	18,850	26,161
K2	8,521	15,908	23,375	K2	5,158	12,391	19,789
K3	8,694	16,001	23,439	K3	14,860	22,147	29,603
K4	10,107	17,317	24,729	K4	8,348	15,161	22,453
K5	9,909	17,216	24,661	K5	14,090	21,190	28,564
K6	8,488	15,900	23,371	K6	0,000	8,613	16,446

Altıncı adımda, Tablo 6'daki veriler dikkate alınarak gerekli hesaplamalar yapılmış; bu aşamada Eşitlik 9 ve Eşitlik 10 kullanılarak, Tablo 7'deki durulaştırma tabloları oluşturulmuştur.

Tablo 7. Dijitalleşme kriterleri için Bulanık DEMATEL durulaştırmış değerler

Di + Ri Matrisi					Di - Ri Matrisi				
Kriterler	l	m	u	Durulaştırma	Kriterler	l	m	u	Durulaştırma
K1	20,701	34,859	49,604	35,006	K1	-17,442	-2,842	11,460	-2,916
K2	13,679	28,299	43,164	28,360	K2	-11,268	3,517	18,216	3,496
K3	23,554	38,148	53,042	38,223	K3	-20,909	-6,145	8,579	-6,155
K4	18,456	32,478	47,182	32,648	K4	-12,345	2,156	16,381	2,087
K5	23,999	38,406	53,225	38,509	K5	-18,655	-3,974	10,571	-4,008
K6	8,488	24,512	39,817	24,332	K6	-7,959	7,287	23,371	7,497

Son olarak 7. adımda, toplam ilişki matrisinin satır ve sütun toplamları hesaplanarak D ve R değerleri bulunur. (D+R) toplamı, kriterlerin önem derecesini belirlemek için kullanılır ve bu değerden W ağırlık katsayısı hesaplanarak kriterlerin öncelik sıralaması yapılır. (D-R) farkı ise kriterlerin etki ilişkisini gösterir;

eğer (D-R) negatif ise, kriter diğer kriterlerden etkileniyor demektir, pozitif ise kriter diğerleri üzerinde etkili konumdadır.

Tablo 8'de hesaplanan (D-R) değerleri incelendiğinde, en fazla etkilenen kriterlerin sırasıyla İnsansız Araçlar (K5), Nesnelerin İnterneti (K3) ve Arttırılmış Gerçeklik (K1) olduğu görülmektedir. Diğer yandan, diğer kriterler üzerinde en yüksek etkiye sahip olan kriterler ise Uygulama/Program Kullanımı (K6), Bulut Bilişim (K2) ve Robotik Sensör Teknolojileri (K4) olarak belirlenmiştir. Özellikle Nesnelerin İnterneti (K3), -6,155 ile en fazla etkilenen kriter olarak öne çıkarken, Uygulama/Program Kullanımı (K6) 7,497 ile en fazla etkileyen kriter olarak dikkat çekmektedir. Tablo 8'de yer alan W değerleri, kriterlerin önem ağırlıklarını göstermektedir. Bu değerlere göre, İnsansız Araçlar (K5) ve Nesnelerin İnterneti (K3) eşit önem ağırlığı ile en öncelikli kriterler olarak tespit edilmiştir. Ana kriterlerin önem sıralaması ise şu şekildedir: K3 = K5 > K1 > K4 > K2 > K6.

Tablo 8. Faktör ağırlıkları

Kriterler	*D+R*	*D-R*	*w*	*W*
Arttırılmış Gerçeklik (K1)	35,006	-2,916	35,127	0,1762
Bulut Bilişim (K2)	28,360	3,496	28,575	0,1434
Nesnelerin İnterneti (K3)	38,223	-6,155	38,715	0,1943
Robotik Sensor Teknolojiler (K4)	32,648	2,087	32,715	0,1641
İnsansız Araçlar (K5)	38,509	-4,008	38,717	0,1943
Uygulama / Program Kullanımı (K6)	24,332	7,497	25,461	0,1277

3.2.Bulanık TOPSIS Çözüm

Bu çalışmada, lojistik 4.0 uygulamalarının kriter ağırlıkları Bulanık DEMATEL yöntemi ile belirlenmiş olup, ilk aşamada bu ağırlıklar kullanılarak Bulanık TOPSIS yöntemiyle işletmelerin ulaşmayı hedeflediği alternatifler üzerindeki etki dereceleri analiz edilmiştir. Bu kapsamda, literatür taraması ve sektör temsilcilerinin görüşleri doğrultusunda, dijital tedarik zincirinin başarmayı amaçladığı altı temel alternatif tespit edilmiştir: Hız (A1), Karlılık (A2), Akıllı Sistemler (A3), Esneklik/Şeffaflık (A4), Ölçülebilirlik (A5) ve Kalite (A6). Çalışmanın amacı, belirlenen kriterlerin ağırlıkları kullanılarak dijital tedarik zinciri performans göstergeleri arasında en çok hangi hedefin etkilendiğini ortaya koymaktır.

Lojistik 4.0 uygulamalarının dijital tedarik zincirinin hedefleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, Ek 1'de sunulan anket aracılığıyla katılımcılardan, Tablo 1'de yer alan bulanık mantık dilsel ifadelerine karşılık gelen puanlarla değerlendirme yapmaları istenmiştir. Ardından, ikinci aşamada kriterlerin performans göstergeleri üzerindeki etkilerini ortaya koymak için 276 anket sonucunun ortalamaları alınmış ve Eşitlik 13 kullanılarak Tablo 9'da belirtilen bulanık skala oluşturulmuştur.

Tablo 9. Sözel ifadeler kullanılarak yapılan değerlendirmeler

	A1	*A2*	*A3*	*A4*	*A5*	*A6*
K1	ESE	ESE	ESE	YE	ESE	YE
K2	ESE	YE	ESE	YE	ESE	YE
K3	YE	YE	YE	YE	ESE	YE
K4	ESE	ESE	ESE	YE	DE	YE
K5	ESE	YE	YE	YE	ESE	YE
K6	ESE	YE	YE	YE	ESE	YE

Üçüncü adımda, Tablo 9'daki veriler esas alınarak, Eşitlik 14-16 doğrultusunda gerekli işlemler gerçekleştirilmiş ve bu doğrultuda Tablo 10'da sunulan bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 10. Sözel değişkenlerin bulanık karar matrisi hali

	A1			*A2*			*A3*			*A4*			*A5*			*A6*		
K1	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
K2	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
K3	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
K4	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1
K5	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	0,75
K6	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1

Dördüncü adımda, Tablo 10'dan elde edilen bulgular esas alınarak, Eşitlik 17 ya da Eşitlik 18 doğrultusunda gerçekleştirilen işlemler sonucunda, Tablo 11'de sunulan normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 11. Normalize edilmiş karar matrisi

	A1			*A2*			*A3*			*A4*			*A5*			*A6*		
K1	0,25	0,50	0,75	0,25	0,50	0,75	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1
K2	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1
K3	0,50	0,75	1	0,50	0,75	1	0,50	0,75	1	0,50	0,75	1	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1
K4	0,25	0,50	0,75	0,25	0,50	0,75	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1	0	0,25	0,50	0,50	0,75	1
K5	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1	0,50	0,75	1	0,50	0,75	1	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	0,75
K6	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1	0,50	0,75	1	0,50	0,75	1	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1

Beşinci adımda, Tablo 11'deki veriler temel alınarak, Eşitlik 19 doğrultusunda yapılan işlemler sonucunda Tablo 12'de yer alan ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 12. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi

	A1			*A2*			*A3*			*A4*			*A5*			*A6*		
K1	0,04	0,09	0,13	0,04	0,09	0,13	0,04	0,09	0,13	0,09	0,13	0,18	0,04	0,09	0,13	0,09	0,13	0,18
K2	0,04	0,07	0,11	0,07	0,11	0,14	0,04	0,07	0,11	0,07	0,11	0,14	0,04	0,07	0,11	0,07	0,11	0,14
K3	0,10	0,15	0,19	0,10	0,15	0,19	0,10	0,15	0,19	0,10	0,15	0,19	0,05	0,10	0,15	0,10	0,15	0,19
K4	0,04	0,08	0,12	0,04	0,08	0,12	0,04	0,08	0,12	0,08	0,12	0,16	0,00	0,04	0,08	0,08	0,12	0,16
K5	0,05	0,10	0,15	0,10	0,15	0,19	0,10	0,15	0,19	0,10	0,15	0,19	0,05	0,10	0,15	0,10	0,15	0,15
K6	0,03	0,06	0,10	0,06	0,10	0,13	0,06	0,10	0,13	0,06	0,10	0,13	0,03	0,06	0,10	0,06	0,10	0,13

Altıncı adımda, Tablo 12'deki veriler esas alınarak Eşitlik 20 kullanılmış ve Tablo 13'te belirtilen bulanık pozitif ideal çözüm ile bulanık negatif ideal çözüm belirlenmiştir.

Tablo 13. Negatif ve pozitif ideal çözümün belirlenmesi

A^*	A^-
1	0
1	0
1	0
1	0
1	0
1	0

Yedinci adımda, Tablo 13'teki veriler ışığında Eşitlik 21 kullanılarak Tablo 14'te her bir alternatifin bulanık pozitif ideal çözüme olan yakınlığı ve bulanık negatif ideal çözümden uzaklığı hesaplanmıştır.

Tablo 14. Bulanık pozitif ve negatif çözüm uzaklıkları

	d^*	d^-
A1	5,484	0,572
A2	5,405	0,647
A3	5,441	0,613
A4	5,320	0,727
A5	5,593	0,462
A6	5,335	0,708

Sekizinci adımda, Tablo 14'teki veriler kullanılarak Eşitlik 22 doğrultusunda işlemler gerçekleştirilmiş ve Tablo 15'te her bir alternatifin yakınlık katsayıları hesaplanmıştır.

Tablo 15. Yakınlık katsayıları

	CC
A1	0,095
A2	0,107
A3	0,101
A4	0,120
A5	0,076
A6	0,117

Tablo 15'te sunulan yakınlık katsayıları dikkate alınarak alternatifler arasında bir sıralama yapılır ve en yüksek yakınlık katsayısına sahip olan alternatif, en uygun performans göstergesi olarak belirlenir. Yakınlık katsayısının yüksekliği, ilgili alternatifin bulanık pozitif ideal çözüme daha yakın, bulanık negatif ideal çözüme ise daha uzak olduğunu göstermektedir. Bu durum, söz konusu alternatifin değerlendirme kriterleri açısından daha dengeli ve tercih edilebilir bir performans sergilediğine işaret eder.

Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılan analiz sonucunda Tablo 16'da elde edilen bulgular doğrultusunda, alternatifler arasında Esneklik/Şeffaflık (A4), pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatif olarak öne çıkmıştır. Yakınlık katsayısı (CC) değerlerine göre yapılan sıralamada, Kalite (A6) ikinci sırada, Karlılık (A2) üçüncü sırada, Akıllı Sistemler (A3) dördüncü sırada, Hız (A1) beşinci sırada ve Ölçülebilirlik (A5) ise altıncı sırada yer almıştır. Bu sıralama, dijitalleşme kriterlerinin ağırlıkları dikkate alındığında, Esneklik/Şeffaflık kriterinin işletmeler açısından en öncelikli ve etkili performans göstergesi olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 16. Alternatif sıralanması

Bulanık Pozitif ve Negatif Çözüm Uzaklıkları					
	*d**	*d¯*		*CC*	*Sıralama*
Hız (A1)	5,484	0,572	Hız (A1)	0,095	5
Karlılık (A2)	5,405	0,647	Karlılık (A2)	0,107	3
Akıllılık (A3)	5,441	0,613	Akıllılık (A3)	0,101	4
Esneklik / Şeffaflık (A4)	5,320	0,727	Esneklik / Şeffaflık (A4)	0,120	1
Ölçülebilirlik (A5)	5,593	0,462	Ölçülebilirlik (A5)	0,076	6
Kalite (A6)	5,335	0,708	Kalite (A6)	0,117	2

3.3.Bulanık VIKOR Çözüm

Bu aşamada, Bulanık DEMATEL yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları temel alınarak, ilk olarak uygulanan Bulanık TOPSIS yöntemiyle elde edilen sonuçların doğruluğu ve tutarlılığı, ikinci bir yöntem olan Bulanık VIKOR ile test edilmiştir. Bu bağlamda, literatür taramaları ve sektör temsilcilerinin görüşleri doğrultusunda dijital tedarik zincirinin ulaşmayı hedeflediği altı temel alternatif belirlenmiştir: Hız (A1), Kârlılık (A2), Akıllı (A3), Esneklik/Şeffaflık (A4), Ölçülebilirlik (A5) ve Kalite (A6). Bu çalışma, belirlenen kriterlerin, sahip oldukları ağırlıklar doğrultusunda bu alternatiflerden hangisi üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğunu analiz etmeyi amaçlamaktadır.

Lojistik 4.0 uygulamalarının, dijital tedarik zinciri hedefleri üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere, Ek 1'de sunulan anket formu aracılığıyla katılımcılardan, Tablo 1'deki bulanık mantık temelli sözel ifadelerle uyumlu puanlamalarla değerlendirme yapmaları istenmiştir. Bu sürecin ilk adımında, kriterlerin alternatifler üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla toplanan 276 adet anket verisinin ortalamaları hesaplanmış, elde edilen veriler (23) ve (24) numaralı denklemler aracılığıyla işlenerek Tablo 17'de karar vericilere ait bulanık karar matrisinin oluşturulması sağlanmıştır.

Tablo 17. Sözel değerlendirme matrisi

	A1	*A2*	*A3*	*A4*	*A5*	*A6*
K1	ESE	ESE	ESE	YE	ESE	YE
K2	ESE	YE	ESE	YE	ESE	YE
K3	YE	YE	YE	YE	ESE	YE
K4	ESE	ESE	ESE	YE	DE	YE
K5	ESE	YE	YE	YE	ESE	YE
K6	ESE	YE	YE	YE	ESE	YE

İkinci adımda, Tablo 17'deki bulgular esas alınarak Eşitlik 25 uygulanmış ve sonuç olarak Tablo 18'deki bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 18. Bulanık karar matrisi

	A1			*A2*			*A3*			*A4*			*A5*			*A6*		
K1	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
K2	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
K3	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
K4	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1
K5	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	0,75
K6	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1

Üçüncü adımda, Tablo 18'deki bulgular temel alınarak Eşitlik 26 uygulanmış ve sonuç olarak Tablo 19'daki bulanık en iyi $\tilde{f}_j^*$ ve bulanık en kötü $\tilde{f}_j^-$ değerler matrisi oluşturulmuştur. Dördüncü adımda, Tablo 19'daki bulgular kullanılarak Eşitlik 27 uygulanmış ve Tablo 20'de alternatiflerin bulanık $\tilde{S}_i$ ve $\tilde{R}_i$ değerler matrisi oluşturulmuştur. Beşinci adımda, Tablo 20'deki bulgular esas alınarak Eşitlik 28 uygulanmış ve Tablo 21'de $\tilde{S}^*, \tilde{S}^-, \tilde{R}^*, \tilde{R}^-$ ve $\tilde{Q}_i$ değerleri matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 19. En iyi ($\tilde{f}_j^*$) ve en kötü ($\tilde{f}_j^-$) değerleri

	f+			*f-*		
C1	0,50	0,75	1,00	0,25	0,50	0,75
C2	0,50	0,75	1,00	0,25	0,50	0,75
C3	0,50	0,75	1,00	0,25	0,50	0,75
C4	0,50	0,75	1,00	0,00	0,25	0,50
C5	0,50	0,75	1,00	0,25	0,50	0,75
C6	0,50	0,75	1,00	0,25	0,50	0,75

Tablo 20. Alternatif bulanık $\tilde{S}_i$ ve $\tilde{R}_i$ değerleri

	S			*Ort.*	*R*			*Ort.*
A1	0,724	0,724	0,724	0,724	0,194	0,194	0,194	0,194
A2	0,258	0,258	0,258	0,258	0,176	0,176	0,176	0,176
A3	0,402	0,402	0,402	0,402	0,176	0,176	0,176	0,176
A4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A5	1,000	1,000	1,000	1,000	0,194	0,194	0,194	0,194
A6	0,0000	0,0000	0,1943	0,065	0,0000	0,0000	0,1943	0,065

Tablo 21: $\tilde{S}^*, \tilde{S}^-, \tilde{R}^*, \tilde{R}^-$ değerleri

	l	m	u
S+	0,000	0,000	0,000
S-	1,000	1,000	1,000
R+	0,000	0,000	0,000
R-	0,194	0,194	0,194

Altıncı adımda, Tablo 21'deki veriler kullanılarak Eşitlik 29 uygulanmış ve üçgensel bulanık sayı olan $\tilde{Q}_i$ durulaştırılarak $\tilde{Q}_i$ indeksi elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, Tablo 22'de alternatiflerin Q değerleri matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 22. Alternatiflerin Q sonuçları

	Q			*Ort.*
A1	0,862	0,862	0,862	0,862
A2	0,583	0,583	0,583	0,583
A3	0,654	0,654	0,654	0,654
A4	0,000	0,000	0,000	0,000
A5	1,000	1,000	1,000	1,000
A6	0,000	0,000	0,597	0,199

Yedinci adımda, uzlaşık çözüm kümesinde belirtilen koşulları karşılayan ve en küçük $\tilde{Q}_i$ değerine sahip alternatif, en iyi çözüm olarak belirlenir.

Tablo 23. Q, S, R değerleri ve alternatiflerin sıralanma matrisi

	Q		*S*		*R*	
	İndeks	*Sıra*	*İndeks*	*Sıra*	*İndeks*	*Sıra*
A1	0,862	5	0,724	5	0,194	5
A2	0,583	3	0,258	3	0,176	3
A3	0,654	4	0,402	4	0,176	3
A4	0,000	1	0,000	1	0,000	1
A5	1,000	6	1,000	6	0,194	5
A6	0,199	2	0,065	2	0,065	2

Tablo 23'te yer alan bulgular doğrultusunda, Q indeksi açısından en düşük değere sahip olan Esneklik/Şeffaflık (A4) alternatifi, en uygun seçenek olarak öne çıkmaktadır. Benzer şekilde, S ve R indekslerinin incelenmesi sonucunda da, A4 alternatifinin her iki ölçütte de en düşük değerlere sahip olduğu ve bu nedenle sıralamada ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Böylelikle, tüm değerlendirme kriterlerine göre A4 alternatifi tutarlı biçimde tercih edilen seçenek olarak belirlenmiştir. İlgili sıralamalar, Tablo 24'te bütünsel biçimde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 24. Qi, Si ve Ri alternatif sıralama (Büyükten küçüğe)

Qi	A4 >A6 >A2 > A3 >A1> A5
Si	A4 >A6 >A2 > A3 >A1> A5
Ri	A4 >A6 >A2 = A3 >A1= A5

3.4.Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, ÇKKV yöntemlerinin ayrılmaz bir bileşeni olarak literatürde geniş kabul görmektedir. ÇKKV yaklaşımlarının ürettiği sonuçlar büyük ölçüde kullanılan girdi parametrelerine bağlı olduğundan, bu parametrelerdeki değişimlerin model sonuçlarına etkisini analiz etmek, karar süreçlerinin güvenilirliğini ve sağlamlığını değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir (Demir ve diğerleri, 2024). Özellikle hibrit karar verme yöntemlerinin, parametre değişkenliklerine karşı gösterdiği esneklik ve uyarlanabilirlik düzeyini ortaya koymak için duyarlılık analizi vazgeçilmez bir araçtır. Bu tür analizler, karar modellerinin hem esnekliğini hem de dayanıklılığını daha görünür kılarak, karar vericilere daha güçlü bir değerlendirme zemini sunmaktadır.

Bu doğrultuda, çalışmada kullanılan kriterlerin ağırlıklarındaki değişimlerin, alternatiflerin sıralaması üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz kapsamında, iki farklı senaryo yapısına dayanılarak kriter ağırlıkları yeniden düzenlenmiş ve bu yeni ağırlık setleri doğrultusunda alternatifler hem Bulanık TOPSIS hem de Bulanık VIKOR yöntemleriyle tekrar değerlendirilmiştir.

Mevcut durum (MD) ile dört farklı senaryoya (S1, S2, S3 ve S4) ilişkin değerlendirme kriterlerinin ağırlık değerleri Tablo 25'te sunulmuştur. Bu tabloda, Bulanık DEMATEL yöntemiyle elde edilen mevcut ağırlıkların yanı sıra; tüm kriterlerin eşit değerlendirildiği S1 senaryosu, en yüksek ve en düşük ağırlıklı kriterlerin yer değiştirdiği S2 senaryosu, yalnızca en düşük ağırlığa sahip kriterin ağırlığının 1 yapıldığı ve diğerlerinin 0 kabul edildiği S3 senaryosu ile yalnızca en yüksek ağırlığa sahip kriterin dikkate alındığı S4 senaryosu yer almaktadır.

Gerçekleştirilen bu analiz, kriter ağırlıklarındaki değişimlerin karar modeli üzerindeki etkilerini görünür kılarak, karar süreçlerinin ne denli sağlam ve esnek olduğunu test etme imkânı sağlamaktadır. Bu sayede, geliştirilen karar modellerinin güvenilirliği artırılırken, farklı koşullara adapte olabilme kabiliyeti de daha somut biçimde değerlendirilebilmektedir.

Tablo 25. Duyarlılık analizi kapsamında kullanılacak kriter ağırlıkları

	K1	*K2*	*K3*	*K4*	*K5*	*K6*
MD	0,1762	0,1434	0,1942	0,1641	0,1943	0,1277
S1	0,1666	0,1666	0,1666	0,1666	0,1666	0,1666
S2	0,1762	0,1434	0,1942	0,1641	0,1277	0,1943
S3	0	0	0	0	0	1
S4	0	0	0	0	1	0

Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak dört farklı senaryo kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucunda, alternatiflerin sıralamalarında meydana gelen değişimler Tablo 26'da ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Bu tablo, senaryolara bağlı olarak kriter ağırlıklarının nasıl farklılaştığını ve bu farklılıkların alternatifler üzerindeki etkisini ortaya koyarak karar verme sürecine ilişkin önemli içgörüler sağlamaktadır.

Tablo 26. Bulanık TOPSIS duyarlılık analizi sonuçları

	MD Sıralama		*S-1 Sıralama*		*S-2 Sıralama*		*S-3 Sıralama*		*S-4 Sıralama*	
Alternatifler	*CC*	*Sıra*	*CC*	*Sıra*	*CC*	*Sıra*	*CC*	*Sıra*	*CC*	*Sıra*
Hız (A1)	0,095	5	0,093	5	0,095	5	0,089	5	0,089	5
Karlılık (A2)	0,107	3	0,108	3	0,107	3	0,127	1	0,127	1
Akıllılık (A3)	0,101	4	0,102	4	0,101	4	0,127	1	0,127	1
Esneklik/Şeffaflık (A4)	0,120	1	0,121	1	0,120	1	0,127	1	0,127	1
Ölçülebilirlik (A5)	0,076	6	0,077	6	0,076	6	0,089	5	0,089	5
Kalite (A6)	0,117	2	0,119	2	0,118	2	0,127	1	0,112	4

Bulanık TOPSIS yöntemine ilişkin gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonucunda, Tablo 26'da sunulan veriler incelendiğinde; tüm kriterlerin eşit ağırlık aldığı Senaryo 1'de, ağırlık değişimlerinin alternatiflerin sıralamasını anlamlı biçimde etkilemediği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek ağırlığa sahip olan "İnsansız Araçlar" (K5) kriteri ile en düşük ağırlığa sahip "Uygulama / Program Kullanımı" (K6) kriterlerinin ağırlıklarının yer değiştirdiği Senaryo 2'de de alternatif sıralamalarında kayda değer bir değişiklik görülmemiştir.

Senaryolar S1 ve S2'deki bulgular, kriter ağırlıklarında sınırlı düzeyde yapılan değişimlerin performans göstergeleri sıralamasına önemli bir etkisi olmadığını göstermesi sebebiyle, daha uç değerlerin test edildiği S3 ve S4 senaryoları tasarlanmıştır. Bu iki senaryoda, kriter ağırlıklarında radikal değişikliklerin sıralamaya etkisi incelenmiştir: S3'te en düşük ağırlıklı kriterin ağırlığı 1 olarak belirlenirken diğerlerinin ağırlığı sıfırlanmış; S4'te ise en yüksek ağırlıklı kriterin ağırlığı 1 yapılmış ve diğer kriterlerin ağırlıkları sıfıra çekilmiştir.

Analiz sonuçları, S3 ve S4 senaryolarında kriter ağırlıklarındaki bu önemli değişimlerin alternatiflerin sıralamalarında farklılıklara yol açtığını ortaya koymuştur. Bu durum, performans göstergelerinin aşırı ağırlık değişikliklerine karşı duyarlı olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, çalışmada Bulanık TOPSIS yöntemine paralel olarak kullanılan Bulanık VIKOR yöntemi için de duyarlılık analizi gerçekleştirilmiş ve mevcut durum ile S1, S2, S3 ve S4 senaryoları kapsamındaki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dört farklı senaryo kapsamında Bulanık VIKOR yöntemiyle elde edilen alternatif sıralamalarındaki değişiklikler ise Tablo 27'de detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 27. Bulanık VIKOR Duyarlılık Analizi Sonuçları

	MD Sıralama		*S-1 Sıralama*		*S-2 Sıralama*		*S-3 Sıralama*		*S-4 Sıralama*	
Alternatifler	*Q*	*Sıra*	*Q*	*Sıra*	*Q*	*Sıra*	*Q*	*Sıra*	*Q*	*Sıra*
Hız (A1)	0,862	5	0,875	5	0,862	5	1,00	5	1,00	5
Karlılık (A2)	0,583	3	0,625	3	0,582	3	0,00	1	0,00	1
Akıllılık (A3)	0,654	4	0,708	4	0,654	4	0,00	1	0,00	1
Esneklik/Şeffaflık (A4)	0,000	1	0,000	1	0,000	1	0,00	1	0,00	1
Ölçülebilirlik (A5)	1,000	6	1,000	6	1,000	6	1.00	5	1,00	5
Kalite (A6)	0,199	2	0,194	2	0,131	2	0,00	1	0,33	4

Bulanık VIKOR yöntemine yönelik yapılan duyarlılık analizine ilişkin Tablo 27 incelendiğinde, Bulanık TOPSIS yönteminde gözlemlenen sonuçlara paralel olarak, tüm kriterlerin eşit ağırlıkta değerlendirildiği Senaryo 1 kapsamında alternatif sıralamalarında anlamlı bir değişiklik yaşanmadığı görülmektedir. Benzer biçimde, en yüksek ağırlığa sahip olan "İnsansız Araçlar" (K5) ile en düşük ağırlıklı "Uygulama / Program Kullanımı" (K6) kriterlerinin ağırlıklarının yer değiştirdiği Senaryo 2'de de alternatiflerin sıralamalarında dikkate değer bir duyarlılık tespit edilmemiştir.

Bulanık VIKOR yöntemiyle yapılan duyarlılık analizinde, sınırlı ağırlık değişikliklerini içeren S1 ve S2 senaryolarında, kriterlerin ağırlıklarında yapılan değişimlerin performans göstergesi sıralamalarında anlamlı bir farklılık yaratmadığı görülmüştür. Bu durum, sistemin küçük ölçekli ağırlık dalgalanmalarına karşı istikrarlı olduğunu göstermektedir. Ancak, yöntemsel duyarlılığın sınırlarını test etmek amacıyla kurgulanan S3 ve S4 senaryolarında durum değişmiştir. S3 senaryosunda, en düşük ağırlığa sahip kriterin ağırlığı tamamen öncelikli (1) hale getirilmiş, diğer tüm kriterler dışlanmıştır. Benzer biçimde, S4 senaryosunda yalnızca en yüksek ağırlıklı kriter aktif olarak değerlendirmeye alınmıştır. Her iki uç senaryoda da alternatif sıralamalarında belirgin değişiklikler meydana gelmiştir.

Genel olarak bakıldığında Tablo 26 ve Tablo 27'de sunulan duyarlılık analizi sonuçları, kriter ağırlıklarındaki değişimlerin alternatif sıralamaları üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı biçimde ortaya koymaktadır. Bulgular, özellikle S1 ve S2 senaryolarında sıralamaların büyük ölçüde değişmemesi nedeniyle modelin küçük ölçekli ağırlık farklılıklarına karşı istikrarlı olduğunu göstermektedir. Buna karşın, S3 ve S4 senaryolarında ortaya çıkan sıralama değişiklikleri, belirli kriterlerin performans üzerinde baskın etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Nitekim S3 senaryosunda en düşük ağırlığa sahip kriterin (K6: Uygulama/Program Kullanımı) tek başına öne çıkarılması, özellikle Karlılık (A2) ve Akıllılık (A3) alternatiflerini üst sıralara taşımıştır. Benzer şekilde S4 senaryosunda yalnızca en yüksek ağırlıklı kriterin (K5: İnsansız Araçlar) dikkate alınması, Kalite (A6) göstergesinin sıralamadaki konumunu zayıflatırken, Esneklik/Şeffaflık (A4) kriterinin baskınlığını sürdürdüğünü ortaya koymuştur. Bu durum, dijitalleşme kriterleri arasında özellikle teknoloji odaklı unsurların ağırlıklandırılmasında yapılan radikal değişimlerin, işletmelerin performans sıralamalarını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Dolayısıyla elde edilen bulgular, modelin normal koşullar altında yüksek tutarlılık sergilediğini, ancak kritik kriterlerin ağırlıklarının aşırı değiştirilmesi durumunda sonuçların kayda değer biçimde farklılaşabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, karar vericilerin kriterler arasındaki nedensel ilişkileri dikkate alarak stratejik önceliklendirmeler yapmaları, modelin öngördüğü sıralama farklılıklarını daha iyi anlamalarını sağlayacaktır.

Bu bulgular, Bulanık VIKOR yönteminin, sınırlı ağırlık değişimlerine karşı dirençli, ancak radikal ağırlık kaymalarına duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, Bulanık TOPSIS yöntemiyle paralel sonuçlar üretilmesi, iki yöntemin de yapısal tutarlılığını ve analitik güvenilirliğini desteklemektedir. Sonuç olarak, modelin esnekliği korunmakla birlikte, karar vericilerin olağanüstü koşullarda ağırlık yapılarını dikkatle ele alması gerektiği anlaşılmaktadır.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Lojistik sektöründe dijital dönüşüm, işletmelerin rekabet avantajı elde etmesi, operasyonel süreçlerde verimlilik sağlaması ve müşteri memnuniyetini artırması açısından stratejik bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, sektördeki dijitalleşme eğilimlerini ve bu dönüşümün performans göstergelerine etkilerini ÇKKV teknikleri aracılığıyla kapsamlı şekilde analiz etmektedir.

Araştırmada ilk olarak Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak belirlenen dijitalleşme kriterlerinin birbirleri üzerindeki etki düzeyleri değerlendirilmiştir. D-R (etki – etkilenme farkı) değerleri, her bir kriterin diğer kriterleri hangi yönde ve ne düzeyde etkilediğini ortaya koymaktadır. Pozitif D-R değeri, kriterin diğerlerini olumlu etkilediğini; negatif değer ise diğer kriterlerden daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Buna göre, en fazla etkilenen kriterler sırasıyla Nesnelerin İnterneti (K3) [-6.155], İnsansız Araçlar (K5) [-4.008] ve Artırılmış Gerçeklik (K1) [-2.916] olmuştur. Diğer yandan, Uygulama/Program Kullanımı (K6) [7.497], Bulut Bilişim (K2) [3.496] ve Robotik Sensör Teknolojileri (K4) [2.087] en yüksek etki düzeyine sahip kriterler olarak öne çıkmıştır. Bu bulgular, söz konusu kriterlerin sistemde belirleyici rol oynadığını ve diğer kriterlerin performansını doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Kriterlerin göreli önem derecelerine (W değeri) bakıldığında, en yüksek ağırlıkla Nesnelerin İnterneti (K3) [W=0.1943] ve İnsansız Araçlar (K5) [W=0.1942] kriterleri öne çıkmıştır. Bunları sırasıyla Artırılmış Gerçeklik (K1) [W=0.176], Robotik Sensör Teknolojileri (K4) [W=0.164], Bulut Bilişim (K2) [W=0.143] ve Uygulama/Program Kullanımı (K6) [W=0.128] takip etmiştir. Bu analiz, dijitalleşme kriterlerinin birbiri üzerindeki etkilerini ve önem düzeylerini tanımlayarak stratejik planlama ve kaynak tahsisi süreçlerine katkı sağlamaktadır.

Bir sonraki aşamada, bu kriter ağırlıkları kullanılarak altı performans göstergesi alternatifi (Hız, Karlılık, Akıllı Teknolojiler, Esneklik/Şeffaflık, Ölçülebilirlik, Kalite) Bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmiş ve sıralanmıştır. Bu yöntemle, her alternatifin pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklığı hesaplanmış, en yüksek yakınlık katsayısına (CC) sahip olan alternatif en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Esneklik/Şeffaflık (A4) [CC=0.120] en uygun performans göstergesi olarak tanımlanmıştır. Bunu sırasıyla Kalite (A6) [CC=0.117], Karlılık (A2) [CC=0.107], Akıllı Teknolojiler (A3) [CC=0.101], Hız (A1) [CC=0.095] ve Ölçülebilirlik (A5) [CC=0.076] takip etmiştir.

Bu bulgular, dijital tedarik zinciri süreçlerinde işletmelerin öncelikli olarak Esneklik/Şeffaflık kriterine odaklanmaları gerektiğini göstermektedir. Esneklik ve şeffaflık, hızlı ve etkili karar alma mekanizmalarını destekleyerek diğer performans kriterlerinin (kalite, kârlılık, teknolojik yeterlilik vb.) iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca ilk üç sırada yer alan performans göstergeleri, dijitalleşme stratejilerinin belirlenmesinde ve uygulanmasında öncelikli olarak ele alınmalıdır. Ancak bu sonuçların her işletme ve sektör için genellenemeyeceği, işletmelerin kendi özgün koşulları ve hedefleri doğrultusunda değerlendirme yapmaları gerektiği unutulmamalıdır.

Çalışmanın sonraki aşamasında, daha önce Bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen sonuçların tutarlılığını değerlendirmek amacıyla, Bulanık VIKOR yöntemi uygulanmıştır. Bu analizde, Bulanık DEMATEL yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak alternatiflerin sıralaması gerçekleştirilmiştir. Bulanık VIKOR yöntemi, karar alternatiflerinin ideal çözüme en yakın uzlaşmacı çözüme ulaşmasını hedeflemektedir. İlgili prosedür doğrultusunda hesaplanan Q_i indeksi, alternatiflerin değerlendirilmesinde temel ölçüt olarak kullanılmaktadır. Bu indeksin en düşük değeri, söz konusu alternatifin en uygun çözüm olduğunu göstermekte ve karar sürecinde en iyi tercih olarak kabul edilmektedir. Uygulanan yöntemin bulguları incelendiğinde, Q indeksi değeri 0.000 olan Esneklik/Şeffaflık (A4) performans göstergesi alternatifinin en uygun seçenek olarak belirlendiği görülmektedir. Bu alternatif, ideal çözüme olan mutlak yakınlığı sayesinde karar vericiler açısından en avantajlı seçenek konumundadır. Diğer alternatiflerin sıralaması ise şu şekilde gerçekleşmiştir: Kalite (A6) [Q=0.199] ikinci, Karlılık (A2) [Q=0.583] üçüncü, Akıllı Teknolojiler (A3) [Q=0.654] dördüncü, Hız (A1) [Q=0.862] beşinci ve Ölçülebilirlik (A5) [Q=1.000] altıncı sırada yer almıştır.

Elde edilen bu bulgular, Esneklik/Şeffaflık kriterinin en düşük Q değeri ile karar verme sürecinde öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken performans göstergesi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, yöneticilerin ve karar alıcıların, dijital dönüşüm stratejilerini oluştururken hedef odaklı ve kriter bazlı tercihler yapabilmeleri açısından Bulanık VIKOR metodolojisinin etkili bir karar destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, Tablo 28'de sunulan karşılaştırmalı analiz sonuçlarına göre, Bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen sıralamalar, Bulanık VIKOR yöntemiyle elde edilen sıralamalarla büyük ölçüde örtüşmektedir. Bu yöntemsel uyum, elde edilen sonuçların tutarlılığını ve modelin güvenilirliğini desteklemektedir.

Gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen bulgular, Esneklik/Şeffaflık, Kalite ve Karlılık gibi temel performans unsurlarının, işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerinde stratejik öncelik taşıyan alanlar olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle bu kriterlerin yüksek önceliğe sahip olması, dijitalleşme yatırımlarında dikkatle ele alınmaları gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleriyle elde edilen sıralamaların büyük ölçüde uyum göstermesi, kullanılan metodolojik yaklaşımın güvenilirliğini ve tutarlılığını desteklemektedir. Bu durum, söz konusu yöntemlerin karar alma süreçlerinde etkin biçimde kullanılabileceğini ve dijital stratejilerin yapılandırılmasında karar vericilere sağlam bir analitik temel sunduğunu göstermektedir.

Tablo 28. Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemi sonuçlarının bir arada gösterimi

Bulanık TOPSIS sonuçları		*Bulanık VIKOR sonuçları*	
Sıra	*Alternatif*	*Sıra*	*Alternatif*
1	Esneklik/Şeffaflık (A4)	1	Esneklik/Şeffaflık (A4)
2	Kalite (A6)	2	Kalite (A6)
3	Karlılık (A2)	3	Karlılık (A2)
4	Akıllı (A3)	4	Akıllı (A3)
5	Hız (A1)	5	Hız (A1)
6	Ölçülebilirlik (A5)	6	Ölçülebilirlik (A5)

Alternatif performans göstergelerinin analizinin ardından gerçekleştirilen duyarlılık analizinde, kriter ağırlıklarındaki değişimlerin alternatiflerin sıralamasına olan etkisi kapsamlı şekilde incelenmiştir. Bu bağlamda, tüm kriterlerin eşit ağırlıklandırıldığı Senaryo 1 (S1) ile en yüksek ağırlığa sahip kriter ile en düşük ağırlığa sahip kriterin ağırlıklarının yer değiştirdiği Senaryo 2 (S2) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, hem Bulanık TOPSIS hem de Bulanık VIKOR yöntemlerinde, bu iki senaryoda alternatiflerin sıralamasının önemli ölçüde değişmediğini göstermiştir. Bu durum üzerine, daha uç değişikliklerin etkisini değerlendirmek amacıyla iki ek senaryo tasarlanmıştır: Senaryo 3'te (S3), en düşük ağırlığa sahip kriterin ağırlığı 1 olarak belirlenmiş, diğer kriterlerin ağırlıkları ise sıfıra indirilmiştir; Senaryo 4'te (S4) ise en yüksek ağırlığa sahip kriterin ağırlığı 1 kabul edilerek, diğer kriterlerin ağırlıkları sıfırlanmıştır. Bu iki uç senaryo kapsamında yapılan analizler, hem Bulanık TOPSIS hem de Bulanık VIKOR yöntemleriyle elde edilen sonuçların, alternatif performans göstergelerinin önemli ölçüde değişime karşı duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo 26 ve 27). Böylece, karar verme sürecinde kriter ağırlıklarındaki radikal değişikliklerin, alternatiflerin sıralamasını belirgin biçimde etkileyebileceği tespit edilmiştir.

Bu araştırmada, literatürde lojistik sektörü özelinde az sayıda çalışmada birlikte uygulandığı görülen Bulanık DEMATEL, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri entegre bir yaklaşımla birleştirilerek ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Bu hibrit yapı, tedarik zinciri yönetiminde karşılaşılan çok boyutlu ve karmaşık karar problemlerine yenilikçi bir bakış açısı sunmakta hem teorik hem de uygulamalı literatüre katkı sağlayacak bir yöntemsel çerçeve ortaya koymaktadır. İlerleyen çalışmalarda, ARAS, COPRAS, WASPAS, AHP, ANP, EDAS, ELECTRE, PROMETHEE ve SWARA gibi diğer ÇKKV yöntemleri kullanılarak alternatif modelleme yaklaşımlarının denenmesi mümkündür. Ayrıca, analizlerde kullanılan kriterler çeşitlendirilerek farklı bağlamlarda karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılması tavsiye edilmektedir.

Yazar Katkıları /*Author Contributions*

Hüseyin Balcı: Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-orijinal taslak *Hasan Ayyıldız:* Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

Hüseyin Balcı: Literature review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft Hasan Ayyıldız: Modelling, Writing-review and editing

Çatışma Beyanı /*Conflict of Interest*

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No potential conflict of interest was declared by the authors.

Fon Desteği / *Funding*

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / *Compliance with Ethical Standards*

Bu çalışma için Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulu'nun 13.07.2023 tarihli ve 37 numaralı kararı ile onay alınmıştır.

For this study, the approval of the Ethics Committee Karadeniz Technical University Social and Human Sciences was obtained with the decision dated 13.07.2023 and numbered 37.

Etik Beyanı / *Ethical Statement*

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the authors that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.
The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

Altan, Ş., Aydın, E.K. (2015). "Bulanık DEMATEL ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri İle Üçüncü Parti Lojistik Firma Seçimi İçin Bütünleşik Bir Model Yaklaşımı", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(3), 99-119.

Asrol, M. (2024). "Industry 4.0 Adoption in Supply Chain Operations: A Systematic Literature Review", *International Journal of Technology*, 15(3), 544–560. https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i3.5958

Aylak, B.L., Kayıkcı, Y. ve Taş, M.A. (2020). "Türkiye'de Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin Dijital Trendlerinin İncelenmesi", *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15 (57), 98-116. https://doi.org/10.19168/jyasar.569599

Bielecki, M., Wisniewski, Z., Dukic, G. ve Dujak, D. (2024). Supply Chain 4.0: What the Supply Chains of the Future Might Look Like", *Engineering Management in Production and Services*, 16(1), 77–92. https://doi.org/10.2478/emj-2024-0006

Büyüközkan, G. ve Göçer, F. (2018). "Digital Supply Chain: Literature Review and A Proposed Framework for Future Research", *Computers in Industry*, 97, 157-177. https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010

Chen, C. (2009). "A Decision Model of Field Depot Location Based on the Centrobaric Method and Analytic Hierarchy Process (AHP)," International Journal of Business and Managament, vol.4, no.7, p. 71-75.

Demir, G., Chatterjee, P. ve Pamucar, D. (2024). "Sensitivity Analysis in Multi-Criteria Decision Making: A State-of-the-Art Research Perspective Using Bibliometric Analysis", *Expert Systems with Applications*, 237, 121660. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121660

Edirisuriya, A., Weerabahu, S. ve Wickramarachchi, R. (2018). "Applicability of Lean and Green Concepts in Logistics 4.0: A Systematic Review of Literature", *2018 International Conference on Production and Operations Management Society (POMS),* 1-8, https://doi.org/10.1109/POMS.2018.8629443

Görçün, Ö.F. (2018). "Lojistikte Teknoloji Kullanımı Ve Robotik Sistemler - Technology Utilization in Logistics and robotic Systems", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(24), 351-368. https://doi.org/10.20875/makusobed.397373

Gültaş, M.P. (2024). The Impact Of Logıstıcs 4.0 On Smart Warehouse Management: Examples From Companıes In Türkiye And A Bıblıometrıc Analysıs For Future Trends*. Yönetim Bilimleri Dergisi, 22(Özel Sayı: Endüstri 4.0 ve Dijitalleşmenin Sosyal Bilimlerde Yansımaları), 1946-1969. https://doi.org/10.35408/comuybd.1516355

Hwang, C.L. ve Yoon, K. (1981). "Methods for Multiple Attribute Decision Making. In: Multiple Attribute Decision Making", *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 186. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3

Kumar, A., Mangla, S.K., Luthra, S. ve Rana, N.P. (2020). "Key Enablers of Sustainability in Manufacturing Supply Chains: A Fuzzy DEMATEL-VIKOR Approach", *Benchmarking: An International Journal*, *27*(3), 1063–1091. https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2019-0414

Li, C.W. ve Tzeng, G.H. (2009). "Identification of a Threshold Value for the DEMATEL Method Using the Maximum Mean De-Entropy Algorithm to Find Critical Services Provided by A Semiconductor Intellectual Property Mall", *Expert Systems with Applications*, 36, 9891-9898. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.01.073

Li, C.C., Tzeng, G.H. ve Chang, C.W. (2009). "Using Fuzzy DEMATEL to Evaluate the Green Supply Chain Management Practices", *Journal of Cleaner Production*, 17(5), 701–713. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.009

Lin, H.Y., Hsu, P.Y. ve Shen, G.J. (2007). "A Fuzzy-Based Decision-Making Procedure for Data Warehouse System Selection", *Expert Systems with Applications*, 32(3), 939-953.

Maslarić, M., Nikoličić, S. ve Mirčetić, D. (2016). "Logistics Response to the Industry 4.0: The Physical Internet", *Open Engineering*, 6(1). https://doi.org/10.1515/eng-2016-0073

Müller, J.M., Kiel, D. ve Voigt, K.I. (2018). "What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability", *Sustainability*, 10(1), 247. https://doi.org/10.3390/su10010247

Opricovic, S. ve Tzeng, G.H. (2004). "Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS", *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455.

Özbek, A. (2017). "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü", Şeçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, Ankara.

Reaidya, P., Alaeddini, M., Gunasekaran, A., Lavastre, O. ve Shahzad, M. (2024). "Unveiling the Impact of Industry 4.0 on Supply Chain Performance: The Mediating Role of Integration and Visibility", *Production Planning & Control,* 1-22. https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2440454

Seçme, N.Y., Bayrakdaroğlu, A. ve Kahraman, C. (2009). "Fuzzy Performance Evaluation in Turkish Banking Sector Using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS", *Expert Systems with Applications*, 36(9), 11699-11709.

Tseng, M.L. ve Lin, Y.H. (2008). "Application of Fuzzy DEMATEL to Develop A Cause and Effect Model of Municipal Solid Waste", *Environmental Monitoring and Assessment*, *158*, 519-533. https://doi.org/10.1007/s10661-008-0601-2

Wu, W.W. ve Lee, Y.T. (2007). "Developing Global Managers' Competencies Using the Fuzzy DEMATEL Method", *Expert Systems with Applications*, *32*(2), 499–507. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.12.005

Zhou, K., Liu, T. ve Zhou, L. (2015). "Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges", *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147-2152.

EK

ANKET FORMU

Sayın Katılımcı;

Bu anketin size sunulmasındaki en önemli neden araştırma konusu ile ilgili uzmanlığınızdan yararlanma isteğidir. Sizlerden istenen tüm değerlendirmelerde içten, samimi olmanız ve tüm sorulara eksiksiz bir şekilde cevap vermenizdir. Anketin başarılı olması yönergeler doğrultusunda vereceğiniz cevaplara bağlıdır.

Ankete katılım zorunlu olmayıp, vermiş olduğunuz bilgiler etik kurallar çerçevesinde yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacaktır ve vermiş olduğunuz bilgilere sadece ilgili araştırmacının erişimi olacaktır. Katılımcılar, herhangi bir gerekçe göstermeksizin araştırmaya katılımlarını istedikleri anda sonlandırabilirler. Katılımın sonlandırılması halinde kendilerine herhangi bir yaptırım uygulanmayacaktır. Bu durumda, ankete katılmamış olduğunuz için yanıtlarınıza ilişkin veriler kayıt altına alınmamış olacaktır. Bunlara ek olarak, verilen bu bilgiler dışında daha fazla bilgiye ihtiyaç duyarsanız araştırmacıya aşağıdaki iletişim bilgilerinden ulaşabilirsiniz. Ayrıca çalışma bittikten sonra da iletişime geçip soru sorabilir ve/veya araştırmanın sonuçları hakkında bilgi alabilirsiniz.

Katılımınız için şimdiden teşekkür ederim.

Yukarıda yer alan ve araştırmadan önce katılımcıya verilmesi gereken bilgileri okudum ve katılmam istenen çalışmanın kapsamını ve amacını, gönüllü olarak üzerime düşen sorumlulukları anladım. Bu koşullarda söz konusu araştırmaya kendi isteğimle, hiçbir baskı ve telkin olmaksızın;

( ) Katılmayı Kabul Ediyorum ( ) Katılmayı Kabul Etmiyorum

Puanlama Aşağıdaki Sözel İfadeler Karşılığına Göre 1 İle 5 Puan Arasında Değerleme Şeklinde Yapılacaktır.

SÖZEL İFADELER	*PUAN KARŞILIĞI*
ÇOK YÜKSEK ETKİ (ÇYE)	5
YÜKSEK ETKİ (YE)	4
EŞİT SEVİYE ETKİ (ESE)	3
DÜŞÜK ETKİ (DE)	2
ÇOK DÜŞÜK ETKİ (ÇDE)	1

Not: Lütfen Hiçbir Karşılıklı İlişkiyi Boş Bırakmadan, Bir Sayısal İfade İle Puanlayınız.

1.Lojistik 4,0 Uygulamaları Kendi İçerisinde Birbirine Karşı Önem Dereceleri Değerlendirilecektir

LOJİSTİK 4,0 UYGULAMALARI / LOJİSTİK 4,0 UYGULAMALARI	Arttırılmış Gerçeklik	Bulut Bilişim	Nesnelerin İnterneti	Robotik / Sensör Teknolojiler	İnsansız Araçlar	Uygulama / Program Kullanımı
Arttırılmış Gerçeklik	■					
Bulut Bilişim		■				
Nesnelerin İnterneti			■			
Robotik / Sensör Teknolojiler				■		
İnsansız Araçlar					■	
Uygulama / Program Kullanımı						■

2.Lojistik 4,0 Uygulamalarının İşletmelerin Başarmayı Hedeflediği Amaçlar Üzerine Etki Dereceleri Değerlendirilecektir

LOJİSTİK 4,0 UYGULAMALARI / DİJİTAL TEDARİK ZİNCİRİNİN BAŞARMAYI AMAÇLADIĞI HEDEFLER	Arttırılmış Gerçeklik	Bulut Bilişim	Nesnelerin İnterneti	Robotik / Sensör Teknolojiler	İnsansız Araçlar	Uygulama / Program Kullanımı
Hız						
Karlılık						
Akıllı						
Esneklik / Şeffaflık						
Ölçülebilirlik						
Kalite						