

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Bulanık WENSLO ve Bulanık TOPSİS ile Depo Yeri Seçimi: Türkiye'deki 3PL Hizmet Sağlayıcı Bir Firmada Vaka Çalışması

Warehouse Location Selection Using Fuzzy WENSLO and Fuzzy TOPSIS: A Case Study of A 3PL Service Provider in Turkey

Sündüs DAĞ* 
Nihan KABADAYI** 

Öz

Depo yeri seçimi, işletmelerin tedarik zinciri operasyonel maliyetlerini, hizmet seviyesini ve genel performansını doğrudan etkileyen stratejik bir karar sürecidir. Bu kararın, işletmelerin rekabet stratejileri ve tedarik zinciri yapılarıyla uyumlu bir şekilde ele alınması sürdürülebilir başarı için kritik bir öneme sahiptir. Özellikle 3PL (üçüncü parti lojistik) hizmet sağlayıcı firmalar açısından, farklı sektörde faaliyet gösteren müşterilerinin tedarik zinciri gereksinimlerini karşılayabilecek uygun depo lokasyonlarının belirlenmesi; müşteri memnuniyeti, operasyonel verimlilik ve uzun vadeli karlılık için stratejik bir zorunluluktur. Depo yeri seçimi, çok sayıda alternatifin birden fazla kriter doğrultusunda değerlendirilmesini gerektiren tipik birçok kriterli karar verme (ÇKV) problemidir. Kriterlerin veya alternatiflerin değerlendirilmesinde belirsizlik ve uzman görüşüne dayalı yargılar söz konusu olduğunda, bulanık mantık temelli yöntemler etkin sonuçlar üretmektedir. Bu çalışmada, belirsizlik ortamında stratejik karar alma süreçlerini destekleyecek entegre bir bulanık karar destek sistemi geliştirmek amaçlanmıştır. Çalışmanın uygulama bölümünde Türkiye'deki uluslararası bir 3PL hizmet sağlayıcı firmanın İstanbul'daki depo yeri seçimi problemi ele alınmıştır. Burada depo yeri seçim karar kriterlerinin önem ağırlık değerleri Bulanık WENSLO (Weighted Sum with Normalized Levels of Satisfaction) yöntemi ile belirlenmiş, ardından aday depo lokasyonlarının değerlendirilmesinde Bulanık TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) yöntemi kullanılarak en uygun alternatif tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Depo, Yer Seçimi, Çok kriterli Karar Verme, Bulanık, WENSLO, TOPSIS

Jel Sınıflandırması: M11, L91, C60

* **Sorumlu Yazar:** İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, skumpas@istanbul.edu.tr, ORCID:0000-0003-2413-2887

** İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, nihank@istanbul.edu.tr, ORCID:0000-0003-1950-4877

How to cite this article/Atıf için: Dağ S, Kabadayı N. (2026). Bulanık Wenslo ve Bulanık Topsis ile Depo Yeri Seçimi: Türkiye'deki 3pl Hizmet Sağlayıcı Bir Firmada Vaka Çalışması. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 48(1), 115-142. DOI: 10.14780/muiibd.1764848

Makale Gönderim Tarihi: 14.08.2025

Yayına Kabul Tarihi: 19.12.2025



Content of this journal is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Abstract

Warehouse location selection is a strategic decision-making process that directly affects a company's supply chain operational costs, service level, and overall performance. Addressing this decision in alignment with a company's competitive strategies and supply chain structures is critically important for sustainable success. Especially for 3PL (third-party logistics) service provider companies, determining appropriate warehouse locations that can meet the supply chain requirements of clients operating in different sectors is a strategic necessity for customer satisfaction, operational efficiency, and long-term profitability. Warehouse location selection is a typical multi-criteria decision-making (MCDM) problem that requires evaluating numerous alternatives based on multiple criteria. When uncertainty and expert judgment-based evaluations are involved in assessing the criteria or alternatives, fuzzy logic-based methods produce effective results. This study aims to develop an integrated fuzzy decision support system to assist strategic decision-making processes under uncertainty. In the application part of the study, the warehouse location selection problem of an international 3PL service provider company operating in Turkey is addressed. In this context, the importance weights of the warehouse location selection criteria were determined using the Fuzzy WENSLO method, and then the most appropriate alternative among the candidate warehouse locations was identified using the Fuzzy TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) method.

Keywords: Warehouse, Location selection, Multi-criteria decision making, Fuzzy, WENSLO, TOPSIS

Jel Classification: M11, L91, C60

1. Giriş

Günümüz rekabet ortamında tedarik zinciri yönetimi işletmelerin rekabet başarısı için oldukça önemlidir. Tedarik zinciri yönetiminde bilgi, finansal kaynaklar, ürün, malzeme ve hizmetlerin çift taraflı olarak istenilen şartlarda dolaşımının sağlanması zincirin başarısını sağlayacak en temel unsurdur. Tedarik zincirindeki tesislerin yerleşim yeri kararı tedarik zinciri performansı üzerinde uzun vadeli etkiler yaratan stratejik karardır. Bunun temel nedeni, bir depo veya tesisin kapatılması ya da başka bir lokasyona taşınması işletmeler açısından son derece maliyetli olmasıdır. Tedarik zincirindeki yerleşim yeri kararlarının doğru yapılması zincir maliyetlerinin önemli ölçüde azaltılmasını sağlamaktadır (Chopra, 2013). Buna ilaveten depo maliyetleri, tedarik zinciri maliyetleri içerisinde önemli bir paya sahiptir. İşletmenin faaliyet gösterdiği sektör ve depolanan ürünlerin değerine bağlı olarak, depo operasyon maliyetleri toplam satışların yaklaşık %1 ila %15'i arasında değişebilmektedir. Ayrıca, depolama maliyetleri işletmelerin toplam lojistik maliyetlerinin ortalama %22'sini oluşturarak bu alandaki stratejik kararların önemini daha da arttırmaktadır (Richards, 2017). Depolar, işletmelerin ürün ve malzeme stoklarını sakladığı; tedarik zinciri sürekliliğini sağlamak, arz ve talebi dengelemek, sevkiyatları birleştirmek ve müşterilerin değişen ihtiyaçlarına etkin şekilde cevap verebilmek amacıyla kullanılan kritik tesislerdir (Kozoderović vd., 2025). Küresel tedarik zincirlerinin coğrafi olarak geniş bir alana yayılmış olması, kısalan ürün hayat eğrileri, sürdürülebilirlik ile ilgili yasal düzenlemelerin her geçen gün giderek katılaşması, ticaret yollarındaki risk ve kırılganlıkların artması tedarik zincirlerindeki depoların stratejik önemini arttırmaktadır. Ürün, malzeme ve hizmetlerin doğru zamanda, doğru koşullarda, uygun maliyetle talep noktasında bulunabilmesi açısından için depo lokasyonunun belirleyici bir rolü vardır. Depo yeri seçim kararı, uzun vadeli ve değiştirilmesi zor bir karar olması sebebiyle işletmelerin stratejik seviyede ele almış olduğu bir karar sürecidir. Depo yer seçimi kararları uzun vadede işletmelerin taktiksel ve operasyonel karar süreçlerinin başarısı kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, doğru depo yeri seçimi

kararı işletmelerin rekabet gücünü önemli derecede arttırabilirken; hatalı bir seçim, operasyonel verimsizliklere ve ciddi maliyet kayıplarına yol açarak rekabet avantajının hızla yitirilmesine neden olabilir (Balcı vd., 2025). Depo yer seçimi kararlarında genellikle maliyet optimizasyonu, müşteri hizmet seviyesi ve kar maksimizasyonu, çevresel duyarlılık olmak üzere dört temel amaç vardır (Vanichchinchai ve Apirakkhith, 2018). İşletmelerin bu çelişen amaçlar arasında en doğru denge noktasını bularak karar vermesi, uzun vadeli fayda sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu denge noktasının belirlenmesinde en önemli yol gösterici unsur ise işletmenin benimsediği tedarik zinciri rekabet stratejisidir. Örneğin, maliyet odaklı bir strateji benimseyen firmalar için depo yeri seçiminde temel öncelik, taşıma ve depolama maliyetlerinin en aza indirilmesi olacaktır. Buna karşılık, çevik tedarik zinciri rekabet stratejisi ile müşterilerine çok çeşitlikteki ürünü daha kısa sürede teslim etmeyi hedefleyen firmalar tedarik zincirinde daha fazla sayıda depo bulundurarak, bu depoların müşteri lokasyonlarına yakın konumlandırılmasını tercih edebilir. Bu bağlamda, depo yer seçimi çok boyutlu ve stratejik bir karar süreci olarak ele alınmalıdır.

İşletmeler, tedarik zincirlerindeki riskli ve karmaşık lojistik süreçleri alanında uzman lojistik firmalarına devrederek ana faaliyet alanına odaklanabilmektedir. Küresel rekabet ortamında, işletmelerin müşterilerin hızla değişen taleplerini daha kısa sürede ve daha düşük maliyetle karşılayabilmeleri için lojistik faaliyetlerini bu alanda konusunda uzmanlaşmış bir üçüncü parti lojistik (3PL) firmalarına devretmeleri bir gereklilik haline gelmiştir (Sharma vd., 2023).

3PL hizmet sağlayıcı firmalar, işletmelere depolama, sipariş toplama, stok yönetimi, taşıma ve benzeri lojistik hizmetleri sunmaktadır. Bu hizmetler işletmelerin ihtiyaçlarına yönelik olarak belirlenmektedir. 3PL hizmet sağlayıcılarının sürdürülebilir rekabet avantajı elde edebilmeleri ve müşteri değeri yaratabilmeleri açısından sahip oldukları depo gibi fiziksel varlıklar kritik bir rol oynamaktadır (Baglio vd., 2025). Bu doğrultuda, ürünleri zamanında, verimli ve maliyet etkin bir şekilde taşımayı hedefleyen 3PL firmalarının, müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilmek için çok sayıda parametreyi göz önünde bulundurarak stratejik olarak depo yeri seçimi yapmaları gerekmektedir.

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri çok sayıdaki alternatif arasından belirli kriterlere göre en uygun alternatifin seçiminde kullanılan etkili yöntemlerdir. Karar süreçlerinde yer alan belirsizlik ve uzman görüşüne dayalı yargılar söz konusu olduğunda Bulanık ÇKKV yöntemleri etkili sonuçlar vermektedir. Bu yöntemlerin çok sayıdaki hem nicel hem de nitel faktörleri değerlendirilmesini sağlayan yapısal bir çerçeve sunarak, karar vericilerin daha objektif, kanıta dayalı ve sağlam sonuçlara ulaşmasını sağlaması depo yer seçimi gibi stratejik karar süreçlerinde daha fazla tercih edilmesine sebep olmaktadır (Kozoderović vd., 2025).

Bu çalışmanın amacı, belirsizlik ortamında işletmelerin stratejik karar süreçlerine destek olacak entegre bir Bulanık karar destek modeli önermektir. Burada Bulanık WENSLO (Weighted Sum with Normalized Levels of Satisfaction) ve Bulanık TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) yöntemlerinin bir arada kullanıldığı entegre bir model sunulmuştur. Çalışmanın uygulama bölümünde, önerilmiş olan Bulanık entegre ÇKKV karar modeli ile Türkiye'deki uluslararası bir 3PL hizmet sağlayıcısı firmanın depo yeri seçim problemi çözülmüştür.

Yapılmış olan literatür çalışmasına göre Bulanık WENSLO ve Bulanık TOPSIS yöntemleri daha önce depo yer seçimi problemlerinin çözümü için uygulanmamıştır. Bulanık WENSLO yöntemi ile ilgili henüz Türkçe literatürde bir çalışma yapılmamıştır. Buna ilaveten 3PL firmaları için depo yer seçimi stratejik öneme sahip bir karar olmasına rağmen ilgili alanda yapılmış olan çalışma sayısı kısıtlıdır. Bu sebeple çalışmanın farklı yönlerden ilgili literatüre fayda sağlaması amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde depo yer seçiminde kullanılan ÇKKV problemlerine ait literatür incelenmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan Bulanık WENSLO ve Bulanık TOPSIS yöntemleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise bir 3PL hizmet sağlayıcı firmanın depo yeri seçimi problemi ilgili yöntemlerle çözülmüştür. Çalışmanın beşinci bölümünde sonuç ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

2. Literatür taraması

Bu bölümde depo yer seçimi problemini ÇKKV yöntemleri ile ele almış olan çalışmalara yer verilmiştir. Literatürde ÇKKV yöntemleri depo yeri seçimi probleminin çözümü için birçok çalışmada kullanılmıştır. Gergin ve Peker (2019), depo yeri seçiminde kullanılan yöntemler üzerine ayrıntılı bir literatür çalışması gerçekleştirmiştir. Burada 1996 – 2019 yılları arasında yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve depo yer seçiminde en fazla kullanılmış olan yöntemlerin AHP, ANP ve TOPSIS olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şahin ve Çebi (2025), depo yeri seçiminde kullanılan seçim kriterleri ve Bulanık yöntemler ile ilgili bir literatür çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada depo yeri seçiminde en fazla kullanılmış olan ana kriterler, maliyet, lokasyon ve sosyal kriterler olarak belirlenmiştir.

Bu literatür taraması 2015 – 2025 yılları arasında bu alanda yapılmış olan çalışmaları içermektedir. Özbek ve Erol (2016), büyük ölçekli bir döküm firmasının depo yeri seçimi probleminin çözümü için; AHP, Basit Ağırlıklı Toplama (BAT), COPRAS ve MOORA yöntemlerini uygulamıştır. Burada AHP kriter ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılırken alternatif depo yerlerinin seçimi için BAT, COPRAS ve MOORA uygulanarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Uygulama sonuçları bu üç yöntemin de aynı sonucu ürettiğini göstermiştir. Cömert ve Yener (2016), Bulanık AHP yöntemini bir gıda firmasının depo yeri seçimi problemine uygulamıştır. Gül ve Eren (2017) çalışmalarında, AHP yöntemi ve hedef programlama yöntemini birlikte kullanarak ile kamu sektöründe depo yeri seçimi problemini ele almıştır. Burada depo yeri seçimi kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Ofluoğlu vd. (2017), SAW, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile afet durumunda depo yeri seçimi probleminin çözümünü ele almıştır. Oral vd. (2022), pandemi sürecinde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için ilaç deposu ve aşı dağıtım yeri merkezi yeri seçimi için AHP, ANP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmıştır. Burada beş farklı senaryonun çözümü için bu yöntemler tek başına veya ikili bir şekilde uygulanarak yöntemler karşılaştırılmıştır. Yapıcı vd. (2020), medikal depo yeri seçimi probleminin çözümü için AHP ve ANP yöntemlerini karşılaştırmıştır. Çalışmada dört ana kriter ve dokuz alt kriter dikkate alınarak dört farklı alternatif depo yeri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda depo yeri seçiminde AHP ve ANP yöntemleri aynı sonucu vermiştir. Demirci ve Arıkan (2021) çalışmalarında, Covid-19 döneminde ilaç deposu yeri seçimi için kriter ağırlıklarını SWARA yöntemi ile belirlenmiş, depo alternatiflerinin seçimi için

ise MOORA ve OCRA yöntemlerini uygulamıştır. Çalışmada iki yöntemin depo yeri seçimindeki performansı karşılaştırılmış ve sonuçta iki yöntemin de aynı sonuçları ürettiği gözlemlenmiştir. Ak veAcar (2021), insani yardım tedarik zinciri depo yeri seçimi problemini AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak çözmüştür. Kriter ağırlıkları AHP ile belirlenirken depo yeri alternatifleri TOPSIS ile sıralanmıştır. Oral vd. (2021), tehlikeli madde depo yeri seçim probleminin çözümü için AHP ve ANP yöntemlerini karşılaştırmıştır. AHP ve ANP yöntemlerinin değerlendirilmesinde farklılıklar meydana gelebilmesine rağmen bu çalışmada her iki yöntem de uygun depo yeri olarak aynı bölgeyi göstermiştir. Şeker ve Alakaş (2019) çalışmalarında, bir lojistik firmasının depo yeri seçim probleminin çözümünde kriter ağırlıklarının belirlenmesi için AHP yöntemini uygulamıştır. Burada alternatif depolar arasından en uygun olanının belirlenmesi için AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri uygulanarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Uygulama sonuçları üç yöntemin de aynı sonucu verdiğini göstermiştir. Thuengnaitham (2022), bir 4PL lojistik firmasının dağıtım merkezi lokasyonunu AHP yöntemini uygulayarak belirlemiştir. Bayram veEren (2023), AHP, TOPSIS, ELECTRE ve PROMETHEE yöntemlerini kullanarak afet durumunda geçici depo yeri seçimi problemini çalışmıştır. Turgut ve Şahin (2019) çalışmalarında, Mersin ilinde yaş sebze ve meyve depo yeri seçimi için AHP yöntemini kullanmıştır. Khaengkhan vd. (2019), tarım ürünlerinin depo yeri seçimi için SAW, AHP ve TOPSIS yöntemlerinin çözümünü karşılaştırmıştır. Ocampo vd. (2020), bir ürün dağıtıcısı firma için TOPSIS yöntemini kullanarak depo yeri seçimi problemini ele almıştır. Burada ayrıca karar verici grup üyelerinin deneyim ve tecrübelerine dayalı olarak farklı önem derecelerine sahip olmasının depo yeri seçim kararını etkileyip etkilemediği de test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda grup üyelerinin farklı önem derecelerine sahip olmasının depo yeri seçim kararında bir etki yaratmadığı gözlemlenmiştir. Arslankaya ve Demir (2023), bir gıda firmasının depo yeri seçimi problemini SWARA ve WASPAS yöntemlerini kullanarak çözmüştür. Bu çalışmada kriter ağırlıkları SWARA yöntemi ile belirlenmiş, depo yeri seçimi WASPAS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Sharma vd. (2023), Hindistan'da faaliyet gösteren bir 3PL firması için depo yeri seçimi problemini AHP yöntemini uygulayarak çözmüştür. Çalışmada kullanılan depo yer seçimi kriterleri Delphi yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. Mijalkovski vd. (2024), TOPSIS yöntemini kullanarak yedek parça ve sarf malzemeleri için merkezi depo yeri seçimi problemini çözmüştür.

Literatürde depo yeri seçiminde belirsizlik ve muğlaklık durumunda başarılı sonuçlar üreten Bulanık ÇKKV yöntemleri de kullanılmıştır. Karmaker ve Saha (2015), bir firmanın depo yeri seçimi için kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Bulanık AHP yöntemini kullanırken alternatif depo yeri seçimi için TOPSIS ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini uygulamıştır. Jayant (2015), TOPSIS, VIKOR ve Gri ilişkisel analiz yöntemleri ile bir üretim işletmesi için depo yeri seçimi problemini çözmüştür. Dey vd. (2016) depo yeri seçimi için üç farklı Bulanık ÇKKV yöntemini (TOPSIS, SAW ve MOORA) karşılaştırmıştır. Çalışmada yapılmış olan iki farklı gerçek hayat uygulama problemi çözümü sonrasında bu üç yöntemin de tedarik zincirinde depo yeri seçimi probleminin çözümü için etkili ve kullanışlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Singh vd. (2018), Bulanık AHP yöntemini kullanarak otomotiv parçaları üretimi yapan bir firmanın depo yeri seçimi için çözüm önerisinde bulunmuştur. Yavuz (2018), bir gıda ürünleri üreticisi firmanın depo yeri

seçimi probleminin çözümünde gri sistem teorisi ve VIKOR yöntemlerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışmanın sonucunda bu iki yöntemin sonuçlarının aynı olduğu gözlemlenmiştir. Gündoğdu ve Kahraman (2019) çalışmalarında, depo yeri seçimi problemini küresel Bulanık VIKOR (SF-VIKOR) yöntemi ile çözmüştür. Yöntemin geçerliliğinin testi için küresel Bulanık TOPSIS (SF-TOPSIS) yöntemi ile de aynı problem çözülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalık (2020) çalışmalarında, depo yeri seçimi probleminin çözümü için aralık Tip-2 Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Kış vd. (2020), KEMIRA-M yöntemini kullanarak bir elektrik dağıtım firmasının depo yeri seçimi problemini çözmüştür. Tırmıkçıoğlu (2021), bir tekstil firmasının depo yeri seçimi problemini sezgisel Bulanık WASPAS yöntemini kullanarak çözmüştür. Kabadayı ve Esen (2021) çalışmalarında, 4PL lojistik firmasının depo yeri seçimi problemi için Gri temelli TOPSIS yöntemini uygulamıştır. Ulutaş vd. (2021), bir süpermarket için en uygun depo yerini belirlemek amacıyla Gri tercih seçim indeksi (GPSI) ve Gri yakınlık indeksli değer (GPİV) yöntemlerini içeren entegre bir Gri ÇKKV modeli önermiştir. Burada GPSI yöntemi kriter ağırlıklarının hesaplanması için kullanılırken GPİV yöntemi ile alternatif depo yerlerinin sıralaması gerçekleştirilmiştir. Demircan ve Özcan (2021), soğuk zincir lojistiğinde depo yeri seçimi için Aralık-Değerli Neutrosophic Bulanık (IVNF) EDAS yöntemini uygulamıştır. Yöntemin geçerliliğinin testi için EDAS, Bulanık EDAS yöntemleri de aynı problemin çözümüne uygulanmıştır. Uygulama sonucuna göre IVNF ve Bulanık EDAS aynı sonuçları üretirken EDAS yönteminin sıralaması diğerlerinden farklı olmuştur. Sanjari Parizi vd. (2024), yeni bir ÇKKV yöntemi geliştirmiş ve bu yöntemi sürdürülebilir depo yeri seçimine uygulamıştır. Burada karar problemlerinin çözümünde kullanılan karar matrislerinin oluşturulmasında daha gerçekçi bir yol sunabilmek amacıyla değer değişim sınırları (WAB) kavramı tanıtılmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiş olan yeni ÇKKV yöntemi ERASA (Evaluation and ranking based on accumulation and skewnes of alternatives) olarak adlandırılmıştır. Yöntem diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırılarak geçerliliği test edildikten sonra İran'daki bir madencilik firmasının sürdürülebilir depo yeri seçimine uygulanmıştır. Kozoderović vd. (2025), bir e-ticaret firmasının depo yeri seçimi problemini SWARA ve ARAS yöntemlerini kullanarak çözmüştür. Bu çalışmada SWARA yöntemi kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılırken, ARAS yöntemi depo yeri alternatiflerinin sıralamasında kullanılmıştır. Zare vd. (2025), Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak beyaz eşya üreticisi bir firmanın depo yeri seçimini gerçekleştirmiştir. Balcı vd. (2025), fındık üretimi için en uygun depo yerinin belirlenmesi için Bulanık DEMATEL, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerini kullanarak bir model önerisinde bulunmuştur. Burada kriter ağırlıkları Bulanık DEMATEL ile belirlenmiştir. Alternatif depo yerlerinin sıralaması Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri ile gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Depo yer seçimi ve ÇKKV Yöntemleri ile ilgili Literatür Özet Tablosu

Yazarlar	Uygulama Alanı	Kullanılan Yöntem	Kriterler
Jayant (2015)	Üretim İşletmesi	VIKOR, TOPSIS, Gri İlişkisel Analiz	Fiyat, depolama kapasitesi, müşterilere yakınlık, tedarikçilere yakınlık, esneklik
Karmaker ve Saha (2015)	-	Bulanık AHP, TOPSIS, Bulanık TOPSIS	Hizmet (teslimat süresi, iletişim), ulaşım (ulaşım kalitesi, ulaşım türlerinin mevcudiyeti, haberleşme olanaklarına erişim), maliyet (ulaşım maliyeti, arazi maliyeti, işçilik maliyeti), konum (iklim, arazi koşulları, kamu hizmetleri, üreticilere yakınlık, müşterilere yakınlık), iş gücü (nitelikli iş gücü, işgücü potansiyeli)
Cömert ve Yener (2016)	Gıda	Bulanık AHP	Maliyetler (işçilik maliyeti, taşıma maliyeti), altyapı koşulları (arazi büyüklüğü, depolama kapasitesi), lokasyon özellikleri (otoyollara/ ana alterlere mesafe, üretim merkezlerine mesafe), iş gücü kapasitesi (kalifiye eleman, katma değer sağlayan faaliyet kapasitesi)
Özbek ve Erol (2016)	-	AHP, BAT, COPRAS, MOORA	Fiyat, depolama kapasitesi, müşterilere yakınlık, tedarikçilere yakınlık, esneklik
Gül ve Eren (2017)	Kamu Sektörü	AHP	Teslimat süresi, teslimat güvenilirliği, esnek kapasite, kalite, özel hizmet kapasitesi, ulaşım altyapısı ve erişilebilirlik, genişleme potansiyeli
Ofluoğlu vd. (2017)	Afet Durumu	SAW, TOPSIS, VIKOR	Yerleşim alanlarına mesafe, arsa büyüklüğü, arazinin afet risk düzeyi, havaalanına mesafe, deniz limanına mesafe, otoyol/ana arterlere erişim, arsa maliyeti, jeolojik koşulların elverişliliği, enerji altyapısına erişim, su altyapısına erişim ve kanalizasyon altyapısına erişim
KrSingh vd. (2018)	Otomotiv	Bulanık AHP	Altyapı olanakları (ulaşım ağlarına erişim, enerji kaynakları ve iletişim/ dijital altyapı olanakları), kamu politikaları ve yönetim (arazi fiyatları, vergi indirimi ve teşvikler), pazar dinamikleri (büyüklük, coğrafi yakınlık ve büyüme potansiyeli)
Yavuz (2018)	Gıda	Gri Sistem Teorisi ve VIKOR	Taşıma maliyetleri, tesis (işyeri) maliyetleri (kira/arsa/işletme giderleri), işçilik maliyetleri, stok elde bulundurma maliyeti, depolama kapasitesi, mağazalara mesafe ve üretim/tedarik merkezlerine yakınlık
Şeker ve Alakaş (2019)	Lojistik	AHP, TOPSIS, PROMETHEE	Arazi/depolama maliyetleri, nitelikli işgücü, müşterilere/ pazara mesafe, ulaşım ağına entegrasyon ve erişilebilirlik, altyapı yeterliliği, kamu politikaları ve yönetim faktörleri
Turgut ve Şahin (2019)	Gıda	AHP	Maliyet (arsa maliyeti, taşıma/dağıtım maliyetleri, işçilik maliyeti), işgücü (nitelikli işgücünün mevcudiyeti, işgücüne erişim), çevresel faktörler (arazi afet riski, topoğrafya ve zemin. uygunluk), pazar (tedarikçi/ üretim merkezlerine yakınlık, müşteri ve hedef pazarlara erişilebilirlik), altyapı ve ulaşım (çok modlu taşıma ağlarına entegrasyon, taşıma modlarına yakınlık, liman, lojistik terminaller ve aktarma merkezlerine yakınlık)
Khaengkhan vd. (2019)	Gıda	SAW, AHP, TOPSIS	Arazi büyüklüğü, arazi fiyatı, işgücü maliyeti, altyapı, hammadde kalitesi, ulaşılabilirlik, hammadde kaynağına uzaklık
Gündoğdu ve Kahraman (2019)	-	SF-VIKOR	Alt yapı, pazar, maliyet, işgücü olanakları

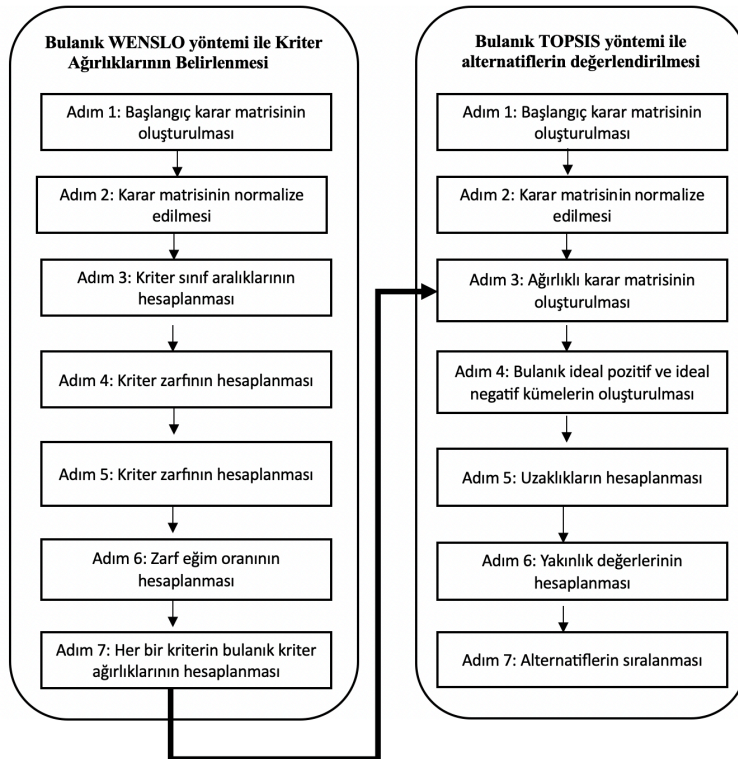
Ocampo vd. (2020)	Ürün Dağıtım Merkezi	TOPSIS	Arazi birim fiyatı, taşıma maliyeti, lojistik maliyeti, tedarikçilere yakınlık, müşterilere yakınlık, bölgedeki müşteri sayısı, depolama alanı, ana yollara erişim, limanlara erişim, havalimanlarına erişim, farklı taşıma modları için uygunluk, taşıma modlarının kalite ve güvenilirliği, telekomünikasyon sistemleri, bölgeselleşme ve inşaat planı, endüstriyel yasal düzenlemeler, bölgenin güvenliği, araç trafiği için uygunluk, politik istikrar, ekonomik istikrar, ekolojik yerleşim üzerindeki etki, altyapı imkanları
Çalık (2020)	Alüminyum	Aralık Tip-2 Bulanık AHP ve TOPSIS	konumsal özellikler (depolama kapasitesi, arazi/parselin uygunluğu ve kullanılabilirliği, iklim ve çevresel koşullar), maliyet (işçilik, taşıma ve elleçleme maliyeti), yakınlık/erişilebilirlik (müşteri/pazara yakınlık, tedarikçi/üretim merkezlerine erişim, taşıma ağlarına modlara yakınlık)
Kış vd. (2020)	Elektrik Dağıtım Merkezi	KEMIRA-M	Firma ilişkili kriterler (operasyon merkezi-buluşma noktası depolarının (OC-MP) aylık ulaşım maliyetleri, bağlı OC-MP sayısı, OC-MP tüketim tutarları), Çevresel kriterler (nüfus, en yakın ana yola uzaklık, ana tedarikçiye ortalama uzaklık, hareket esnekliği, ortalama teslimat süresi, arazi maliyetleri)
Demirci ve Arıkan (2021)	İlaç	SWARA, MOORA, OCRA	Mülkiyete ilişkin maliyetler (arazi, kira, inşaat), farklı ulaşım sistemlerine erişim kolaylığı, atık yönetim ve depolama imkanları, nüfus yoğunluk düzeyi, nitelikli işgücüne yakınlık, bölgenin iklim koşulları, bölgenin trafik yoğunluğu, deprem, tsunami riski, ilaç üretim tesislerine yakınlık, farklı taşıma modlarına uygun elleçleme imkanı
Kabadayı ve Esen (2021)	Lojistik	Gri temelli TOPSIS	Maliyet (işgücü maliyeti, arazi maliyeti, ulaşım maliyeti, vergi indirimi ve teşvik olanakları, İşgücü (işgücü yeterliliği ve kalitesi, demografik özellikler, sosyal imkanlar ve eğitim olanakları, işgücüne erişim), Ulaşım olanakları (havalimanlarına yakınlık, limanlara yakınlık, otoyollara yakınlık, demiryollarına yakınlık, yerleşim alanlarına yakınlık, Coğrafi özellikler (genişletmeye elverişlilik, altyapı olanakları (elektrik, su ve doğalgaz kaynakları), topografik özellikler, Ticari lokasyon özellikleri (gümrüklere yakınlık, pazara/müşterilere mesafe, üreticilere/tedarikçilere mesafe, sınır kapılarına mesafe
Oral vd. (2021)	Tehlikeli madde lojistiği	AHP ve ANP	Ekonomik faktörler (dağıtım olanakları, yatırım maliyetleri), Doğal faktörler (arazi durumu, iklim), Hukuki ve politik faktörler (ADR'ye uygunluk, güvenlik, politika), Sosyal faktörler (nüfus, sağlığa etki)
Ulutaş vd. (2021)	Perakende	GPSI, GPIV	Elde bulundurma maliyeti, taşıma maliyeti, müşterilere yakınlık, tedarikçilere yakınlık, üreticilere yakınlık, tedarik süresi, rakiplere yakınlık, depolama kapasitesi, gelişim olanakları, taşıma modlarının çeşitliliği, altyapı, iklim koşulları
Tırmıkçıoğlu (2021)	Tekstil	Sezgisel Bulanık WASPAS	Ulaşım kolaylığı, satış hacmi, rakip firma sayısı, nitelikli iş gücü, depo kiralama maliyeti

Demircan ve Özcan (2021)	Lojistik	IVF EDAS	Lokasyon (potansiyel pazarlara yakınlık, üreticilere yakınlık, ana yollara, limanlara ve havalimanlarına yakınlık, nakliye firmalarına yakınlık, iklim koşulları, yetenekli işgücüne ulaşım), Maliyet (depolama maliyeti, yatırım maliyeti, kiralama maliyeti, işgücü maliyeti, enerji maliyeti, vergi maliyeti, taşıma maliyeti), Tesis (yapısal uygunluk, park alanı, hijyen koşulları, hidrolik rampa, yeterli araç manevra alanı, güvenlik, depolama kapasitesi, ayrılmış atık alanı, yeterli IT/ağ yapısı), Makro çevre (yasal düzenlemeler, endüstriyel yasal düzenlemeler ve kanunlar), Soğuk zincir alt yapısı (soğuk depolama, soğuk taşıma, soğuk işleme)
Ak ve Acar (2021)	İnsani tedarik zinciri	AHP, TOPSIS	Coğrafi koşullar (işgücü erişimi, afet riski olmayan bölge, afet bölgesine yakınlık, diğer destek sistemlerine yakınlık), Taşıma koşulları (taşıma modu olanakları, rota esnekliği, taşıma araçlarına erişim, Sosyo-politik (yönetim ve politik istikrar, kültürel ve sosyal istikrar, Maliyet (işgücü maliyeti, arazi maliyeti, ikmal maliyeti, depolama maliyeti, lojistik maliyeti, yatırım maliyeti), İş birliği (yerel ve uluslararası lojistik firmalarıyla iş birliği, bilgi işlem /iletişim)
Thuengnaitham (2022)	Lojistik	AHP	Tesis (bina uygunluğu, alt yapı, kiralama maliyeti), taşıma (taşıma yollarının güvenliği ve ortalama trafik durumu, ana yollara erişim imkanı, taşıma maliyetleri), Pazar ve işgücü (ana pazara yakınlık, hizmet merkezlerine yakınlık, işgücüne erişim)
Bayram ve Eren (2023)	Afet Durumu	AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE	Ulaşım, altyapı, sosyal ve güvenlik
Sharma vd. (2023)	Lojistik	AHP	Operasyonel esneklik (bölgesel dağıtım, ulusal dağıtım, diğer operasyonlar), coğrafi lokasyon (arazi maliyetleri, arazi uygunluğu, iklim koşulları), İşgücü (işgücüne erişim, sendikalaşma durumu, işgücü ulaşım maliyeti), Pazar (müşterilere yakınlık), altyapı/erişim (şehrin diğer bölgelerine ulaşım imkanı, taşımanın kalite ve güvenilirliği, kritik yol ve lojistik merkezlerine uzaklık), Makro çevre (arazinin yasal uygunluğu, yangın risk durumu, bina imar durumu, binanın yüksek enerji için uygunluğu, depolama lisansı, ticaret lisansı), Rakipler
Arsılkaya ve Demir (2023)	Gıda	SWARA, WASPAS	Üretim/tedarik merkezine mesafe, taşıma/ dağıtım maliyeti, müşteri/pazara mesafe, talep, optimum rota kapasitesi, istihdam koşulları
Mijalkovski vd. (2024)	-	TOPSIS	Stratejik önem, ortalama yıllık gelir, şubelere ortalama uzaklık, hizmet kapasitesi, operasyon maliyeti, yeni tesis ihtiyacı, ortalama yedek parça ve sarf malzemesi teslimatı, yeni işgücü ihtiyacı
Sanjari-Parizi vd. (2024)	Maden	WAB-ERASA	Alt yapı ve hizmet olanakları, ulaşım kolaylığı, arazinin büyüklüğü ve genişleme olanakları, arazi fiyatları, çevresel riskler, taşıma maliyetleri, inşaat maliyetleri
Balcı vd. (2025)	Gıda	Bulanık DEMATEL, Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR	Mamul üretim kapasitesi, arazi maliyetleri, hammaddeye yakınlık, limanlara yakın olma, pazara yakınlık, önemli ulaşım noktalarına yakınlık, potansiyel büyüme ve genişleme imkanı, taşıma maliyetleri, malzeme taşıma sistemi, altyapı imkanlarının yeterliliği

Zare vd. (2025)	Beyaz eşya üreticisi	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS	İş gücü (iş gücünün yetenek seviyesi, iş gücüne erişim), maliyet (iş gücü, taşıma ve elleçleme maliyetleri coğrafik (arazi uygunluğu, iklim, doğal afetler), alt yapı (taşıma modlarının mevcudiyeti, telekomünikasyon sistemi, taşıma modlarının kalitesi ve güvenliği, alt yapı imkanlarının kalitesi ve güvenliği), pazar (müşterilere/pazara yakınlık, üretici/tedarikçilere yakınlık)
Kozoderović vd. (2025)	E-ticaret	SWARA, ARAS	Arazi maliyeti, teslimat süresi, alt yapı imkanları, işgücüne erişim, farklı taşıma modlarına erişim, depolama kapasitesi, çevresel koşullar ve yasal düzenlemelere uyum, lokasyonun rekabetçiliği

3. Metodoloji

Çalışmada Bulanık WENSLO ve Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak entegre bir yaklaşımla lojistik sektöründe depo yer seçimi problemine çözüm aranmıştır. Uzman ve değerlendirici görüşlerinin sürece daha esnek ve gerçekçi bir şekilde yansıtılabilmesi sebebiyle bulanık mantık temelli metotlara başvurulmuştur. Birinci aşamada depo yer seçiminde kullanılacak karar kriterlerinin önem dereceleri Bulanık WENSLO metodu ile belirlenmiş ve ikinci aşamada alternatif depo yerlerinin sıralamasını elde edebilmek için Bulanık TOPSIS metodu kullanılmıştır. Çalışmanın metodolojisi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın Metodolojisi

3.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantık iki değerli düşünce yapısının tersine, belirsizlik arz eden durumları da değerlendirme amaçlı ortaya atılmış bir hesaplama yöntemidir. İlk olarak Zadeh (1965) tarafından önerilmiş olan bulanık mantık karar süreçlerini daha doğru modelleyebilmek için geliştirilmiştir. Bulanık mantık, tam olarak ifade edilemeyen durumları 0 ile 1 arasında değişen sayılar atayarak değerlendirir. Belirsizlik durumlarını ifade edebilmek amacı ile literatürde en sık kullanılan üçgensel (triangular) ve yamuksal (trapezoidal) bulanık sayılardır (Liu vd., 2020). Bu çalışmada üçgensel bulanık sayılar kullanılarak yöntemler uygulanmıştır.

Eşitlik 1'de $\tilde{A} = (a_l, a_m, a_u)$, $\tilde{B} = (b_l, b_m, b_{2u})$ iki üçgensel pozitif bulanık sayı ve k bulanık olmayan tamsayı olmak üzere aşağıdaki işlemler bu sayılar arasında gerçekleştirilebilecek aritmetik işlemlerin nasıl yürütülmesi gerektiği ile ilgili yol göstermektedir. Tüm işlemler Eşitlik(1-4)'de açıklanmıştır (Sun, 2024).

Toplama işlemi:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_l + b_l, a_m + b_m, a_u + a_u) \quad (1)$$

Çıkartma işlemi:

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_l - b_u, a_m - b_m, a_u - b_l) \quad (2)$$

Çarpma işlemi:

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = a_{l1} \times b_l, a_m \times b_m, a_u \times a_{b_u}) \quad (3)$$

Bölme işlemi:

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = a_l / b_u, m_1 / m_2, a_u / b_l) \quad (4)$$

$\tilde{A} = (l, m, u)$ üçgensel bulanık sayı olmak üzere $\tilde{A}$ bulanık sayısının durulaştırılmış değeri Eşitlik (5) ile hesaplanır.

$$k(\tilde{A}) = \frac{(l + 4m + u)}{6} \quad (5)$$

3.2. Bulanık WENSLO Yöntemi

WENSLO yöntemi Pamucar vd. tarafından yeşil büyüme performansı değerlendirmesi için 2023 yılında geliştirilen bir ÇKVV yöntemidir. WENSLO yöntemi karar vericilerin farklı kriterlere ilişkin memnuniyet düzeylerini normalize ederek ağırlıklandırma yapmayı amaçlayan bir yöntemdir. WENSLO yönteminin temel avantajı, kriter ağırlıklarını belirlerken bireysel yargılara veya uzman görüşlerine ihtiyaç

duymamasıdır. Bu yönüyle, karar vericinin alternatifler arasında daha nesnel ve tarafsız bir nihai sıralama elde etmesine olanak tanıyarak, karar alma süreçlerinde önemli bir avantaj sunar. Aynı zamanda WENSLO yaklaşımının önemli bir avantajı da ister fayda ister maliyet olsun, kriter yöneliminin hesaplamayı etkilememesidir. Bu, girdi verisi normalleştirme sürecinin kriter tercihlerinden etkilenmediği anlamına gelir ve bu da yöntemin güvenilirliğini ve istikrarını gösterir (Pamucar vd., 2023, Demir vd., 2025). Bulanık WENSLO yöntemi, klasik WENSLO yönteminin bulanık mantıkla güçlendirilmiş hâlidir ve belirsiz, sözel ya da dilsel değerlendirmelerin daha etkili biçimde yansıtılmasına olanak sağlar.

Demir ve Ulusoy (2024) rüzgâr enerjisi santralleri için potansiyel lokasyonların değerlendirilmesini bulanık WENSLO yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Kara vd. (2025) sürdürülebilirlik odaklı marka logo seçiminde Pisagor Bulanık WENSLO yöntemini kullanmışlardır. Demir (2025) enerji üretimi için sürdürülebilir biyokütle seçiminde kullandığı kriterleri Bulanık WENSLO ile ağırlıklandırmıştır. Demir ve Chatterjee (2025) karbon ayak izini azaltmaya yönelik çeşitli stratejiler ele almış ve bunların uygulanabilirliğini bulanık ÇKVY yöntemiyle değerlendirmiştir. Bu stratejilerin değerlendirilmesinde kullanılan kriter ağırlıkları, Bulanık WENSLO yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Gao (2025) çalışmasında sürdürülebilir havalimanı geliştirme stratejisi değerlendirmesi için entegre bir sezgisel bulanık karar verme yaklaşımı sunmaktadır. Kriterlerin nesnel ağırlık hesaplaması için sezgisel bulanık WENSLO yöntemini kullanmıştır.

Bulanık WENSLO yönteminin adımları aşağıda belirtildiği şekilde uygulanmaktadır (Gao, 2025).

1. Aşama: Başlangıç Karar Matrisinin Oluşturulması

Uzmanlar belirlenen karar kriterleri çerçevesinde, her bir alternatifi Tablo 2’de sunulan dilsel ifadeler aracılığıyla değerlendirir. Bu dilsel ifadeler, üçgen bulanık sayılarla ifade edilerek karar matrisinin oluşturulmasında kullanılır. Grup üyelerinin bireysel değerlendirmelerinin dengeli bir biçimde bütünleştirilmesini sağlamak amacıyla Bonferroni toplama operatörü (BA) uygulanmıştır. Bonferroni toplama operatörü Eşitlik (6)’da açıklanmıştır (Pamucar vd., 2021). Böylece grup karar verme sürecinde tüm üyelerin görüşleri dikkate alınarak ortak bir değerlendirme sonucu oluşturulmuştur. Eşitlik (7) bütünleşik başlangıç karar matrisini ifade etmektedir.

Tablo 2. Dilsel İfadeler ve Bulanık Sayılar

Dilsel ifade	Üçgen Bulanık Sayı
Çok düşük (ÇD)	(0,0,1)
Düşük (D)	(0,1,3)
Biraz Düşük (BD)	(1,3,5)
Orta (O)	(3,5,7)
Biraz Yüksek (BY)	(5,7,9)
Yüksek (Y) (7,9,10)	
Çok yüksek (ÇY) (9,9,10)	

Kaynak: Varchandi vd., 2024

$$BA^{p,q}(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left(\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i,j=1(i \neq j)}^n a_i^p a_j^q \right)^{\frac{1}{p+q}} \quad (6)$$

Burada, $p, q \geq 0$ Bonferroni birleştiricisinin dengeleme (stabilizasyon) parametrelerini ve w_j^e ise j. kritere ilişkin, e. uzman tarafından verilen ağırlık katsayısını ifade eder ($1 \leq e \leq k$)

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ Alternatifler kümesini ve $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}^T$ Değerlendirme kriterlerini ifade etmektedir.

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$\tilde{x}_{ij} = (x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^u)$ i. alternatifin j. kritere göre bulanık değerini ifade eder.

2. Aşama: Normalizasyon Matrisinin Oluşturulması

Eşitlik (8) kullanılarak başlangıç karar matrisi normalizasyon işlemine tabi tutulur.

$$\tilde{y}_{ij} = (y_{ij}^l, y_{ij}^m, y_{ij}^u) = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{l=1}^m \tilde{x}_{ij}} = \left\{ \frac{x_{ij}^l}{\sum_{l=1}^m x_j^l}, \frac{x_{ij}^m}{\sum_{l=1}^m x_j^m}, \frac{x_{ij}^u}{\sum_{l=1}^m x_j^u} \right\} \quad (8)$$

3. Aşama: Kriter Sınıf Aralıklarının Hesaplanması

j. kritere ait sınıf aralığının büyüklüğü Sturges kuralı kullanılarak Eşitlik (9) ile hesaplanır.

$$\tilde{z}_{ij} = (z_j^l, z_j^m, z_j^u) = \left\{ \frac{\{\max(y_{ij}^l) - \min(y_{ij}^l)\}}{1+3.322 \log(m)}, \frac{\{\max(y_{ij}^m) - \min(y_{ij}^m)\}}{1+3.322 \log(m)}, \frac{\{\max(y_{ij}^u) - \min(y_{ij}^u)\}}{1+3.322 \log(m)} \right\} \quad (9)$$

4. Aşama: Kriter Eğiminin Hesaplanması

Kriterlerin eğim değerleri sınıf aralığına bağlı olarak Eşitlik (10)' da gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\tan \tilde{\phi}_j = \left(\frac{\sum_{l=1}^m y_{ij}}{(m-1)z_j^l} \right) = \left(\frac{\sum_{l=1}^m y_j^l}{(m-1)z_j^l}, \frac{\sum_{l=1}^m y_j^m}{(m-1)z_j^m}, \frac{\sum_{l=1}^m y_j^u}{(m-1)z_j^u} \right) \quad (10)$$

5. Aşama: Kriter Zarfının Hesaplanması

Bu adımda, zarf, ardışık normalize değerler arasındaki toplam Öklid mesafesi olarak Eşitlik (11) ile hesaplanır.

$$\tilde{E}_j = \left(\sum_{l=1}^{m-1} \sqrt{(y_{l+1,j}^l - y_{ij}^l)^2 + (z_j^l)^2}, \sum_{l=1}^{m-1} \sqrt{(y_{l+1,j}^m - y_{ij}^m)^2 + (z_j^m)^2}, \sum_{l=1}^{m-1} \sqrt{(y_{l+1,j}^u - y_{ij}^u)^2 + (z_j^u)^2} \right) \quad (11)$$

6. Aşama: Zarf-Eğim Oranının Hesaplanması

Zarf eğim oranı Eşitlik (12) ile hesaplanır.

$$\tilde{q}_j = \frac{\tilde{E}_j}{\tan \tilde{\varphi}_j} = \left(\frac{E_j^l}{\tan \varphi_j^l}, \frac{E_j^m}{\tan \varphi_j^m}, \frac{E_j^u}{\tan \varphi_j^u} \right) \quad (12)$$

7. Aşama: Her Bir Kriterin Bulanık Ağırlık Değerlerinin Hesaplanması

Kriterlerin önem katsayılarına bağlı olarak Eşitlik (13) yardımıyla ağırlık değerleri belirlenir.

$$\tilde{w}_{ij} = (w_{ij}^l, w_{ij}^m, w_{ij}^u) = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{j=1}^n \tilde{q}_j} = \left\{ \frac{q_j^l}{\sum_{j=1}^n q_j^l}, \frac{q_j^m}{\sum_{j=1}^n q_j^m}, \frac{q_j^u}{\sum_{j=1}^n q_j^u} \right\} \quad (13)$$

3.3. Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından ÇKVV problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem, seçilen alternatifin Pozitif İdeal Çözümüne (maliyet kriterlerini en aza indiren ve fayda kriterlerini en üst düzeye çıkaran çözüm) en kısa ve Negatif İdeal Çözümüne en uzak mesafede olması gerektiği kavramına dayanmaktadır (Nadaban vd., 2023). Fakat belirsizlik arz eden durumları değerlendirmelerde klasik TOPSIS yöntemi yetersiz kalmaktadır. Bir karar vericinin, değerlendirilen nitelikler için bir alternatif kesin bir performans puanı ataması genellikle zordur. Bulanık bir yaklaşım kullanmanın avantajı, bulanık ortamda gerçek dünyaya uyum sağlamak için niteliklerin göreceli önemini kesin sayılar yerine bulanık sayılar kullanarak atamaktır. Bulanık mantık entegre edilmiş TOPSIS, klasik TOPSIS yöntemine göre daha etkin sonuçlar vermektedir. Bulanık TOPSIS yöntemi, belirsizlik altındaki ÇKVV problemlerini çözmek için Chen (2000) tarafından önerilmiştir. Karar vericiler kriterlerin ağırlıklarını ve alternatiflerin derecelendirmelerini değerlendirmek için dilsel değişkenler kullanır. Bulanık TOPSIS yöntemi, karar vericilerin dilsel yargılarını bulanık sayı kümeleriyle ifade ederek, belirsizliğin etkili biçimde modellenmesini sağlar.

Literatürde Bulanık TOPSIS yöntemi farklı karar problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; endüstriyel robot seçimi (Chu ve Lin, 2003), tedarikçi seçimi (Şevkli vd.; 2010, Liao ve Kao, 2011; Zouggar ve Benyoucef, 2012; Yayla vd., 2012; Ayhan, 2013; Memari vd., 2019; Çalık, 2021; Razak vd., 2024), risk değerlendirme (Kutlu ve Ekmekçioğlu, 2012; Liang vd., 2022; Awodi vd., 2023; Ali vd., 2024), proje seçimi (Taylan vd., 2014; Rahti vd., 2015), personel seçimi (Torfi vd., 2011; Tuğrul, 2022), teknoloji seçimi (Pour vd., 2023), deniz taşımacılığında kimyasal tanker gemisi seçimi (Arıcan ve Kara 2024), sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin değerlendirilmesi (Han vd., 2025), depo yeri seçimi (Karmaker ve Saha, 2015; Çalık, 2020; Balcı vd., 2025; Zare vd., 2025).

Bulanık TOPSIS yöntemin uygulama adımları aşağı verilmiştir (Sun, 2010; Nadaban vd., 2016).

1. Aşama: Başlangıç Karar Matrisinin Oluşturulması

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ alternatifler kümesini ve $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ değerlendirme kriterlerini ifade etmek üzere, her bir alternatif tüm kriterler bazında k adet karar verici tarafından Eşitlik (14)' deki gibi değerlendirilir. Karar vericilerin dilsel değerlendirmeleri Tablo 2'de verilen ölçek vasıtasıyla üçgensel bulanık sayılara karşılık gelecek şekilde dönüştürülür.

$$D(A, C) = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \tilde{d}_{11} & \tilde{d}_{12} & \dots & \tilde{d}_{1n} \\ \tilde{d}_{21} & \tilde{d}_{22} & \dots & \tilde{d}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{m1} & \tilde{d}_{m2} & \dots & \tilde{d}_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{1}{k} (\tilde{d}_{ij}^1 \oplus \tilde{d}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{d}_{ij}^k)$$

k . karar vericinin A_i alternatifini kriter C_j için değerlendirmesi $\tilde{d}_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, u_{ij}^k)$ şeklinde gösterilir.

2. Aşama: Normalize Matrisin Oluşturulması

Normalize matris Eşitlik (14)'deki gibi ifade edilmektedir.

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

Normalizasyon işlemi Eşitlik (15)'deki formül ile elde edilmektedir.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right) \quad u_j^+ = \max_i \{u_{ij} | i = 1, 2, \dots, n\} \quad (15)$$

3. Aşama: Ağırlıklı Normalize Matrisin Oluşturulması

Normalize matris içerisindeki her değer ($\tilde{r}_{ij}$), daha önce WENSLO yöntemiyle hesaplanan kriter ağırlıkları $\tilde{w}_j$ ile çarpılarak Eşitlik (16)'da gösterildiği şekilde ağırlıklı normalize matris elde edilir.

$$\begin{aligned} \tilde{V} &= [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad j = 1, 2, \dots, n \\ \tilde{v}_{ij} &= \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \end{aligned} \quad (16)$$

4. Aşama: Bulanık Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Kümelerinin Oluşturulması

Bulanık pozitif (A^+) ideal çözüm ve bulanık negatif (A^-) ideal çözüm kümeleri Eşitlik (17) ve (18)'de gösterildiği şekilde oluşturulur.

$$A^+ = (\tilde{v}_1^* \dots \dots, \tilde{v}_j^* \dots \dots, \tilde{v}_n^*) \quad \tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij}\} \quad (17)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^- \dots \dots, \tilde{v}_j^- \dots \dots, \tilde{v}_n^-) \quad \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij}\} \quad (18)$$

5. Aşama: Pozitif ve Negatif Uzaklıkların Hesaplanması

Alternatiflere ait bulanık pozitif ve negatif ideal çözüm için uzaklıklar formül (19) ve (20) kullanılarak hesaplanır.

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

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

İki üçgensel bulanık sayı arasındaki uzaklığı hesaplamak için Eşitlik (21)'de verilen Vertex yöntemi kullanılır.

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_a - l_b)^2 + (m_a - m_b)^2 + (u - u_b)^2]} \quad (21)$$

6. Aşama: Yakınlık Değerlerinin Hesaplanması

Alternatiflerin yakınlık değerleri (CC_i) Eşitlik (22)'de gösterilen formül ile hesaplanır.

$$\widetilde{CC}_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (22)$$

7. Aşama: Alternatiflerin Sıralanması

Yakınlık değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak alternatiflerin tercih sırası elde edilir.

4. Uygulama

Çalışmanın bu bölümünde Türkiye'de faaliyet gösteren bir 3PL firmasının depo yer seçimi problemi ele alınmıştır. Firma, başta otomotiv, hızlı tüketim malları, e-ticaret ve perakende olmak üzere kontrat lojistiği ve uluslararası dağıtım alanında müşterilerine entegre çözümler sunmaktadır. Türkiye genelinde stratejik noktalarda konumlandırılmış depo ağı ile firma, müşterilerine hızlı yanıt verebilme, taşıma maliyetlerini optimize etme, hizmet seviyesini artırmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, yeni bir depo yatırımına ilişkin yer seçimi kararı çalışmanın uygulama kısmını oluşturmaktadır. Uygulamanın birinci aşamasında firmanın depo yer seçiminde kullanılacak olan karar kriterlerinin ağırlıkları Bulanık WENSLO metodu ile tespit edilmiştir. Bu aşamada kullanılan kriter seti literatür araştırması ve uzman görüşlerine başvurularak belirlenmiştir. Söz konusu karar verici grup, firmada çalışan beş yöneticiden oluşmaktadır. Grup üyeleri lojistik operasyon müdürü, depo yöneticisi, stratejik planlama uzmanı, tedarik zinciri yöneticisi ve finans departman yöneticisidir. Grup üyelerinin mesleki deneyim süreleri 5 ila 12 yıl arasında farklılık göstermektedir. Özellikle, lojistik operasyon müdürü ve tedarik zinciri yöneticisi sektörde 12 yıllık deneyimi ile öne çıkmaktadır. Depo yöneticisi 10 yıllık, stratejik planlama uzmanı 5 yıllık, finans departman yöneticisi ise 8 yıllık mesleki deneyime sahiptir. İkinci aşamada firmanın İstanbul'da kurulacak olan yeni deposu için alternatif lokasyonlar Bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmiştir. Firmanın mevcut depo ağı göz önünde bulundurularak yeni kurulacak depo için alternatif lokasyonlar Gemlik, Gebze, Halkalı ve Ambarlı olarak belirlenmiştir.

Alternatif depo yerlerinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan karar kriterleri, literatür araştırması ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Söz konusu karar kriterleri ve bunların açıklamaları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Depo Yer Seçimi Kriter Seti

Kriter	Açıklaması
İşçilik Maliyeti (C1)	Bölgedeki ortalama işçilik maliyetleri
Arazi Maliyeti (C2)	Arsa metrekaresi fiyatı
Ulaşım Maliyeti (C3)	Ana ulaşım bağlantılarına erişim kolaylığı ve trafik yoğunluğu
Vergi ve Teşvik Olanakları (C4)	Bölgedeki vergi muafiyetleri ve teşvik programlarının kapsamı
İşgücü Yeterliliği ve Kalitesi (C5)	Bölgedeki işgücünün yeterlilik ve kalite seviyesi
Demografik Özellikler (C6)	Nüfus yoğunluğu, genç nüfus oranı, yerel işgücü potansiyeli
İşgücüne Erişim (C7)	Nitelikli işgücüne erişim
Limanlara Yakınlık (C8)	Limanlara olan mesafe (km) ve erişim süresi
Otoyollara Yakınlık (C9)	Ana karayollarına ve TEM-E5 bağlantılarına olan yakınlık
Arazi Büyüklüğü (C10)	Mevcut parsel büyüklükleri
Genişlemeye Elverişlilik (C11)	Genişlemeye elverişli arazi arzı ve çevresel boşluk
Altyapı Olanakları (C12)	Enerji, su, internet gibi sanayi altyapısı mevcudiyeti
Gümrüklere Yakınlık (C13)	Aktif gümrük sahalarına olan mesafe
Pazarlara/Müşterilere Yakınlık (C14)	Tüketici pazarlarına olan yakınlık ve teslimat süresi
Üreticilere/Tedarikçilere Yakınlık (C15)	Tedarikçi firmalara olan erişim kolaylığı

Uzmanlar Tablo 2'de verilmiş olan sözel değerlendirme ölçeğini kullanarak alternatif depo yerlerini karar kriterleri bazında değerlendirmiştir. Bu değerlendirmeler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Alternatif Depo Yerlerinin Uzmanlar Tarafından Değerlendirmeleri

Alternatif	Uzman	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
Halkalı	U1	Y	D	Y	D	ÇY	BY	Y	BY	ÇY	D	D	Y	ÇY	BY	Y
	U2	Y	ÇD	O	D	Y	ÇY	Y	BD	ÇY	BD	D	ÇY	ÇY	ÇY	Y
	U3	Y	BD	BY	O	ÇY	Y	ÇY	ÇY	ÇY	O	O	ÇY	Y	Y	ÇY
	U4	BD	ÇD	O	D	Y	ÇY	ÇY	BD	ÇY	BD	D	ÇY	ÇY	ÇY	Y
	U5	O	ÇD	O	D	Y	ÇY	ÇY	BD	ÇY	BD	D	ÇY	ÇY	ÇY	Y
Gebze	U1	O	O	BY	BD	Y	Y	Y	ÇY	ÇY	O	BD	Y	BY	Y	Y
	U2	Y	BD	BY	O	ÇY	Y	ÇY	Y	ÇY	O	O	ÇY	O	Y	ÇY
	U3	Y	BD	BY	O	ÇY	Y	ÇY	ÇY	ÇY	O	O	ÇY	Y	Y	ÇY
	U4	Y	O	BY	O	ÇY	Y	ÇY	ÇY	ÇY	O	O	ÇY	Y	Y	ÇY
	U5	Y	BD	BY	O	ÇY	Y	ÇY	ÇY	ÇY	O	O	ÇY	Y	Y	ÇY
Gemlik	U1	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	U2	ÇY	O	D	BY	O	BD	BD	ÇY	O	ÇY	Y	O	O	O	Y
	U3	ÇY	O	D	BY	O	BD	BD	ÇY	O	ÇY	Y	O	O	O	Y
	U4	ÇY	Y	D	BY	O	BD	BD	ÇY	O	ÇY	Y	O	O	O	Y
	U5	ÇY	Y	D	BY	O	BD	BD	ÇY	O	ÇY	Y	O	O	O	Y
Ambarlı	U1	O	D	Y	D	Y	Y	Y	ÇY	ÇY	D	D	Y	ÇY	O	O
	U2	D	D	Y	D	Y	Y	Y	ÇY	Y	D	D	Y	ÇY	ÇY	O
	U3	D	ÇD	BY	D	Y	Y	Y	ÇY	Y	D	D	Y	ÇY	ÇY	O
	U4	D	ÇD	O	D	Y	Y	Y	ÇY	Y	D	D	Y	ÇY	ÇY	O
	U5	ÇD	ÇD	O	D	Y	Y	Y	ÇY	Y	D	D	Y	ÇY	ÇY	O

Uzmanların değerlendirmeleri Eşitlik 6 'daki gibi Bonferroni toplama operatörü (BA) kullanılarak birleştirilmiş ve Tablo 5'te gösterilen bütünleştirilmiş karar matrisi elde edilmiştir. Bonferroni toplama operatöründeki p ve q dengeleme parametreleri 1 olarak alınmıştır ($p=q=1$).

Tablo 5. Birleştirilmiş Karar Matrisi

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5
Halkalı	(4,45; 6,50;8,14)	(0,00;0,00;1,34)	(3,71;5,74;7,58)	(0,00;1,00;3,00)	(7,39;9,00;10,00)
Gebze	(6,15;8,16;9,38)	(1,73;3,77;5,78)	(5,00;7,00;9,00)	(2,57;4,58;6,59)	(8,59;9,00;10,00)
Gemlik	(8,59;9,00;10,00)	(5,31;7,33;8,77)	(0,00;02,05;4,17)	(5,39;7,39;9,20)	(3,71;5,74;7,58)
Ambarlı	(0,00; 1,34; 3,26)	(0,00;0,32;1,73)	(4,92;6,94;8,57)	(0,00;1,00;3,00)	(7,00;9,00;10,00)
	C6	C7	C8	C9	C10
Halkalı	(8,16;8,59;9,80)	(8,19;9,00;10,00)	(1,61;3,71;5,74)	(9,00;9,00;10,00)	(0,77;2,57;4,58)
Gebze	(7,00;9,00;10,00)	(8,59;9,00;10,00)	(8,59;9,00;10,00)	(9,00;9,00;10,00)	(3,00;5,00;7,00)
Gemlik	(1,84;4,02;5,92)	(1,84;4,02;5,92)	(9,00;9,00;10,00)	(4,02;5,74;7,58)	(8,59;9,00;10,00)
Ambarlı	(7,00;9,00;10,00)	(7,00;9,00;10,00)	(9,00;9,00;10,00)	(7,39;9,00;10,00)	(0,00;1,00;3,00)
	C11	C12	C13	C14	C15
Halkalı	(0,00;1,00;3,00)	(8,59;9,00;10,00)	(9,00;9,00;10,00)	(8,16;8,59;9,80)	(7,00;9,00;10,00)
Gebze	(2,57;4,58;6,59)	(8,59;9,00;10,00)	(5,74;7,76;9,18)	(7,00;9,00;10,00)	(8,59;9,00;10,00)
Gemlik	(7,00;9,00;10,00)	(3,71;5,74;7,58)	(3,71;5,74;7,58)	(3,71;5,74;7,58)	(7,00;9,00;10,00)
Ambarlı	(0,00;1,00;3,00)	(7,00;9,00;10,00)	(9,00;9,00;10,00)	(7,71;8,16;9,38)	(3,00;5,00;7,00)

Eşitlik 8 kullanılarak Tablo 6 'da verilen normalize matris elde edilmiştir.

Tablo 6. Normalize Karar Matrisi

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5
Halkalı	(0,14;0,26;0,42)	(0,00;0,00;0,19)	(0,13;0,26;0,56)	(0,00;0,07;0,38)	(0,20;0,27;0,37)
Gebze	(0,20;0,33;0,49)	(0,10;0,33;0,82)	(0,17;0,32;0,66)	(0,12;0,33;0,83)	(0,23;0,27;0,37)
Gemlik	(0,28;0,36;0,52)	(0,30;0,64;1,25)	(0,00;0,09;0,31)	(0,25;0,53;1,16)	(0,10;0,18;0,28)
Ambarlı	(0,00;0,05;0,17)	(0,00;0,03;0,25)	0,17;0,32;0,63)	(0,00;0,07;0,38)	(0,19;0,27;0,37)
	C6	C7	C8	C9	C10
Halkalı	(0,23;0,28;0,41)	(0,23;0,29;0,39)	(0,05;0,12;0,20)	(0,24;0,27;0,34)	(0,03;0,15;0,37)
Gebze	(0,20;0,29;0,42)	(0,24;0,29;0,39)	(0,24;0,29;0,35)	((0,24;0,27;0,34)	(0,12;0,28;0,57)
Gemlik	(0,05;0,13;0,25)	(0,05;0,13;0,23)	(0,25;0,29;0,35)	(0,11;0,18;0,26)	(0,35;0,51;0,81)
Ambarlı	(0,20;0,29;0,42)	(0,19;0,29;0,39)	(0,25;0,29;0,35)	(0,20;0,27;0,34)	(0,00;0,06;0,24)
	C11	C12	C13	C14	C15
Halkalı	(0,00;0,06;0,31)	(0,23;0,27;0,36)	(0,24;0,29;0,36)	(0,22;0,27;0,37)	(0,19;0,28;0,39)
Gebze	(0,11;0,29;0,69)	(0,23;0,27;0,36)	(0,16;0,25;0,33)	(0,19;0,29;0,38)	(0,23;0,28;0,39)
Gemlik	(0,31;0,58;1,05)	(0,10;0,18;0,27)	(0,10;0,18;0,28)	(0,10;0,18;0,29)	(0,23;0,28;0,39)
Ambarlı	(0,00;0,06;0,31)	(0,19;0,27;0,36)	(0,24;0,29;0,36)	(0,21;0,26;0,35)	(0,08;0,16;0,27)

Normalize matris elde edildikten sonra Eşitlik 9 ile kriter sınıf aralıkları $\tilde{z}_{ij}$, Eşitlik 10 ile kriter eğimleri $\tilde{\varphi}_j$, Eşitlik 11 ile kriter zarf değerleri $\tilde{E}_j$, Eşitlik 12 ile kriter zarf eğim oranları $\tilde{q}_j$ ve son olarak Eşitlik 13 ile kriter ağırlıkları $\tilde{w}_{ij}$ hesaplanmıştır. Tüm değerler Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Kriterlerin Bulanık WENSLO yöntemi ile Hesaplamaları

	C1	C2	C3	C4	C5
$\tilde{z}_{ij}$	(0,09;0,10;0,12)	(0,10;0,21;0,35)	(0,06;0,08;0,12)	(0,08;0,15;0,26)	(0,04;0,03;0,03)
$\tan \tilde{\varphi}_j$	(1,78;3,27;5,76)	(0,38;1,56;8,32)	(1,32;4,40;12,64)	(0,47;2,19;11,10)	(7,84;10,08;10,87)
$\tilde{E}_j$	(1,04;1,09;1,18)	(1,14;1,89;2,76)	(0,83;0,99;1,32)	(1,00;1,51;2,22)	(0,68;0,60;0,57)
$\tilde{\varphi}_j$	(0,18;0,33;0,66)	(0,14;1,21;7,26)	(0,07;0,23;1,01)	(0,09;0,69;4,72)	(0,06;0,06;0,07)
$\tilde{w}_{ij}$	(0,01;0,07;0,42)	(0,01;0,26;4,53)	(0,00;0,05;0,63)	(0,00;0,01;0,05)	(0,03;0,03;0,13)
	C6	C7	C8	C9	C10
$\tilde{z}_{ij}$	(0,06;0,05;0,06)	(0,06;0,05;0,06)	(0,07;0,06;0,05)	(0,04;0,03;0,03)	(0,12;0,15;0,19)
$\tan \tilde{\varphi}_j$	(3,96;6,17;8,43)	(4,48;6,25;7,48)	(5,24;5,82;6,14)	(9,52;10,08;9,67)	(0,89;0,20;5,70)
$\tilde{E}_j$	(0,81;0,80;0,82)	(0,85;0,79;0,79)	(0,85;0,77;0,72)	(0,69;0,60;0,54)	(1,25;1,46;1,69)
$\tilde{\varphi}_j$	(0,10;0,13;0,21)	(0,11;0,13;0,18)	(0,14;0,13;0,14)	(0,07;0,06;0,06)	(0,22;0,66;1,89)
$\tilde{w}_{ij}$	(0,00;0,03;0,13)	(0,01;0,03;0,11)	(0,01;0,03;0,05)	(0,00;0,01;0,04)	(0,01;0,14;0,18)
	C11	C12	C13	C14	C15
$\tilde{z}_{ij}$	(0,10;0,17;0,24)	(0,04;0,03;0,03)	(0,05;0,03;9,33)	(0,04;0,03;0,03)	(5,91;8,02;9,59)
$\tan \tilde{\varphi}_j$	(0,58;1,95;7,63)	(8,56;10,08;10,40)	(8,48;9,70;10,40)	(7,95;9,69;11,45)	(0,71;0,65;0,62)
$\tilde{E}_j$	(1,16;1,63;2,11)	(0,68;0,60;0,55)	(0,72;0,60;0,55)	(0,10;0,18;0,29)	(0,07;0,08;0,11)
$\tilde{\varphi}_j$	(0,15;0,84;3,64)	(0,07;0,06;0,06)	(0,08;0,06;0,06)	(0,06;0,06;0,07)	(5,91;8,02;9,59)
$\tilde{w}_{ij}$	(0,01;0,18;2,27)	(0,00;0,01;0,04)	(0,00;0,01;0,04)	(0,00;0,01;0,04)	(0,00;0,02;0,07)

Son olarak bulanık kriter ağırlıkları Eşitlik 5'te verilen formül vasıtasıyla durulaştırılmış ve kriterlerin net ağırlık değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Kriter Sıralaması ve Ağırlıkları

Kriter	Ağırlık
C2	0,335
C4	0,213
C11	0,180
C10	0,106
C3	0,050
C1	0,043
C6	0,015
C7	0,013
C8	0,010
C15	0,008
C5	0,006
C14	0,006
C13	0,006
C12	0,006
C9	0,005

Bulanık WENSLO uygulaması sonucunda, arazi maliyeti (C2 – 0,335) en önemli değerlendirme kriteri olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, firmanın alternatif depo lokasyonlarını değerlendirirken öncelikle arazi maliyetini dikkate aldığını ve daha düşük arazi maliyetine sahip seçeneklere yöneldiğini göstermektedir. Bunu vergi ve teşvik olanakları (C4 – 0,213), genişletmeye elverişlilik (C11 – 0,180) ve arazi büyüklüğü (C10 – 0,106) izlemektedir. Dolayısıyla firma, aday lokasyonlarda vergi/teşvik avantajı, büyük parsel ve gelecekte genişleyebilme imkanını öncelikli görmektedir. Buna karşın ulaşım maliyeti (C3-0,050) ve işçilik maliyeti (C1-0,043) gibi kriterler operasyonel süreçlerin maliyetlerini önemli derecede etkilemesine rağmen stratejik karar sürecinde diğer kriterlere nazaran daha düşük önem derecesine sahip olmuştur. İkinci aşamada Tablo 4'te verilen uzman değerlendirmelerine Bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. İlk olarak Eşitlik (14) kullanılarak Tablo 9'da verilen normalize karar matrisi elde edilmiştir. Daha sonra, Bulanık WENSLO yöntemi ile hesaplanan ağırlık değerleri kullanılarak Tablo 10'daki ağırlıklı karar matrisine ulaşılmıştır. Sonrasında Eşitlik (17-18) ile pozitif ideal ve negatif ideal çözüm kümeleri; Eşitlik (19-20) ile pozitif ve negatif uzaklıklar; Eşitlik (22) ile yakınlık değerleri hesaplanmış ve sonuçlar sırasıyla Tablo 11, Tablo 12 ve Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 9. Normalize Karar Matrisi

Alternatif \ Kriter	C1	C2	C3	C4	C5
Halkalı	(0,445; 0,650; 0,814)	(0,00; 0,00; 0,15)	(0,41; 0,64; 0,84)	(0,00; 0,11; 0,33)	(0,74; 0,90; 1,00)
Gebze	(0,615; 0,816; 0,938)	(0,20; 0,43; 0,66)	(0,56; 0,78; 1,00)	(0,28; 0,50; 0,72)	(0,86; 0,90; 1,00)
Gemlik	(0,859; 0,900; 1,000)	(0,61; 0,84; 1,00)	(0,00; 0,23; 0,46)	(0,59; 0,80; 1,00)	(0,37; 0,57; 0,76)
Ambarlı	(0,000; 0,134; 0,326)	(0,00; 0,04; 0,20)	(0,55; 0,77; 0,95)	(0,00; 0,11; 0,33)	(0,70; 0,90; 1,00)
	C6	C7	C8	C9	C10
Halkalı	(0,82; 0,86; 0,98)	(0,82; 0,90; 1,00)	(0,16; 0,37; 0,57)	(0,90; 0,90; 1,00)	(0,08; 0,26; 0,46)
Gebze	(0,70; 0,90; 1,00)	(0,86; 0,90; 1,00)	(0,86; 0,90; 1,00)	(0,90; 0,90; 1,00)	(0,30; 0,50; 0,70)
Gemlik	(0,18; 0,40; 0,59)	(0,18; 0,40; 0,59)	(0,90; 0,90; 1,00)	(0,40; 0,57; 0,76)	(0,86; 0,90; 1,00)
Ambarlı	(0,70; 0,90; 1,00)	(0,70; 0,90; 1,00)	(0,90; 0,90; 1,00)	(0,74; 0,90; 1,00)	(0,00; 0,10; 0,30)
	C11	C12	C13	C14	C15
Halkalı	(0,00; 0,10; 0,30)	(0,86; 0,90; 1,00)	(0,90; 0,90; 1,00)	(0,82; 0,86; 0,98)	(0,70; 0,90; 1,00)
Gebze	(0,26; 0,46; 0,66)	(0,86; 0,90; 1,00)	(0,57; 0,78; 0,92)	(0,70; 0,90; 1,00)	(0,86; 0,90; 1,00)
Gemlik	(0,70; 0,90; 1,00)	(0,37; 0,57; 0,76)	(0,37; 0,57; 0,76)	(0,37; 0,57; 0,76)	(0,70; 0,90; 1,00)
Ambarlı	(0,00; 0,10; 0,30)	(0,70; 0,90; 1,00)	(0,90; 0,90; 1,00)	(0,77; 0,82; 0,94)	(0,30; 0,50; 0,70)

Tablo 10. Ağırlıklı Karar Matrisi

Alternatif \ Kriter	C1	C2	C3	C4	C5
Halkalı	(0,00; 0,05; 0,34)	(0,00; 0,00; 0,69)	(0,00; 0,03; 0,53)	(0,00; 0,02; 0,96)	(0,00; 0,01; 0,05)
Gebze	(0,01; 0,06; 0,39)	(0,00; 0,11; 2,99)	(0,00; 0,04; 0,63)	(0,00; 0,07; 2,11)	(0,00; 0,01; 0,05)
Gemlik	(0,01; 0,06; 0,42)	(0,00; 0,21; 4,53)	(0,00; 0,01; 0,29)	(0,00; 0,12; 2,95)	(0,00; 0,01; 0,03)
Ambarlı	(0,00; 0,01; 0,14)	(0,00; 0,01; 0,90)	(0,00; 0,04; 0,60)	(0,00; 0,02; 0,96)	(0,00; 0,01; 0,05)
	C6	C7	C8	C9	C10
Halkalı	(0,00; 0,02; 0,13)	(0,00; 0,02; 0,11)	(0,00; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,04; 0,54)
Gebze	(0,00; 0,02; 0,13)	(0,70; 0,81; 1,00)	(0,14; 0,03; 0,05)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,07; 0,83)
Gemlik	(0,00; 0,01; 0,08)	(0,16; 0,36; 0,59)	(0,77; 0,03; 0,05)	(0,00; 0,01; 0,03)	(0,01; 0,13; 1,18)
Ambarlı	(0,00; 0,02; 0,13)	(0,13; 0,36; 0,59)	(0,81; 0,03; 0,05)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,01; 0,36)
	C11	C12	C13	C14	C15
Halkalı	(0,00; 0,02; 0,68)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,02; 0,07)

Gebze	(0,00; 0,08; 1,50)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,02; 0,07)
Gemlik	(0,01; 0,16; 2,27)	(0,00; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,02; 0,07)
Ambarlı	(0,00; 0,02; 0,68)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,01; 0,05)

Tablo 11. Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Kümesi

Kriter	A+	A-
C1	(0,415; 0,415; 0,415)	(0,000; 0,000; 0,000)
C2	(4,534; 4,534; 4,534)	(0,000; 0,000; 0,000)
C3	(0,628; 0,628; 0,628)	(0,000; 0,000; 0,000)
C4	(2,950; 2,950; 2,950)	(0,000; 0,000; 0,000)
C5	(0,045; 0,045; 0,045)	(0,001; 0,001; 0,001)
C6	(0,130; 0,130; 0,130)	(0,001; 0,001; 0,001)
C7	(1,000; 1,000; 1,000)	(0,005; 0,005; 0,005)
C8	(0,047; 0,047; 0,047)	(0,001; 0,001; 0,001)
C9	(0,035; 0,035; 0,035)	(0,001; 0,001; 0,001)
C10	(1,183; 1,183; 1,183)	(0,000; 0,000; 0,000)
C11	(2,273; 2,273; 2,273)	(0,000; 0,000; 0,000)
C12	(0,040; 0,040; 0,040)	(0,001; 0,001; 0,001)
C13	(0,040; 0,040; 0,040)	(0,001; 0,001; 0,001)
C14	(0,044; 0,044; 0,044)	(0,001; 0,001; 0,001)
C15	(0,066; 0,066; 0,066)	(0,001; 0,001; 0,001)

Tablo 12. Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözüme Uzaklıklar

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Halkalı	0,322	4,315	0,504	2,662	0,032	0,095	0,955	0,036
Gebze	0,315	3,764	0,497	2,427	0,031	0,095	0,203	0,054
Gemlik	0,311	3,614	0,545	2,360	0,034	0,106	0,654	0,420
Ambarlı	0,372	4,253	0,498	2,662	0,032	0,095	0,666	0,441
	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	TOPLAM (d_i^+)
Halkalı	0,023	1,021	2,064	0,027	0,027	0,031	0,047	12,160
Gebze	0,023	0,959	1,876	0,027	0,028	0,030	0,047	10,378
Gemlik	0,026	0,912	1,790	0,030	0,030	0,033	0,047	10,910
Ambarlı	0,023	1,073	2,064	0,028	0,027	0,031	0,051	12,316
Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Halkalı	0,197	0,400	0,306	0,556	0,026	0,074	0,062	0,016
Gebze	0,227	1,726	0,363	1,220	0,026	0,076	0,842	0,085
Gemlik	0,243	2,621	0,168	1,704	0,019	0,044	0,407	0,447
Ambarlı	0,078	0,517	0,346	0,556	0,026	0,076	0,403	0,468
	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	TOPLAM (d_i^-)
Halkalı	0,020	0,314	0,394	0,023	0,023	0,025	0,038	2,475
Gebze	0,020	0,480	0,866	0,023	0,021	0,025	0,038	6,041
Gemlik	0,015	0,687	1,315	0,017	0,017	0,019	0,038	7,762
Ambarlı	0,020	0,205	0,394	0,023	0,023	0,024	0,026	3,186

Tablo 13. Yakınlık Değerleri

Alternatif	$d_i^+ + d_i^-$	CC_i
Halkalı	14,634	0,169
Gebze	16,419	0,368
Gemlik	18,672	0,416
Ambarlı	15,502	0,206

Bulanık TOPSIS ile yapılan analiz sonuçlarına göre, en yüksek yakınlık değerine sahip olan Gemlik alternatif lokasyonlar arasında en uygun depo yeri olarak belirlenmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Günümüzde başarılı tedarik zinciri yönetimi işletmelerin rekabet avantajı elde edebilmesi için önemlidir. Tedarik zinciri ağ tasarımı kararları işletmelerin uzun vadeli başarısında belirleyici rol üstlenmektedir. Küresel tedarik zincirlerinde talep ve tedarik süresi konusundaki belirsizlikler ve riskler nedeniyle, ürün ve malzeme akışının zamanında ve etkin bir şekilde sağlanabilmesi için depolara ihtiyaç duyulmaktadır. Depo yönetimi, tedarik zincirinde müşteri memnuniyeti ve maliyetler açısından önemli bir yere sahiptir. Depo yer seçimi kararı, tedarik zinciri yönetimi sürecinde stratejik olarak ele alınması gereken kritik karar süreçlerinden biridir. Depo için uygun lokasyonun belirlenmesi, ürünlerin müşteriye doğru zamanda, doğru şartlarda ve minimum maliyetle ulaştırılmasını sağlayarak hizmet düzeyini yükseltir. İşletmeler lojistik faaliyetlerinin bir kısmını veya tümünü konusunda uzman lojistik firmalarına devrederek kendi ana faaliyet konusuna odaklanabilmektedir. Konusunda uzman lojistik firmaları literatürde 3PL olarak adlandırılmaktadır. 3PL hizmet sağlayıcı firmaların ana faaliyet alanının lojistik olması sebebiyle stratejik olarak belirlenecek depo yerinin bu alanda faaliyet gösteren firmalar için rekabet açısından kritik bir önemi vardır. Stratejik konumlandırma, firmaların uzun vadeli operasyonel verimliliğini artırarak hem müşteri memnuniyeti hem de rekabet gücü üzerinde olumlu etkiler yaratır.

Bu çalışmanın amacı işletmeler için kritik öneme sahip olan depo yeri seçimi kararı için bir karar destek modeli önerisinde bulunmaktadır. Depo yer seçim kararı için belirsizlik ve öznel değerlendirmelerin etkilerini azaltmak amacı ile Bulanık WENSLO ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinden oluşan entegre bir model önerilmiştir. Bulanık WENSLO yöntemi literatürdeki diğer önceliklendirme yöntemleri gibi kriterlerin sadece ortalama değerlerini kullanmaz. Kriterlerin aralık, eğim ve zarf değerlerini de hesaplama dahil ederek ağırlıkların daha hassas ve dengeli dağılımına olanak verir. Aynı zamanda literatüre yakın zamanda kazandırılmış bir yöntem olması sebebiyle yapılan çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır. Bulanık TOPSIS yöntemi ise uygulama kolaylığı yanında farklı ölçeklerdeki verilerle çalışma imkânı sunması açısından tercih edilmiştir. Çalışmanın uygulama bölümünde, önerilmiş olan modelin gerçek hayat problemlerinin çözümü üzerindeki performansının değerlendirilmesi amacıyla Türkiye’de faaliyet gösteren bir 3PL hizmet sağlayıcısı firmanın depo yeri seçimi problemi ele alınmıştır. Depo yer seçimi konusunda yapılmış olan literatür çalışması ve uzman görüşlerine dayanılarak on beş değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Uygulamanın ilk aşamasının bulgularına göre, arazi maliyeti değerlendirme kriterleri arasında en yüksek ağırlığa sahip kriter olarak

belirlenmiştir. Bu sonuç, firmanın depo yeri seçim kararında öncelik olarak düşük arazi maliyetine sahip lokasyonları öncelikli olarak değerlendirdiğini göstermektedir. Arazi maliyeti kriterini vergi ve teşvik olanakları, genişletmeye elverişlilik ve arazi büyüklüğü takip etmektedir. Dolayısıyla, düşük vergi avantajı sunan, genişleme potansiyeli yüksek ve büyük parsel imkânı sağlayan bölgeler, stratejik olarak depo yeri seçiminde ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte analiz sonuçlarına göre, ulaşım maliyeti ve işçilik maliyeti kriterleri diğerlerine oranla nispeten daha düşük ağırlık değerine sahip olmuştur.

İkinci aşamada, Bulanık WENSLO ile elde edilen ağırlıklar ve Bulanık TOPSIS sıralaması birlikte değerlendirildiğinde, yeni depo için en uygun lokasyonun Gemlik olduğunu göstermektedir. Ağırlıklandırma sonuçları arazi maliyeti (C2), vergi/teşvik (C4), genişletmeye elverişlilik (C11) ve arazi büyüklüğü (C10) gibi maliyet ve ölçeklenebilirlik boyutlarını öne çıkarmış; Gemlik ise daha düşük toplam sahip olma maliyeti, büyük parsel imkânı ve geleceğe dönük kapasite artış potansiyeli ile bu önceliklerle yüksek uyum sergilemiştir. Ayrıca liman ve gümrüğe yakınlık ile bölgesel otoyol bağlantıları ihracat/ithalat odaklı müşteriler için elleçleme verimliliği ve transit sürelerinde belirgin üstünlük sağlamaktadır. Sonuç olarak, yeni depo yeri olarak Gemlik lokasyonunun seçimi firmanın stratejik öncelikleriyle tutarlıdır ve maliyet-etkin, ölçeklenebilir bir dağıtım ağı kurgusunu desteklemektedir.

Depo yer seçimi uzun vadeli stratejik bir karardır; bu nedenle, gelecek çalışmalarda zamanla değişen kriter ağırlıkları ve pazar koşullarını dikkate alan dinamik modeller geliştirilebilir. Ayrıca diğer bulanık MCDM yöntemleri (örneğin Bulanık VIKOR, Bulanık ELECTRE vb.) ile karşılaştırmalı analizler yapılabilir. Buna ek olarak, günümüzde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin işletmeler için artan önemi düşünüldüğünde, sürdürülebilir tedarik zinciri ağ tasarımı kapsamında depo yeri değerlendirme kriterlerine ekonomik faktörlere ek olarak çevresel ve sosyal faktörler de dahil edilerek sürdürülebilirlik boyutu göz önünde bulundurulabilir.

Kaynakça

- Ak, M. F., & Acar, D. (2021). Selection of humanitarian supply chain warehouse location: a case study based on the MCDM methodology. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 400-409.
- Arsılkaya, S., & Demir, A. (2023). Bir Gıda Firması için SWARA ve WASPAS Yöntemleriyle Ara Depo Yeri Seçimi. *Endüstri Mühendisliği*, 34(1), 70-85.
- Awodi, N. J., Liu, Y. K., Ayo-Imoru, R. M., & Ayodeji, A. (2023). Fuzzy TOPSIS-based risk assessment model for effective nuclear decommissioning risk management. *Progress in nuclear energy*, 155, 104524.
- Ayhan, M. B. (2013). Fuzzy TOPSIS application for supplier selection problem. *Business and Management*, 5(2).
- Balcı, H., Ayyıldız, H., & Kulaç, A. (2025). Fındıkta Depo Yer Seçimi Sorunsalının Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Analizi. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi*, 60(2).
- Baglio, M., Colicchia, C., Creazza, A., & Dallari, F. (2025). The importance of warehouses in logistics outsourcing: benchmarking the perspectives of 3PL providers and shippers. *Benchmarking: An International Journal*, 32(1), 1-25.
- Bayram, B., & Eren, T. (2023). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle afet sonrası geçici depo yeri seçimi. *Acil Yardım ve Afet Bilimi Dergisi*, 3(2), 22-30.

- C.T. Chen, Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, *Fuzzy Sets Syst.* 114 (2000) 1–9.
- Chopra, S., Meindl, P., & Kalra, D. V. (2013). *Supply chain management: strategy, planning, and operation* (Vol. 232). Boston, MA: Pearson.
- Çalık, A. Depo Yeri Seçimi için Aralık Tip-2 Bulanık ÇKKV Tabanlı Hibrit Bir Yaklaşım. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(1), 101-114.
- Demir, G. (2025). Selection of Biomass Resources with Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Methods: Alternatives for Sustainable Energy Production. *Journal of Operations Intelligence*, 3(1), 156-174.
- Demir, G., Bouraima, M. B., Badi, I., Stević, Ž., & Das, D. K. (2025). Identification of Industrial Occupational Safety Risks and Selection of Optimum Intervention Strategies: Fuzzy MCDM Approach. *Mathematics* (2227-7390), 13(2).
- Demir, G., & Chatterjee, P. (2026). Evaluating Carbon Footprint Reduction Strategies: A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach. *Optimization in Sustainable Energy: Methods and Applications*, 69-112.
- Demirci, A., & Arıkan, Ö. U. (2021). Covid-19 döneminde ilaç deposu yeri seçimi: Mersin örneği. *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 7(1), 5-27.
- Demircan, M. L., & Özcan, B. (2021). A proposed method to evaluate warehouse location for 3PL cold chain suppliers in Gulf countries using neutrosophic fuzzy EDAS. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 14(1), 202.
- Dey B, Bairagi B, Sarkar B, Sanyal SK. "Warehouse location selection by fuzzy multi-criteria decision making methodologies based on subjective and objective criteria". *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 11(4), 1-17, 2015.
- Gao, F. (2025). Evaluation of sustainable airport development strategies using an integrated intuitionistic fuzzy decision-making method and unknown weights. *Alexandria Engineering Journal*, 127, 1109-1125.
- Gergin, R. E., & Peker, İ. (2019). Literature review on success factors and methods used in warehouse location selection. *Pamukkale üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi*, 25(9), 1062-1070.
- Gergin, R. E., Peker, I., Baki, B., Tuzkaya, U. R., & Tanyas, M. (2023). Oilseed warehouse location selection with an integrated approach: a case of Turkey. *Kybernetes*, 52(9), 3667-3705.
- Gül, E., & Eren, T. (2017). Lojistik dağıtım ağ problemlerinde analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ve hedef programlama ile depo seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2(1), 1-13.
- Hwang CL, Yoon KP. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State-of-the-Art Survey*. Berlin: SpringerVerlag; 1981.
- Jayant, A. (2015). Use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problem: A case study of warehouse location selection. *Advances in Industrial Engineering and Management*, ResearchGate, 4(2), 157-164.
- Kabadayı, N., & Esen, T. E. Ç. (2021). Gri İlişkisel temelli TOPSIS yöntemi ile depo yeri seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), 169-184.
- Karmaker, C., & Saha, M. (2015). Optimization of warehouse location through fuzzy multi-criteria decision making methods. *Decision Science Letters*, 4(3), 315-334.
- Khaengkhan, M., Hotrawisaya, C., Kiranantawat, B., & Shaharudin, M. R. (2019). Comparative analysis of multiple criteria decision making (MCDM) approach in warehouse location selection of agricultural products in Thailand. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(5), 168-175.
- Kış, Ö., Can, G. F., & Toktaş, P. (2020). Bir elektrik dağıtım firması için KEMIRA-M yöntemi ile depo yeri seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26 (1), 227-240.

- Kozoderović, J., Pajić, V., & Andrejić, M. (2025). A multi-criteria analysis for e-commerce warehouse location selection using SWARA and ARAS methods. *J. Eng. Manag. Syst. Eng*, 4(2), 122-132.
- Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2019). A novel VIKOR method using spherical fuzzy sets and its application to warehouse site selection. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 37(1), 1197-1211.
- Liang, X., Ma, W., Ren, J., Dang, W., Wang, K., Nie, H., ... & Yao, T. (2022). An integrated risk assessment methodology based on fuzzy TOPSIS and cloud inference for urban polyethylene gas pipelines. *Journal of Cleaner Production*, 376, 134332.
- Liao, C. N., & Kao, H. P. (2011). An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 10803-10811.
- Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161, 113738.
- Maharjan, R., & Hanaoka, S. (2017). Warehouse location determination for humanitarian relief distribution in Nepal. *Transportation research procedia*, 25, 1151-1163.
- Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., & Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of manufacturing systems*, 50, 9-24.
- Nădăban, S., Dzitac, S., & Dzitac, I. (2016). Fuzzy TOPSIS: a general view. *Procedia computer science*, 91, 823-831.
- Ocampo, L., Genimelo, G. J., Lariosa, J., Guinitaran, R., Borromeo, P. J., Aparente, M. E., ... & Bongo, M. (2020). Warehouse location selection with TOPSIS group decision-making under different expert priority allocations. *Engineering Management in Production and Services*, 12(4), 22-39.
- Oral, N., Yapıcı, S., Yumuşak, R., & Eren, T. (2021). Pandemi sürecinde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için ilaç deposu ve aşı dağıtım merkezi yeri seçimi. *Politeknik Dergisi*, 25(4), 1397-1409.
- Özbek, A., & Erol, E. (2016). COPRAS ve MOORA yöntemlerinin depo yeri seçim problemine uygulanması. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 2(1), 23-42.
- Pamuçar, D., Žižović, M., Biswas, S., & Božanić, D. (2021). A new logarithm methodology of additive weights (LMAW) for multi-criteria decision-making: Application in logistics. *Facta universitatis, series: mechanical engineering*, 19(3), 361-380.
- Pamuçar, D., Ecer, F., Gligorić, Z., Gligorić, M., & Deveci, M. (2023). A novel WENSLO and ALWAS multicriteria methodology and its application to green growth performance evaluation. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 9510-9525.
- Pour, P. D., Ahmed, A. A., Nazzal, M. A., & Darras, B. M. (2023). An industry 4.0 technology selection framework for manufacturing systems and firms using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Systems*, 11(4), 192.
- Rathi, R., Khanduja, D., & Sharma, S. (2015). Six sigma project selection using fuzzy TOPSIS decision making approach. *Management Science Letters*, 5(5), 447-456.
- Razak, S. A., Ramli, N., Azmi, M. I. H. N., Nor, M. I. M., & Noreddie, H. A. H. (2024, September). Fuzzy Topsis with Ratings Based on Sub-Criteria for Selection of Supplier. In *2024 5th International Conference on Artificial Intelligence and Data Sciences (AiDAS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Richards, G. (2017). Warehouse management: a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse. Kogan Page Publishers.
- Sanjari-Parizi, M., Sazvar, Z., Nayeri, S., & Mehrizade, R. (2024). Novel decision-making methods for the sustainable warehouse location selection problem considering the value alteration boundaries and accumulation of alternatives. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 26(9), 2977-3002.

- Sharma, M., Gupta, R., & Premchandani, S. (2023). Warehouse location selection using AHP: a case of third-party logistics provider in India. *International Journal of Supply Chain and Inventory Management*, 4(2), 107-133.
- Singh, R. K., Gunasekaran, A., & Kumar, P. (2018). Third party logistics (3PL) selection for cold chain management: a fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS approach. *Annals of Operations Research*, 267(1), 531-553.
- Subramanian, S. P., Pandian, P., Sivaprakasam, R., & Kadarkarai, J. (2025). A Novel Machine Learning Framework for Optimized Supplier Selection Using the Weights by ENvelope and SLOpe (WENSLO) Technique. *Applied Operations and Analytics*, 1(1), 1-10.
- Sun, C. C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert systems with applications*, 37(12), 7745-7754.
- Şahin, G., & Cebi, S. (2025). A Literature Review on Warehouse Location Selection-Selection Criteria and Fuzzy Methods. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (pp. 448-456). Springer, Cham
- Şeker, Ö., & Alakaş, H. M. (2019). Bir lojistik firması için çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile İç Anadolu bölgesinde depo yeri seçimi. *Academic Perspective Procedia*, 2(3), 841-850.
- Şevkli, M., Zaim, S., Turkyilmaz, A., & Satir, M. (2010, July). An application of fuzzy Topsis method for supplier selection. In *International Conference on Fuzzy Systems* (pp. 1-7). IEEE.
- Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M., Kabli, M. R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing*, 17, 105-116.
- Thuengnaitham, A. (2022). Application of Analytic Hierarchy Process for Fulfillment Warehouse Location Selection. *International Scientific Journal Of Engineering And Technology (ISJET)*, 6(1), 8-15.
- Tirmikcioglu, N. (2021). Sezgisel Bulanık WASPAS yöntemi ve depo yeri seçimi problemi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(6), 1330-1342.
- Torfi, F., & Rashidi, A. (2011). Selection of project managers in construction Firms using analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy Topsis: a case study. *Journal of Construction in Developing Countries*, 16(1), 69-89.
- Tuğrul, F. (2022). Personnel selection utilizing the decision making mechanism created with the intuitionistic fuzzy topsis method. *Mugla journal of science and technology*, 8(2), 16-21.
- Turgut, M., & Şahin, A. Y. (2019). Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Yaş Sebze ve Meyve Depo Yeri Seçimi: Mersin İli Uygulaması. *Mersin Üniversitesi Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 42-59.
- Ulutaş, A., Balo, F., Sua, L., Demir, E., Topal, A., & Jakovljević, V. (2021). A new integrated grey MCDM model: Case of warehouse location selection. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 19(3), 515-535.
- Vanichchinchai, A., & Apirakkhit, S. (2018). An identification of warehouse location in Thailand. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*.
- Varchandi, S., Memari, A., & Jokar, M. R. A. (2024). An integrated best–worst method and fuzzy TOPSIS for resilient-sustainable supplier selection. *Decision Analytics Journal*, 11, 100488.
- Yapıcı, S., Yumuşak, R., & Eren, T. (2020). Çok kriterli karar verme yöntemleri ile medikal depo yeri seçimi. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi E-Dergi*, 9(2), 203-221.
- Yayla, A., Yıldız, A., & Özbek, A. (2012). Fuzzy TOPSIS method in supplier selection and application in the garment industry. *Fibres & Textile*
- Zare, Z., Ashrafzadeh, M., & Karatas, M. (2025). A Hybrid Fuzzy AHP and TOPSIS Approach for Warehouse Location Selection. *Computer and Decision Making: An International Journal*, 2, 613-632.
- Zadeh L.A. (1965), Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, pp. 338-353, 1965.
- Zouggari, A., & Benyoucef, L. (2012). Simulation based fuzzy TOPSIS approach for group multi-criteria supplier selection problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(3), 507-519.

Warehouse Location Selection Using Fuzzy WENSLO and Fuzzy TOPSIS: A Case Study of A 3PL Service Provider in Turkey

Sündüs DAĞ* 

Nihan KABADAYI** 

In today's competitive environment, supply chain management is critical to firms' competitive success. Ensuring efficient and reliable flows of information, financial resources, products, materials, and services across the supply chain is fundamental to its effectiveness. Facility location decisions within the supply chain are strategic level decisions that have long-term impacts on overall supply chain performance. Accurate facility location decisions within the supply chain can substantially reduce total supply chain costs (Chopra, 2013). Moreover, warehousing costs account for a sizable proportion of overall supply chain costs. Depending on the industry and the value of stored products, warehouse operating costs typically range from about 1% to 15% of total sales. In addition, storage costs account for roughly 22% of firms' total logistics costs, further underscoring the strategic importance of decisions in this area (Richards, 2017). Therefore, warehouse location selection is a strategic decision-making process that directly affects a company's supply chain operational costs, service level, and overall performance. Addressing this decision in alignment with a company's competitive strategies and supply chain structures is critically important for sustainable success. Especially for 3PL (third-party logistics) service provider companies, determining appropriate warehouse locations that can meet the supply chain requirements of clients operating in different sectors is a strategic necessity for customer satisfaction, operational efficiency, and long-term profitability.

Warehouse location is a strategic decision that can significantly affect a company's future operating costs and speed, so it requires careful analysis and calculation. Companies should make this decision after a thorough assessment by an expert team. Warehouse location selection is a typical multi-criteria decision-making (MCDM) problem that requires evaluating numerous alternatives based on multiple criteria. When uncertainty and expert judgment-based evaluations are involved in assessing the criteria or alternatives, Fuzzy MCDM methods produce effective results. These methods provide a structured analytical framework for the evaluation of numerous quantitative and qualitative criteria, thereby reducing subjectivity and enabling more objective, evidence-based, and robust conclusions.

* Istanbul University School of Business, skumpas@istanbul.edu.tr, ORCID:0000-0003-2413-2887

** Istanbul University School of Business, nihank@istanbul.edu.tr, ORCID:0000-0003-1950-4877

For this reason, fuzzy MCDM approaches are increasingly adopted for strategic decisions—such as warehouse location selection—in which multiple alternatives must be evaluated against multi-factor trade-offs (Kozoderović et al., 2025).

The purpose of this study is to propose a decision support model for the warehouse location decision, which is of critical importance for firms. To the best of our knowledge, Fuzzy WENSLO and Fuzzy TOPSIS have not been previously combined for the warehouse location problem, and no study on Fuzzy WENSLO exists in the Turkish literature. In addition, although warehouse location is a strategic decision for 3PL firms, the number of studies on this topic is limited. For these reasons, this study aims to contribute to the literature in several aspects. To mitigate uncertainty and subjective judgments in location selection, we develop an integrated model combining Fuzzy WENSLO and Fuzzy TOPSIS. Unlike mean-based prioritization methods, WENSLO leverages range, slope, and envelope information when deriving criterion weights, enabling a more nuanced and balanced distribution. As a relatively recent method, empirical applications in the literature remain limited. Fuzzy TOPSIS is then used to evaluate of alternative warehouse locations due to its ease of implementation and its ability to handle data on different scales.

In the empirical application, we assess the warehouse location problem of a 3PL service provider operating in Turkey to examine the model's performance on a real-world decision. Guided by the literature and expert opinions, fifteen evaluation criteria were identified; labor cost (C1), land cost (C2), transportation cost (C3), tax relief and incentive rates (C4), workforce availability and quality (C5), demographic factors (C6), labor availability (C7), proximity to ports (C8), proximity to highways (C9), land size (C10), expansion potential (C11), infrastructure (utilities) (C12), proximity to customs facilities (C13), proximity to markets/customers (C14), and proximity to producers/suppliers (C15). The Fuzzy WENSLO phase indicates that land cost carries the highest weight (C2-0.335), followed by tax relief and incentive rates (C4 – 0.213), expansion potential (C11 – 0.180), and land size (C10 – 0.106), highlighting the prominence of cost and scalability dimensions. In contrast, transportation cost and labor cost receive comparatively lower weights in this case context. Combining these weights with Fuzzy TOPSIS, we find that Gemlik achieves the highest closeness to the ideal solution and thus emerges as the most suitable location. This outcome aligns with the emphasized dimensions of cost and scalability—Gemlik offers a lower total cost of ownership, larger parcels, and capacity for future growth—while proximity to port and customs and regional highway access provide additional benefits in handling efficiency and transit times for import-export-oriented customers. Overall, selecting Gemlik is consistent with the firm's strategic priorities and supports a cost-effective, scalable distribution network design.