Endüstri Mühendisliği / Journal of Industrial Engineering

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

TERSİNE LOJİSTİK BARİYERLERİNİ AŞMAYA YÖNELİK TEKNOLOJİ ALTERNATİFLERİNİN SEÇİMİ VE ÖNEMİNE GÖRE SIRALANMASI: BULANIK PSI VE COCOSO YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

Eren KAMBER[1*]

[1]Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, ANTALYA

ORCID No : http://orcid.org/0000-0002-6426-9936

Anahtar Kelimeler

Tersine lojistik, Bulanık çok kriterli karar verme, Bulanık CoCoSo, Bulanık PSI, Sürdürülebilir tedarik zinciri

Öz

Bu çalışma, tersine lojistik süreçlerinde karşılaşılan bariyerleri aşmaya yönelik teknoloji alternatiflerinin seçim sürecini değerlendirmektedir. Literatürde tersine lojistik uygulamalarının sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi açısından kritik bir rol oynadığı belirtilmekte, ancak operasyonel, ekonomik ve düzenleyici engellerin bu süreçleri karmaşık hale getirdiği vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, çalışmada tersine lojistik bariyerleri kapsamlı bir literatür taraması ile belirlenmiş ve çözüm olarak değerlendirilebilecek teknoloji alternatifleri bulanık çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleriyle analiz edilmiştir. Çalışmada, kriterlerin ağırlıklandırılması için bulanık PSI (Preference Selection Index) yöntemi, teknoloji alternatiflerinin sıralanması için ise bulanık CoCoSo (Combined Compromise Solution) yöntemi kullanılmıştır. Bulanık mantık çerçevesinde gerçekleştirilen bu analizler, belirsizlik içeren karar süreçlerinde alternatiflerin daha gerçekçi bir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, Endüstri 4.0 teknolojilerinin tersine lojistik süreçlerinde en etkili çözüm olduğunu göstermektedir. Otomasyon sistemleri, yapay zekâ destekli lojistik yönetimi ve akıllı depolama çözümleri, tersine lojistik operasyonlarının etkinliğini artırarak sürecin

*Sorumlu yazar; e-posta : eren.kamber@alanya.edu.tr

doi : https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1657883

daha sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasını mümkün kılmaktadır. Çalışma, tersine lojistik süreçlerinde teknolojik çözümlerin sadece operasyonel verimlilik sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda maliyetleri düşürme, atık yönetimini optimize etme ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine katkı sağlama potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Karar vericilere yönelik kapsamlı bir analiz sunan bu araştırma, bulanık ÇKKV yöntemlerinin tersine lojistik alanında nasıl uygulanabileceğini göstermesi bakımından da literatüre önemli katkılar sağlamaktadır.

SELECTION OF TECHNOLOGY ALTERNATIVES TO OVERCOME REVERSE LOGISTICS BARRIERS AND RANKING THEM ACCORDING TO THEIR IMPORTANCE: APPLICATION OF FUZZY PSI AND COCOSO METHODS

Keywords

Reverse logistics, Fuzzy multi-criteria decision-making, Fuzzy CoCoSo, Fuzzy PSI, Sustainable supply chain

Abstract

This study evaluates the selection process of technology alternatives aimed at overcoming barriers in reverse logistics processes. The literature underscores the critical role of reverse logistics applications in sustainable supply chain management, yet operational, economic, and regulatory challenges complicate their implementation. In this context, the study identifies reverse logistics barriers through a comprehensive literature review and analyzes potential technological solutions using fuzzy multi-criteria decision-making (MCDM) methods. The study employs the fuzzy Preference Selection Index (PSI) method for weighting the criteria and the fuzzy Combined Compromise Solution (CoCoSo) method for ranking technology alternatives. Conducting analyses within the framework of fuzzy logic enables a more realistic evaluation of alternatives in decision-making processes involving uncertainty. The findings indicate that Industry 4.0 technologies provide the most effective solution for reverse logistics processes. Automation systems, artificial intelligence-assisted logistics management, and smart storage solutions enhance the efficiency of reverse logistics operations, fostering a more sustainable framework. The study demonstrates that technological solutions in reverse logistics not only improve operational efficiency but also reduce costs, optimize waste management, and contribute to sustainable supply chain management. By offering a comprehensive analysis for decision-makers, this research makes a significant contribution to literature by illustrating the application of fuzzy MCDM methods in reverse logistics.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 14.03.2025	Submission Date	: 14.03.2025
Kabul Tarihi	: 07.07.2025	Accepted Date	: 14.03.2025

1. Giriş

Tedarik zinciri yönetimi kavramı son yıllarda tanımlarına "daha yeşil" ve “daha çevre dostu” bir vizyon ekleyerek değişikliklere uğramıştır (Srivastava, 2008). Bu kavram, birçok araştırma başlığı ve makalede görülmektedir. Firmalar birbirleriyle rekabet içerisinde olurken firma kıyaslamaları yerine firmalar, tedarik zincirleri ile kıyaslanmaya başlamıştır (Hult, Ketchen ve Arrfelt, 2007). Tedarik zinciri ise tersine lojistik konuları ile birlikte düşünülmekte ve ilişkilendirilmektedir. Tedarik zincirindeki üreticiden müşteriye ürün ve bilgi akışına zıt bir akışa odaklanan tersine lojistik, müşteri kullanımından sonra ürünlere ne olduğuna odaklanmaktadır (Plaza-Úbeda, Abad-Segura, de Burgos-Jiménez, Boteva-Asenova ve Belmonte-Ureña, 2020).

Politikacılar ve karar vericiler, tedarik zincirleri boyunca organizasyonlarının her bir faaliyetinde çevresel sorunları göz önünde bulundurmalıdır (Kannan, de Sousa Jabbour ve Jabbour, 2014). Birçok işletme, atıkların azaltılmasına ve kullanılmış ürünlerin iadesinden değer yaratılmasına odaklanan sürdürülebilirlik geliştirme politikalarına ve stratejilerine tersine lojistik kavramını uygulamıştır (Sirisawat ve Kiatcharoenpol, 2018).

Tersine lojistik uygulamalarının büyük karmaşıklığı, firma için zor bir rekabet avantajı kaynağı olabilmektedir (Amini, Retzlaff-Roberts ve Bienstock, 2005; Gukaliuk ve Katsma, 2017). Bu karmaşıklık, tersine lojistik uygulamalarının firma için yaratabileceği tüm avantajlara rağmen, belirli engeller oluşturabilmektedir (Plaza-Ubeda ve diğ., 2020).

Tersine lojistik uygulamalarının uyarlanması, üreticilerin çevre üzerindeki kullanım ömrü sonu ürünlerinin yükünü azaltarak kirliliği en aza indirmelerine yardımcı olabilmektedir (Prakash ve Barua, 2016). Ancak, işletmelerin tersine lojistik uygulamalarını yapmaya veya uygulamaktan kaçınmaya karar vermesinin birkaç nedeni vardır. Araştırmacılar, gelişmiş ülkelerde tersine lojistiğin uygulanmasının önündeki farklı engelleri vurgulamaktadır. Bunlar arasında yüksek işleme maliyetleri, yüksek depolama ve taşıma maliyetleri, zayıf atık yönetimi, yetersiz zaman taahhüdü, tersine lojistiğe yönelik entegre kurumsal tedarik zinciri stratejilerinin olmaması, tersine lojistik operasyonları hakkında düşük farkındalık ve üst yönetimin tersine lojistik faaliyetlerine ve işlevsel önceliklere ilgi duymaması yer almaktadır (Gunasekaran ve Ngai, 2012; Guide ve Van Wassenhove, 2009). Bu engeller ve ciddiyetleri firmadan firmaya değişmektedir.

Çalışma kapsamında tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik teknoloji alternatiflerinin seçimi problemi ele alınmıştır. Tersine lojistik bariyerleri kapsamlı literatür taraması sonucunda belirlenmiştir. Tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik teknoloji alternatifleri Wen, Liao, Zavadskas ve Al-Barakati (2019) tarafından geliştirilmiş olan bulanık CoCoSo (Combined Compromise Solution) yöntemi ile önceliklendirilmiştir. Kriter ağırlıklandırılması için ise Ulutaş, Popovic, Radanov, Stanujkic ve Karabasevic

(2021) tarafından önerilen bulanık PSI (Preference Selection Index) yöntemi kullanılmıştır.

Gerçek dünya problemlerinde, muhtemelen birden fazla çelişen kriter açısından değerlendirilmesi gereken bazı alternatiflerle karşı karşıya kalınmaktadır. Çok kriterli karar verme (ÇKKV), böyle bir durumda karar vermeyi ifade etmektedir. Bununla birlikte, bazı karmaşık problemlerde ilgili bilgiler genellikle doğru bir şekilde bilinmemektedir. Bu belirsizlik, karar alma sürecini karmaşık ve zorlu hale getirmektedir (Ghorabaee, Zavadskas, Amiri ve Turskis, 2016). Bulanık küme teorisi, bu tür öznel ve kesin olmayan bilgilerle başa çıkmak için Zadeh (1965) tarafından önerilmiştir. Bu teori, belirsiz bir ortamda ÇKKV problemleri için çok etkili bir modelleme aracıdır. Bulanık kümeler tarafından tanımlanan dilsel terimler genellikle bulanık karar alma sürecinde belirsiz bilgileri temsil etmek için kullanılmaktadır (Ghorabaee, Amiri, Sadaghiani ve Zavadskas, 2015).

Çalışmanın motivasyonu ve literatüre yaptığı başlıca katkılar şu şekilde listelenmiştir:

- Tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik teknoloji alternatiflerinin seçimi problemi bulanık CoCoSo yöntemi ile ele alınmış, bulanık sayı ortamında belirsizlik yöntemleri kullanılmıştır.
- Bulanık CoCoSo ve bulanık PSI yöntemlerini birlikte kullanmak, bulanık CoCoSo yönteminin çözüm perspektifini geliştiren bu makalenin yenilikleri arasında yer almaktadır.
- Bulanık CoCoSo yöntemi de dilsel değişkenlerle çalışabilmektedir (Örneğin, çalışmada dilsel ifadelerin bulanık sayılara dönüştürülmesi için Stanujkic (2015) tarafından geliştirilen ölçeğin kullanılması). Ele alınan karar probleminde bazı çelişkili kriterler varsa, bu yöntem çok faydalı olabilmektedir. Bu nedenle, önerilen entegre metodoloji gerçek karar alma problemlerine daha yakın sonuçlar verebilmektedir (Ecer ve Pamucar, 2020).

Çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde yapılandırılmıştır. Bölüm 2'de, tersine lojistik bariyerleri ve bulanık sayılar hakkındaki bilimsel yazın taraması sunulmaktadır. Bölüm 3'te, bulanık sayılar, bulanık CoCoSo yöntemi ve bulanık PSI yöntemi açıklamaları ve çözüm adımları verilmiştir. Bölüm 4'te, bulanık CoCoSo ve bulanık PSI yöntemleri kullanılarak tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik teknoloji alternatiflerinin seçimi problemi için uygulama gerçekleştirilmiştir. Son olarak, çalışmanın tartışması Bölüm 5'te, sonuçları ise Bölüm 6'da aktarılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Çalışmanın bu kısmında, tersine lojistik bariyerleri ve bulanık mantık, literatür taraması ile ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2.1. Tersine Lojistik Bariyerleri

Tersine lojistik, genel anlamda hammadde, yarı mamul veya nihai ürünlerin yeniden üretimi, yenilenmesi, dönüştürülmesi, bakım ve onarımının gerçekleştirilmesi yoluyla değer kazandırılması ya da uygun koşullarda bertaraf edilmesini kapsayan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra, ürünlerin son kullanma tarihinin dolması, hasar görmesi, sipariş hataları, fazla stok birikimi ve geri çağırma gibi etmenler, bu ürünlerin tedarik zinciri boyunca tersine hareket etmesine neden olan başlıca faktörler arasındadır. Tersine lojistik, yalnızca atık yönetimi ile sınırlı olmayıp, ürünlerin çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesini ve geri kazanılmasını sağlayan tüm süreçleri içermektedir. Bu aşamalar, ulusal ve uluslararası düzenlemelere ve hizmetin gerekliliklerine uygun biçimde planlanmakta, uygulanmakta ve denetlenmektedir. Temel amacı, iade edilen ürünlerden maksimum ekonomik ve çevresel faydayı sağlamak ve tedarik zincirindeki geri akış süreçlerini optimize ederek toplam tersine lojistik maliyetlerini en aza indirmektir (Kannan, Pokharel ve Kumar, 2009).

Yeşil ürünlere yönelik talebin artması ve tedarik zinciri boyunca müşteriler ile diğer paydaşlardan gelen baskılar, işletmelerin çevresel sürdürülebilirlik ve yeşil yönetim uygulamalarına daha fazla odaklanmasına neden olmuştur. Özellikle elektronik endüstrisinde faaliyet gösteren birçok şirket, yeşil tedarik zinciri yönetimi ilkelerini benimsemenin stratejik önemini giderek daha fazla fark etmektedir. Tersine lojistik uygulamaları, mevzuata ve çevre dostu yönetim ilkelerine uyum sağlayarak kaynak kullanım verimliliğini artırmak ve kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerden kaynaklanan atıkları en aza indirmek için etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Sirisawat ve Kiatcharoenpol, 2018).

Tersine lojistik ve ürün geri alma süreçleri, kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayarak çevresel etkileri azaltmayı hedefleyen önemli stratejiler arasında yer almaktadır (Bouzon, Govindan ve Rodriguez, 2015). Rogers ve Tibben-Lembke (2001) ile Carbone ve Moatti (2008) tarafından gerçekleştirilen anket çalışmaları, tersine lojistik uygulamalarının geliştirilmesindeki en temel motivasyonun müşteri hizmetlerini ve memnuniyetini artırma amacı taşıdığını göstermektedir. Günümüzde rekabet avantajı yalnızca üretim ve satış süreçleriyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda tersine lojistik kapsamında sunulan hizmetlerle de şekillenmektedir.

Bir diğer önemli motivasyon, işletmelerin artan geri alma politikalarına uyum sağlama gerekliliği ve mevcut çevresel düzenlemelere uygun hareket etme zorunluluğudur. Genişletilmiş üretici sorumluluğu çerçevesinde, şirketlerin yalnızca üretim aşamasında değil, ürünlerinin tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinden sorumlu tutulması hedeflenmektedir (Byrne ve Deeb, 1993).

Tersine lojistik kapsamında ürünlerin geri dönüşüne yol açan temel nedenler ve bunlara ilişkin alt kategoriler, ilgili literatürde ayrıntılı olarak ele alınmakta olup, Tablo 1'de sistematik bir şekilde sunulmaktadır (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001; Brito, Flapper ve Dekker, 2002; Brito ve Dekker, 2003).

Tablo 1

Tersine lojistik ürün geri dönüş nedenleri

Tersine Lojistik Ürün Geri Dönüş Nedenleri	Açıklama
Üretici Dönüşleri	Ürünün kalite kontrolde başarısız olması
	Ürünün hammadde fazlası olması
	Üretim fazlası olması
Dağıtıcı Dönüşleri	Kullanım ömrü dolmuş ürünler
	Satılamamış / stok fazlası ürünler
	Yanlış veya hasarlı teslimat yapılması
	Mevsime bağlı değişkenlikler, stok ayarlamaları
Müşteri Dönüşleri	Değer kazanımı
	Kullanım sonrası dönüşler
	Ürünlerin tamir edilerek tekrar kullanılması
	Garanti kapsamındaki dönüşler
	Zararlı malzemeler ile ilgili yasal düzenlemeler
	Yaşam sonu dönüşleri Ürünün hasarlı olması veya kullanıcının ürünün hatalı/ hasarlı olduğunu düşünmesi
Fonksiyonel Dönüşler	Paketleme malzemeleri, konteyner, paket, palet, kutu gibi ürünlerin yeniden kullanılabilir olması
Üreticinin Ürünleri Geri Çağırması	Üründeki hata, sağlık problemleri veya güvenlik ile üreticinin ürünü geri çağırması

Tersine lojistik uygulamaları; çevresel kaygılar, hükümet politikaları, sürdürülebilirlik gereklilikleri, pazarın küreselleşmesi, ürün garanti iadeleri ve kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin yönetimi gibi faktörler doğrultusunda literatürde geniş bir yer bulmaktadır (Ali, Arafin, Moktadir, Rahman ve Zahan, 2018; Govindan ve Bouzon, 2018). Bununla birlikte, tersine lojistik süreçleri,

tedarik zincirlerinin etkinliğini ve uygulanabilirliğini doğrudan etkileyen çeşitli mali ve operasyonel engeller içermektedir (Prajapati, Kant ve Shankar, 2019).

Tersine lojistik kavramı birçok işletme tarafından yaygın olarak benimsenmiş olsa da, bu süreçlerin etkin bir şekilde uygulanmasını zorlaştıran ve başarısızlığa yol açabilen çeşitli engeller mevcuttur. Bu engellerin her biri farklı dinamiklere sahip olduğundan, tümünün eş zamanlı olarak ortadan kaldırılması mümkün değildir ve her biri için spesifik çözümler veya stratejiler gerekmektedir (Prakash ve Barua, 2016). Bu doğrultuda, tersine lojistikte karşılaşılan engellerin etkili bir şekilde yönetilebilmesi için, önceliklendirme ve çözüm stratejilerinin sistematik bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir (Sirisawat ve Kiatcharoenpol, 2018).

Geri dönüşlerin düzensiz ve bireysel olarak gerçekleşmesi, tersine lojistik süreçlerinde ölçek ekonomisinden yararlanmayı zorlaştırarak operasyonel verimliliği olumsuz etkilemektedir (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001). Ayrıca, iade edilen bir ürünün en yüksek getiriyi sağlayacak şekilde nasıl değerlendirileceğinin belirlenmesi için uzman görüşüne ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, bu karar sürecinin uzaması, tersine lojistik faaliyetlerinin etkinliğini azaltmakta ve ürünlerden geri kazanılabilecek değerin düşmesine neden olmaktadır. Bu durum, tersine lojistik yönetiminde önemli bir operasyonel zorluk olarak öne çıkmaktadır (Blackburn, Guide, Souza ve Van Wassenhove, 2004).

Tersine lojistik yönetimi, tüketim noktasından üretim noktasına doğru gerçekleşen ürün geri akışının etkin bir şekilde yönetilmesini ifade etmektedir. Ancak, bu süreç ileri lojistik yönetimi ile karşılaştırıldığında kendine özgü birçok zorluk ve engel içermektedir. İleri lojistikte, talep tahminleri doğrultusunda önceden stratejik planlamalar yapılabilirken, tersine lojistikte iade edilecek ürünlerin durumu, miktarı ve geri dönüş zamanlaması gibi değişkenlerin belirsizliği, sürecin yönetimini önemli ölçüde karmaşık hale getirmektedir. Bu belirsizlik, tersine lojistik faaliyetlerinin etkin bir şekilde planlanmasını zorlaştıran temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001).

Günümüzde işletmeler, tersine lojistik yönetiminin stratejik önemini giderek daha fazla fark etse de, özellikle bilgi ve deneyim eksikliği başta olmak üzere çeşitli nedenlerden dolayı bu süreçlerin tasarımı ve uygulanmasında önemli zorluklarla karşılaşmaktadırlar. Bu zorluklar arasında en yaygın olanlardan biri mali ve ekonomik bariyerlerdir. Tersine lojistik süreçleri, özellikle toplama ve taşıma gibi operasyonlar açısından yüksek maliyet gerektirmekte, bu durum işletmeler için önemli bir finansal yük oluşturmaktadır. Yüksek ilk yatırım gereksinimleri, işletme maliyetlerinin fazlalığı ve düşük yatırım getirisi nedeniyle tersine lojistik uygulamalarının kârlılığı sınırlanmakta, bu da işletmelerin söz konusu süreçleri benimsemesini zorlaştırmaktadır (Prakash ve Barua, 2016). Ayrıca, ekonomik belirsizlikler ve sermayeye erişimde yaşanan

kısıtlamalar, tersine lojistiğin uygulanabilirliğini daha da sınırlayan faktörler arasında yer almaktadır.

Tersine lojistik, büyük ölçüde gelişmiş altyapı ve teknolojilere bağımlı olup, bu unsurların eksikliği önemli bir kısıtlama oluşturabilmektedir. Geri dönüşüm teknolojileri, toplama, depolama ve nakliye süreçleri gibi lojistik operasyonlar, tersine lojistiğin etkinliğini doğrudan etkileyen temel unsurlardır. Bununla birlikte, lojistik tesislerin yetersizliği ve yol koşullarındaki eksiklikler, tersine lojistik süreçlerinde operasyonel verimliliği azaltan kritik engeller arasında yer almaktadır (Bouzon, Govindan ve Rodriguez, 2018; Waqas, Dong, Ahmad, Zhu ve Nadeem, 2018).

Literatürde, tersine lojistik uygulamaları sırasında karşılaşılan çeşitli engellere sıklıkla değinilmektedir. Rogers ve Tibben-Lembke (2001), tersine lojistik süreçlerinin yüksek maliyetler ve ek insan kaynağı gereksinimi gibi finansal ve operasyonel zorluklar içerdiğini belirtmiştir. Bunun yanı sıra, planlama süreçlerindeki karmaşıklık ve belirsizlikler de tersine lojistiğin etkin uygulanmasını zorlaştıran faktörler arasında yer almaktadır (Fleischmann ve Fleischmann, 2001; Srivastava, 2008). Ancak, en kritik engellerden biri, tersine lojistiğin stratejik öneminin yeterince anlaşılamaması ve bu süreçlerin çevresel sürdürülebilirlik açısından sağladığı faydaların göz ardı edilmesidir. Özellikle tersine lojistiğin yalnızca atık yönetimiyle ilişkilendirilmesi ve işletmeler tarafından geri dönüşü olmayan bir maliyet unsuru olarak görülmesi, bu alandaki uygulamaların yaygınlaşmasını sınırlayan önemli bir algısal bariyer olarak öne çıkmaktadır (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001; Šomplák, Kůdela, Smejkalová, Nevrlý, Pavlas ve Hrabec, 2019).

Prajapati ve diğ. (2019) çalışmalarında, tersine lojistik süreçlerinde karşılaşılan bariyerleri belirlemek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirmiştir. Bu doğrultuda, herhangi bir yöntem uygulanmadan önce tersine lojistik uygulamalarını kısıtlayan engeller literatürde tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Çalışmada, belirlenen 34 farklı bariyer altı ana kategori altında gruplandırılmıştır. Bu kategoriler; operasyonel engeller, çevresel ve düzenleyici engeller, ekonomik engeller, sosyo-kültürel engeller, stratejik engeller ve teknolojik engeller olarak sıralanmaktadır.

Govindan ve Bouzon (2018), tersine lojistik uygulamalarının önündeki 36 farklı bariyeri incelemiş ve bu engeller arasında yönetim farkındalığının yetersizliği ile üst yönetim desteğinin eksikliğini en kritik iç bariyerler olarak belirlemiştir. Benzer şekilde, Pumpinyo ve Nitivattananon (2014) çalışmalarında dört temel tersine lojistik bariyerini tespit etmiş ve bu engelleri finansal kısıtlar, yetersiz yönetim yetkinliği, düşük teknolojik kapasite ve yasal düzenlemelerdeki eksiklikler olarak sıralamışlardır. Bu faktörler, tersine lojistik süreçlerinin etkin şekilde uygulanmasını engelleyen başlıca unsurlar arasında yer almaktadır.

Sirisawat ve Kiatcharoenpol (2018) çalışmalarında, tersine lojistik süreçlerinde karşılaşılan bariyerleri aşmaya yönelik dört temel çözüm önermektedir. Bu

çözümler; üst yönetimin tersine lojistik uygulamalarına yönelik desteğinin ve farkındalığının artırılması, tedarik zinciri paydaşları arasında güçlü işbirlikleri ve koordinasyonun sağlanması, ilgili teknolojilere yatırım yaparak operasyonel verimliliğin artırılması ve sürdürülebilir tersine lojistik uygulamalarını destekleyecek sağlam stratejilerin geliştirilmesi şeklinde sıralanmaktadır. Bu çözümlerin bütüncül bir şekilde ele alınması, tersine lojistik süreçlerinin etkinliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır.

Araştırmalar, kuruluşların tersine lojistik konusunda eğitim almış veya bu alandaki çevresel düzenlemeler hakkında bilgi sahibi olan vasıflı profesyonellere yeterli ölçüde sahip olmadığını ortaya koymaktadır. Genel olarak, işletmelerde bilgi yönetimi sistemleri ve tersine lojistik süreçlerine yönelik teknolojik altyapı yatırımları yetersiz kalmaktadır. Üst yönetimin tersine lojistik uygulamalarını benimseme konusundaki taahhüdünün eksikliği veya bu alana yönelik inisiyatif geliştirmemesi, tersine lojistiğin organizasyonel öncelikler arasında daha düşük bir konumda değerlendirilmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, imha lisansları gibi düzenleyici süreçlerdeki sınırlamalar ve genel olarak değişime karşı direnç, tersine lojistiğin benimsenmesini zorlaştıran diğer önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, kurumsal sosyal sorumluluk anlayışının eksikliği ve etik standartların yeterince benimsenmemesi de tersine lojistik uygulamalarının yaygınlaşmasını engelleyen kurumsal politikalar arasında değerlendirilmektedir (Waqas ve diğ., 2018).

İşletmeler, operasyonlarını yürütme, tedarik zinciri süreçlerini etkin bir şekilde yönetme ve tersine lojistik kapsamında ortaklıklar oluşturma konusunda çeşitli zorluklarla karşılaşabilmektedir. Tedarik zinciri ortakları arasındaki koordinasyon eksikliği, tersine lojistik süreçlerinin sürekliliğini tehdit eden önemli engellerden biri olarak değerlendirilmektedir ve bu durum birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Bouzon ve diğ., 2015). Bunun yanı sıra, geri kazanım pazarlarının yeterince gelişmemiş olması, iade edilen ürünlerin kalitesine ve iade zamanlamasına ilişkin belirsizlikler gibi faktörler, işletmelerin geri dönüştürülmüş veya yeniden üretilmiş ürünleri pazarlamasını güçleştiren başlıca sorunlar arasında yer almaktadır. Tüketiciler, tersine lojistik süreçlerinde kritik bir rol oynamakta olup, özellikle kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin iadesi konusunda farkındalık ve motivasyon eksikliği, tersine lojistik uygulamalarının etkinliğini sınırlayan önemli bir engel olarak öne çıkmaktadır (Waqas ve diğ., 2018).

Tersine lojistik alanında gelişmekte olan ülkelere odaklanan çalışmaların sayısının sınırlı olması şaşırtıcı değildir. Zira bu süreç, gelişmekte olan ülkelerde henüz başlangıç aşamasında iken, gelişmiş ülkelerde tedarik zinciri yönetiminin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Gelişmiş ülkelerde tersine lojistik uygulamalarının önündeki temel engelleri inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Avrupa'da düzenlemeler, farkındalık düzeyi, halkın katılımı, kaynakların yeterliliği ve devlet desteği açısından tersine lojistiğin uygulanabilirliğini destekleyen güçlü kanıtlar bulunmasına rağmen, uygulamada

kritik noktaların azlığı dikkat çekmektedir. Avrupa ülkelerinde tersine lojistiğin zorunlu olduğu iyi bilinse de, bu süreçlerin etkin uygulanmasında üst yönetim farkındalığının yetersizliği gibi önemli engeller hala varlığını sürdürmektedir (Zhang, Huang ve He, 2011).

2.2. Bulanık Mantık

Gerçek dünya karar verme problemleri, genellikle tam olarak bilinmeyen kısıtlamalar, hedefler ve sonuçlar içeren karmaşık yapılar sergilemektedir (Nădăban, Dzitac ve Dzitac, 2016). Karar verme süreçleri, kesinlik veya belirsizlik koşulları altında gerçekleşebilir. Kesinlik altında karar vermek, bu alanda geliştirilmiş çeşitli yöntemlerin bulunması nedeniyle daha kolaydır. Buna karşın, belirsizlik ortamında karar vermek çok daha zorlu bir süreçtir. Hedeflerin ve kısıtlamaların net bir şekilde tanımlanamadığı, eksik veya belirsiz bilgilere dayalı kararların alındığı bu tür durumlar, bulanık ortamlar olarak adlandırılmaktadır (Bellman ve Zadeh, 1970).

Klasik mantık, bir yargının doğruluğunu kesin bir biçimde belirleyerek, doğru ise "1", yanlış ise "0" değerini alacak şekilde çalışmaktadır. Ancak, 1965 yılında Zadeh tarafından geliştirilen ve belirsiz bilgi ilkesi üzerine kurulu olan bulanık mantık, klasik mantığın aksine, doğru veya yanlış şeklindeki keskin değerlendirmeler yerine, kısmi doğruluk kavramı ile ilgilenmektedir. Bu yaklaşıma göre, bir önermenin doğruluk derecesi 0 ile 1 arasında herhangi bir reel sayı olarak ifade edilebilmektedir. Böylece, kesin yargılara dayanan klasik mantığın aksine, bulanık mantık belirsiz veya sübjektif bilgileri işleyerek daha esnek bir değerlendirme sunabilmektedir. Bu esneklik, bulanık mantığın, üyelik fonksiyonları aracılığıyla modellenmesini sağlamaktadır (Zadeh, 1965). Belirsizlik içeren karar süreçlerinde bulanık bilgi oluşturmak, çevresel koşullardaki değişkenlikler ve öznel yargılarla başa çıkmak için etkili bir alternatif sunmaktadır (Yadav, Singh, Goel ve Itabashi-Campbell, 2003).

Bulanık küme teorisinin en yaygın ve etkili kullanım alanlarından biri karar analizidir. Çok kriterli karar problemleri, doğası gereği çeşitli belirsizlikler ve karmaşıklıklar içermekte olup, bazı kriterler nicel olarak ifade edilemezken, diğerleri sözel değerlendirmelerle tanımlanmaktadır. Bu tür problemlerin modellenmesi ve çözümlenmesi için bulanık küme teorisi oldukça uygun bir yöntem sunmaktadır. Bulanık küme yaklaşımı, karar süreçlerinde belirsizliği yönetme ve subjektif yargıları daha sistematik bir şekilde değerlendirme olanağı sağlayarak, alternatiflerin daha gerçekçi ve esnek bir şekilde analiz edilmesine imkân tanımaktadır (Kamber, Aydoğmuş, Aydoğmuş, Gümüş ve Kahraman, 2024).

ÇKKV ile bulanık küme teorisinin birleşimi, günümüzde bulanık çok kriterli karar verme (BÇKKV) olarak bilinen yeni bir karar teorisinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu yaklaşım, eksik, belirsiz ve subjektif bilgileri yönetebilen karar verme modellerini içermektedir. Karar süreçlerinde en önemli unsurlardan biri,

değerlendirme ve yargılama aşamalarında genellikle doğal dilin kullanılmasıdır (Çok yüksek, yüksek, orta, düşük vb.); ancak, doğal dil ifadeleri çoğu zaman açık ve kesin bir anlama sahip değildir. Bu nedenle, karar vericilerin öznel yargılarını nicel olarak ifade edebilmesi için bulanık sayılar kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan bulanık sayılar arasında üçgen bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar ve Gauss bulanık sayılar yer almaktadır (Nădăban ve diğ., 2016).

Farklı durum ve ortamlarda çeşitli alternatifler arasından seçim yapmak, yönetim seviyesindeki karar vericiler için en önemli ve aynı zamanda en karmaşık görevlerden biridir. Günümüzün hızla değişen ve yüksek rekabet içeren iş dünyasında, işletmelerin sürdürülebilir bir başarı elde edebilmesi için kapsamlı ve sistematik bir karar alma sürecine sahip olması gerekmektedir. Karar alma süreci, yalnızca mevcut bilgilerin değerlendirilmesiyle değil, aynı zamanda gelişmiş karar verme tekniklerinin entegrasyonu ile de daha etkin hale getirilmektedir. Rekabetçi bir ortamda avantaj elde etmek, doğru ve stratejik kararlar almayı zorunlu kılmaktadır. Bu süreçte, genellikle birden fazla kriter ve amaç dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, işletmelerin kritik kararlar alırken tüm kriterleri sistematik bir şekilde değerlendirebilmeleri için ÇKKV yöntemlerinden yararlanmaları büyük önem taşımaktadır (Soner ve Önüt, 2006). Ancak, bazı karar problemlerinde kullanılan karar matrisindeki oranların sözel ifadelerle (Çok yüksek, yüksek, orta, düşük vb.) ya da bulanık verilerle temsil edilmesi, geleneksel ÇKKV yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, BÇKKV yöntemlerinin geliştirilmesini ve uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir (Menteş, 2000).

Literatür taraması sonucunda, çalışma kapsamında tersine lojistik bariyerleri kapsamlı bir şekilde irdelenmiş ve çözüm olarak değerlendirilebilecek teknoloji alternatifleri BÇKKV yöntemleriyle analiz edilmiştir. Çalışmada, kriterlerin ağırlıklandırılması için bulanık PSI yöntemi, teknoloji alternatiflerinin sıralanması için ise bulanık CoCoSo yöntemi kullanılmıştır. Bulanık mantık çerçevesinde gerçekleştirilen bu analizler, belirsizlik içeren karar süreçlerinde alternatiflerin daha gerçekçi bir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Karar vericilere yönelik kapsamlı bir analiz sunan bu araştırma, bulanık ÇKKV yöntemlerinin tersine lojistik alanında nasıl uygulanabileceğini göstermesi bakımından da literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, literatürde mevcut olan tersine lojistik bariyerlerine yönelik çalışmaların büyük bir bölümü, teorik analizlerle sınırlı kalırken, bu çalışma bulanık CoCoSo yöntemi ile örnek olay incelemesi yaparak ön plana çıkmakta ve somut bir sıralama yaparak karar vericilere yol göstermektedir.

3. Yöntem

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1 Bulanık Sayılar Teorisi

Bulanık sayılar teorisi, belirsiz ortamlardaki sorunları kolayca çözebilen klasik küme teorisinin bir uzantısıdır. Bulanık bir küme a˜, (X, m) çiftlerinin bir kümesi olarak ifade edilmektedir. Burada X örnek uzayını göstermekte ve m: X → [0, 1] aralığında gösterilmektedir. $\mu_{\tilde{a}}(x)$ sembolü, x öğesinin bulanık küme a˜'ya üyelik derecesini ifade etmektedir. $\mu_{\tilde{a}}(x)$ 'e göre, X evrensel kümeyi göstermekte ve her x öğesi [0, 1] aralığındaki gerçek bir sayıya eşlenmektedir (Zadeh, 1965).

Tanım 1: a ∈ F (N) olmak üzere bulanık bir sayı olarak ifade edilsin. Eğer $x_0 \in N$ ise, $\mu_{\tilde{a}}(x_0) = 1$ olacaktır.

Herhangi bir α ∈ [0, 1] için, $\tilde{a}_\alpha = [x, \ \mu_{\tilde{a}_\alpha}(x) \geq \alpha]$ kapalı bir aralıktır. Burada N gerçek sayılar kümesidir ve F(N) bulanık kümeyi temsil etmektedir.

Bulanık bir küme tamamen üyelik fonksiyonu ile karakterize edilmektedir. Bir üyelik fonksiyonunu tanımlamanın daha uygun bir yolu, onu matematiksel bir formül olarak ifade etmektir (Zadeh, 1965).

Bulanık üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için dört ana yöntem vardır. Bunlar sırasıyla; yatay yaklaşım (Godal ve Goodman, 1980; Bharathi-Devi ve Sarma, 1985), dikey yaklaşım (Civanlar ve Trussel, 1986), çiftler halinde karşılaştırma yöntemi (Saaty, 1980) ve olasılıksal özelliklerin yardımıyla üyelik fonksiyonu tahmin yaklaşımı olarak adlandırılmaktadır (Dubois ve Prade, 1983).

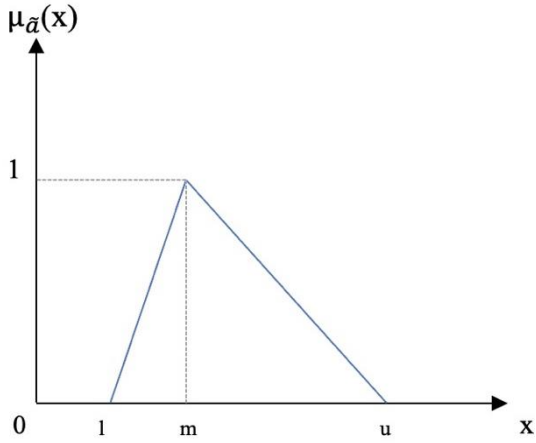
Ali, Ali ve Sumait (2015) üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu ve Gauss üyelik fonksiyonunu kullanarak bulanık mantık kontrol performanslarını Anten Azimut pozisyonuyla karşılaştırmış ve sonuçları analiz etmiştir. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının aşma ve yükselme süresi açısından benzer tepkiler gösterdiği bulunmuştur. Ancak üçgen üyelik fonksiyonunun özellikle hedef pozisyon açısının artırılmasıyla sabit durum davranışında daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Üçgen bir üyelik fonksiyonu, aşağıdaki gibi üç parametre {l, m, u} ile gösterilsin.

Tanım 2: R üzerindeki üçgensel bulanık bir sayı $\tilde{a}$, üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{a}}(x)$: R → [0, 1] ise aşağıdaki Eşitlik 1 ile tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \dfrac{x-l}{m-l}, & l \leq x < m \\ \dfrac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq n \\ 0, & x > n \end{cases} \tag{1}$$

Burada l, m ve n sırasıyla $\tilde{a}_i$ kümesinin alt, orta ve üst değerlerini temsil etmekte olup ve bunların hepsi kesin sayılardır (−∞ <l ≤ m ≤ u <∞). Üçgensel bulanık bir sayı (l, m, u) olarak gösterilmektedir. $\tilde{a}_i = (a_i, b_i, c_i)$ olarak ifade edilmektedir.



Şekil 1. Üçgen üyelik fonksiyonu gösterimi

Tanım 3: Sıra ortalaması birleştirme gösterimi yöntemine göre, $\tilde{a}_i$'nin sıra ortalaması entegrasyon gösterimi X ($\tilde{a}_i$), Eşitlik 2'deki gibi hesaplanmaktadır (Chen, Hsieh ve Liu, 2000).

$$X(\tilde{a}_i) = \frac{l_i + 4m_i + u_i}{6} \tag{2}$$

3.2 Bulanık CoCoSo Yöntemi

Bulanık sayıların CoCoSo yöntemi ile genişletilmesi ilk olarak Wen ve diğ.. (2019) tarafından önerilmiş ve tedarikçi seçimi problemi üzerinde bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bulanık CoCoSo, alternatifleri performanslarına göre sıralamak için kullanılan bulanık ÇKKV tekniklerinden birisidir. Özellikle dilsel ifadeler ve çelişkili kriterler üzerinde kolayca çalışabilmektedir. Bulanık CoCoSo'nun adımları aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Ulutaş ve diğ., 2021).

Adım 1: Alternatifler, Tablo 2'de gösterildiği gibi dilsel terimler yardımıyla karar vericiler (KV) tarafından değerlendirilir ve görüşlerin aritmetik ortalaması alınıp Eşitlik 3 kullanılarak bulanık karar matrisi ($\tilde{Y}$) oluşturulur.

Tablo 2

Dilsel değişkenlerin bulanık sayılara dönüştürülmesi kuralları (Stanujkic, 2015)

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayılar
Çok yüksek (ÇY)	(0,9; 1,0; 1,0)
Yüksek (Y)	(0,7; 0,9; 1,0)
Ortalama üstünde (OU)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ortalama (O)	(0,3; 0,5; 0,7)
Ortalama altında (OA))	(0,1; 0,3; 0,5)
Düşük (D)	(0,0; 0,1; 0,3)
Çok düşük (ÇD)	(0,0; 0,0; 0,1)

$$\tilde{Y} = \left[\tilde{y}_{ij}\right]_{k\times n} = \begin{bmatrix} \tilde{y}_{11} & \cdots & \tilde{y}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{y}_{k1} & \cdots & \tilde{y}_{kn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

Adım 2: Karar matrisi, maliyet yönlü kriter için Eşitlik 4 ve fayda yönlü kriter için Eşitlik 5 kullanılarak aşağıdaki şekilde normalize edilir. $\tilde{r}_{ij}$, denklemlerdeki bulanık normalize edilmiş karar matrisini temsil etmektedir.

$$\tilde{r}_{ij} = \left({r_{ij}}^a, {r_{ij}}^b, {r_{ij}}^c\right) = \frac{\max\left(\tilde{y}_{ij}\right) - \tilde{y}_{ij}}{\max\left(\tilde{y}_{ij}\right) - \min\left(\tilde{y}_{ij}\right)} = \left(\frac{\max\left({y_{ij}}^c\right) - {y_{ij}}^c}{\max\left({y_{ij}}^c\right) - \min\left({y_{ij}}^a\right)}, \frac{\max\left({y_{ij}}^c\right) - {y_{ij}}^b}{\max\left({y_{ij}}^c\right) - \min\left({y_{ij}}^a\right)}, \frac{\max\left({y_{ij}}^c\right) - {y_{ij}}^a}{\max\left({y_{ij}}^c\right) - \min\left({y_{ij}}^a\right)}\right) \tag{4}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left({r_{ij}}^a, {r_{ij}}^b, {r_{ij}}^c\right) = \frac{\tilde{y}_{ij} - min\left(\tilde{y}_{ij}\right)}{max\left(\tilde{y}_{ij}\right) - min\left(\tilde{y}_{ij}\right)} = \left(\frac{{y_{ij}}^a - min\left({y_{ij}}^a\right)}{max\left({y_{ij}}^c\right) - min\left({y_{ij}}^a\right)}, \frac{{y_{ij}}^b - min\left({y_{ij}}^a\right)}{max\left({y_{ij}}^c\right) - min\left({y_{ij}}^a\right)}, \frac{{y_{ij}}^c - min\left({y_{ij}}^a\right)}{max\left({y_{ij}}^c\right) - min\left({y_{ij}}^a\right)}\right) \tag{5}$$

Adım 3: Her bir alternatif için, ağırlıklı çiftler arası karşılaştırmaların bulanık toplamı $\left(\tilde{S}_i(S_i^a, S_i^b, S_i^c)\right)$ ve güç ağırlıkları $\left(\tilde{P}_i(P_i^a, P_i^b, P_i^c)\right)$ Eşitlik 6 ve 7'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\tilde{S}_i = \left({S_i}^l, {S_i}^m, {S_i}^u\right) = \sum_{j=1}^{n} \tilde{w}_{jc}\tilde{r}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^{n} {w_{jc}}^l\, {r_{ij}}^l, \sum_{j=1}^{n} {w_{jc}}^m\, {r_{ij}}^m, \sum_{j=1}^{n} {w_{jc}}^u\, {r_{ij}}^u\right) \tag{6}$$

$$\tilde{P}_i = \left({P_i}^l, {P_i}^m, {P_i}^u\right) = \sum_{j=1}^{n} \left(\tilde{r}_{ij}\right)^{\tilde{w}_{jc}} = \left(\sum_{j=1}^{n} \left({r_{ij}}^l\right)^{{w_{jc}}^u}, \sum_{j=1}^{n} \left({r_{ij}}^m\right)^{{w_{jc}}^m}, \sum_{j=1}^{n} \left({r_{ij}}^u\right)^{{w_{jc}}^l}\right) \tag{7}$$

Adım 4: Bulanık değerlendirme puanlarını ($\tilde{f}_{ia}, \tilde{f}_{ib}, \tilde{f}_{ic}$) elde etmek için Eşitlik 8, 9 ve 10 kullanılarak üç farklı toplama stratejisi uygulanmıştır. Denklem 10 için bu uygulamada λ değeri 0,5 olarak alınmıştır.

$$\tilde{f}_{ia} = \left(f_{ia}{}^{l}, f_{ia}{}^{m}, f_{ia}{}^{u}\right) = \frac{\tilde{P}_i + \tilde{S}_i}{\sum_{i=1}^{k}(\tilde{P}_i + \tilde{S}_i)} = \left(\frac{P_i{}^{l} + S_i{}^{l}}{\sum_{i=1}^{k}(P_i{}^{u} + S_i{}^{u})}, \frac{P_i{}^{m} + S_i{}^{m}}{\sum_{i=1}^{k}(P_i{}^{m} + S_i{}^{m})}, \frac{P_i{}^{u} + S_i{}^{u}}{\sum_{i=1}^{k}\left(P_i{}^{l} + S_i{}^{l}\right)}\right) \tag{8}$$

$$\tilde{f}_{ib} = \left(f_{ib}{}^{l}, f_{ib}{}^{m}, f_{ib}{}^{u}\right) = \frac{\tilde{S}_i}{\min(\tilde{S}_i)} + \frac{\tilde{P}_i}{\min(\tilde{P}_i)} = \left(\frac{S_i{}^{l}}{\min\left(S_i{}^{l}\right)} + \frac{P_i{}^{l}}{\min\left(P_i{}^{l}\right)}, \frac{S_i{}^{m}}{\min\left(S_i{}^{l}\right)} + \frac{P_i{}^{m}}{\min\left(P_i{}^{l}\right)}, \frac{S_i{}^{u}}{\min\left(S_i{}^{l}\right)} + \frac{P_i{}^{u}}{\min\left(P_i{}^{l}\right)}\right) \tag{9}$$

$$\tilde{f}_{ic} = \left(f_{ic}{}^{l}, f_{ic}{}^{m}, f_{ic}{}^{u}\right) = \frac{\lambda(\tilde{S}_i) + (1-\lambda)(\tilde{P}_i)}{\lambda max(\tilde{S}_i) + (1-\lambda) max(\tilde{P}_i)} = \left(\frac{\lambda\left(S_i{}^{l}\right) + (1-\lambda)\left(P_i{}^{l}\right)}{\lambda \max(S_i{}^{u}) + (1-\lambda)\max(P_i{}^{u})}, \frac{\lambda(S_i{}^{m}) + (1-\lambda)(P_i{}^{m})}{\lambda \max(S_i{}^{u}) + (1-\lambda)\max(P_i{}^{u})}, \frac{\lambda(S_i{}^{u}) + (1-\lambda)(P_i{}^{u})}{\lambda \max(S_i{}^{u}) + (1-\lambda)\max(P_i{}^{u})}\right) \tag{10}$$

Adım 5: Bulanık değerlendirme puanları ($\tilde{f}_{ia}, \tilde{f}_{ib}, \tilde{f}_{ic}$), sırasıyla Eşitlik 11, 12 ve 13 kullanılarak net değerlendirme puanlarına (f_{ia}, f_{ib}, f_{ic}) dönüştürülür.

$$f_{ia} = \frac{f_{ia}{}^{l} + f_{ia}{}^{m} + f_{ia}{}^{u}}{3} \tag{11}$$

$$f_{ib} = \frac{f_{ib}{}^{l} + f_{ib}{}^{m} + f_{ib}{}^{u}}{3} \tag{12}$$

$$f_{ic} = \frac{f_{ic}{}^{l} + f_{ic}{}^{m} + f_{ic}{}^{u}}{3} \tag{13}$$

Adım 6: Son değerlendirme puanları birleştirilerek her alternatif için Eşitlik 14 kullanılarak son puan (f_i) elde edilir. En yüksek puana sahip alternatif en iyi alternatiftir.

$$f_i = (f_{ia} \times f_{ib} \times f_{ic})^{1/3} + \left(\frac{1}{3}\right)(f_{ia} + f_{ib} + f_{ic}) \tag{14}$$

3.3 Bulanık PSI Yöntemi

Maniya ve Bhatt (2010), önemsiz olmayan çakışan ÇKKV problemlerini çözmek için tercih seçimi endeksi (PSI) yöntemini ortaya koymuştur. PSI tekniğinin temel faydası, daha az hesaplama gerektirmesi, anlaşılmasının basit olması ve çeşitli niteliklerin göreceli önemini belirlemeyi gerektirmemesidir (Batwara, Sharma, Makkar ve Giallanza, 2024).

Bulanık PSI yöntemi, kriterlerin bulanık nesnel ağırlıklarını ($\widetilde{w_{jo}}$) elde etmek için kullanılan kriter ağırlıklandırma yöntemidir. Karar vericilerin risk tercihlerini kullanan yeni hesaplama yaklaşımına dayanmaktadır (Mohammadi, Farahani, Noroozi ve Lashgari, 2017). Risk değerlendirme bulgularının doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için bu araştırma, sezgisel bulanık bir kümeye dayalı yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı geliştirmiştir (Minglin ve Ren, 2022). Bulanık PSI yönteminin adımları aşağıda açıklanmıştır (Ulutaş ve diğ., 2021):

Adım 1: Karar vericiler alternatifleri Tablo 2'de gösterilen dilsel değerlerin yardımıyla değerlendirir. Karar vericilerin tüm bulanık yargıları, Eşitlik 15'de belirtildiği gibi, bütünleşik bulanık karar matrisini ($\widetilde{z_{ij}}$) elde etmek için aritmetik ortalama kullanılarak toplanır.

$$\tilde{Z} = \left[\tilde{z}_{ij}\right]_{k\times n} = \begin{bmatrix} \tilde{z}_{11} & \cdots & \tilde{z}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{z}_{k1} & \cdots & \tilde{z}_{kn} \end{bmatrix} \tag{15}$$

Eşitlik 15'de, $\widetilde{z_{ij}}\left(z_{ij}^{l}, z_{ij}^{m}, z_{ij}^{u}\right)$ olarak ifade edilen bulanık sayı j'inci kriterin i'inci alternatifinin bulanık değeridir.

Adım 2: Birinci adımda oluşturulan bütünleşik karar matrisi, maliyet yönlü kriterler için Eşitlik 16 ve fayda yönlü kriterler için Eşitlik 17 kullanılarak normalize edilir.

$$\widetilde{t_{ij}} = \left(t_{ij}^{l}, t_{ij}^{m}, t_{ij}^{u}\right) = \frac{\min\left(\widetilde{z_{ij}}\right)}{\widetilde{z_{ij}}} = \left(\frac{\min\left(z_{ij}^{l}\right)}{z_{ij}^{u}}, \frac{\min\left(z_{ij}^{l}\right)}{z_{ij}^{m}}, \frac{\min\left(z_{ij}^{l}\right)}{z_{ij}^{l}}\right) \tag{16}$$

$$\widetilde{t_{ij}} = \left(t_{ij}^{l}, t_{ij}^{m}, t_{ij}^{u}\right) = \frac{\widetilde{z_{ij}}}{\max\left(\widetilde{z_{ij}}\right)} = \left(\frac{z_{ij}^{l}}{\max\left(z_{ij}^{u}\right)}, \frac{z_{ij}^{m}}{\max\left(z_{ij}^{u}\right)}, \frac{z_{ij}^{u}}{\max\left(z_{ij}^{u}\right)}\right) \tag{17}$$

Adım 3: Normalize edilmiş her bir kriter için aritmetik ortalama ($\widetilde{t_{ij}} = \left(t_{ij}^{l}, t_{ij}^{m}, t_{ij}^{u}\right)$) Eşitlik 18'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{t_{ij}} = \left(\overline{t_{ij}^{l}}, \overline{t_{ij}^{m}}, \overline{t_{ij}^{u}}\right) = \frac{\sum_{i=1}^{k} \widetilde{t_{ij}}}{k} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{k} t_{ij}^{l}}{k}, \frac{\sum_{i=1}^{k} t_{ij}^{m}}{k}, \frac{\sum_{i=1}^{k} t_{ij}^{u}}{k}\right) \tag{18}$$

Adım 4: Her kriter için, bulanık tercih değeri $\left(\widetilde{PV_j}\left(PV_j^{l}, PV_j^{m}, PV_j^{u}\right)\right)$ Eşitlik 19 ile gösterildiği üzere hesaplanır**:**

$$\widetilde{t_{ij}} = \left(\overline{t_{ij}^{l}}, \overline{t_{ij}^{m}}, \overline{t_{ij}^{u}}\right) = \frac{\sum_{i=1}^{k} \widetilde{t_{ij}}}{k} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{k} t_{ij}^{l}}{k}, \frac{\sum_{i=1}^{k} t_{ij}^{m}}{k}, \frac{\sum_{i=1}^{k} t_{ij}^{u}}{k}\right) \tag{18}$$

$$\widetilde{PV_j} = \left(PV_j^{l}, PV_j^{m}, PV_j^{u}\right) = \sum_{i=1}^{k}\left(\widetilde{t_{ij}} - \overline{t_{ij}}\right)^2 = \left(\min\left(\sum_{i=1}^{k}\left(t_{ij}^{l} - \overline{t_{ij}^{l}}\right)^2, \sum_{i=1}^{k}\left(t_{ij}^{u} - \overline{t_{ij}^{u}}\right)^2\right), \sum_{i=1}^{k}\left(t_{ij}^{m} - \overline{t_{ij}^{m}}\right)^2, \max\left(\sum_{i=1}^{k}\left(t_{ij}^{l} - \overline{t_{ij}^{l}}\right)^2, \sum_{i=1}^{k}\left(t_{ij}^{u} - \overline{t_{ij}^{u}}\right)^2\right)\right) \tag{19}$$

Adım 5: Bulanık sapma değeri $\left(\widetilde{\rho_J}\left(\rho_j^l, \rho_j^m, \rho_j^u\right)\right)$, Eşitlik 20 uygulanarak hesaplanır (Ulutaş, Topal ve Bakhat, 2019).

$$\widetilde{\rho_J} = \left(\rho_j^l, \rho_j^m, \rho_j^u\right) = \left|1 - \widetilde{PV_J}\right| = \left(\left|1 - PV_j^u\right|, \left|1 - PV_j^m\right|, \left|1 - PV_j^l\right|\right) \tag{20}$$

Adım 6: Son adımda, her kriterin bulanık PSI yöntemi ile hesaplanan nesnel ağırlıkları $\left(\widetilde{w_{Jo}}\left(w_{jo}^l, w_{jo}^m, w_{jo}^u\right)\right)$ Eşitlik 21 ile bulunur.

$$\widetilde{w_{Jo}} = \left(w_{jo}^l, w_{jo}^m, w_{jo}^u\right) = \frac{\widetilde{\rho_J}}{\sum_{j=1}^n \widetilde{\rho_J}} = \left(\frac{\rho_j^l}{\sum_{j=1}^n \rho_j^u}, \frac{\rho_j^m}{\sum_{j=1}^n \rho_j^m}, \frac{\rho_j^u}{\sum_{j=1}^n \rho_j^l}\right) \tag{21}$$

4. Bulgular

Çalışma kapsamında, tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik teknoloji alternatiflerinin seçimi problemi bulanık CoCoSo yöntemi ile ele alınacaktır. Bu bağlamda, literatür taraması kısmında ele alınan tersine lojistik bariyerleri Tablo 3'te özetlenmiştir. Belirlenen tersine lojsitik bariyerleri, tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik teknoloji alternatiflerinin seçimi probleminde kriterler olarak ele alınacaktır.

Tablo 3'te açıklanan bariyerler sırasıyla Ekonomik Engeller (Kri1), Teknolojik Engeller (Kri2), Bilgi ve Farkındalık Eksikliği Engelleri (Kri3), Mevzuat ve Hukuki Engeller (Kri4), Operasyonel Engeller (Kri5), Tedarik Zinciri Koordinasyon Eksiklikleri (Kri6), Müşteri ve Pazar Kaynaklı Engeller (Kri7) ve Çevresel ve Sürdürülebilirlik Engelleri (Kri8) olarak çalışma modelinde yer almıştır. Ayrıca, tersine lojistikte bariyerler olarak ele alınan kriterler çalışma modelinde maliyet yönlü kriterler olarak ele alınmıştır.

Tablo 3

Tersine Lojistik Bariyerleri

Kriter Adı	Açıklama
Ekonomik Engeller (Prakash ve Barua, 2016; Prajapati ve diğ.. 2019; Abdulrahman, Gunasekaran ve Subramanian, 2014; AlKhidir ve Zailani, 2009; Govindan, Soleimani ve Kannan, 2015)	Yüksek ilk yatırım maliyetleri, işletme maliyetlerinin fazlalığı, düşük yatırım getirisi, devlet teşviklerinin yetersizliği, geri dönüşüm ve iade süreçlerindeki finansal belirsizlikler.
Teknolojik Engeller (Bouzon ve diğ., 2018; Waqas ve diğ., 2018, Prajapati ve diğ., 2019; Abdulrahman ve diğ.., 2014; Aitken ve Harrison, 2013; Pumpinyo ve Nitivattananon, 2014; Sirisawat ve Kiatcharoenpol, 2018)	Geri dönüşüm teknolojilerinin yetersizliği, altyapı eksiklikleri (depolama, lojistik sistemler vb.), Endüstri 4.0 ve yapay zekâ entegrasyonundaki eksiklikler, veri yönetimi ve takip sistemlerinin eksikliği, otomasyon seviyesinin düşük olması.
Bilgi ve Farkındalık Eksikliği Engelleri (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001; Agrawal, Singh ve Murtaza, 2015; Prakash ve Barua, 2016).	Üst yönetimin farkındalık eksikliği, çalışanların tersine lojistik konusunda eğitimsiz olması, tedarik zinciri üyeleri arasında bilgi paylaşımının az olması, tüketici farkındalığının düşük olması, bilgi sistemleri ve analiz yöntemlerinin yetersizliği.
Mevzuat ve Hukuki Engeller (Abdulrahman ve diğ., 2014; AlKhidir ve Zailani, 2009; Shaharudin, Zailani ve Tan, 2015; Pumpinyo ve Nitivattananon, 2014)	Yasal düzenlemelerin belirsizliği, çevre düzenlemeleri ve atık yönetimi politikalarındaki eksiklikler, geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreçleri için uyum zorunlulukları, ürün iade politikalarındaki belirsizlikler, gümrük ve ithalat/ihracat mevzuatlarıyla ilgili kısıtlamalar.
Operasyonel Engeller (Chan ve Chan, 2008; Bouzon ve diğ.., 2018; Shaharudin ve diğ.., 2015; Waqas ve diğ.., 2018)	Geri dönen ürünlerin belirsizliği (miktar, zamanlama vb.), depolama ve taşıma süreçlerindeki verimsizlikler, ürünlerin kalite ve durum belirsizlikleri, lojistik planlama ve rota optimizasyon eksiklikleri, tersine lojistik süreçlerinde ölçek ekonomisinin sağlanamaması.
Tedarik Zinciri Koordinasyon Eksiklikleri (Fleischmann ve Fleischmann, 2001; Srivastava, 2008; Prajapati ve diğ.. 2019; Waqas ve diğ.., 2018)	Tedarik zinciri paydaşları arasındaki iş birliği eksikliği, lojistik süreçlerde üçüncü taraf sağlayıcıların eksikliği, üretici, distribütör ve tüketici arasındaki bilgi akışının zayıflığı, geri dönüşüm piyasasının yeterince gelişmemiş olması.
Müşteri ve Pazar Kaynaklı Engeller (Rahimifard, Coates, Staikos, Edwards ve Abu-Bakar, 2009; Bouzon ve diğ.., 2018)	Müşterilerin geri dönüş ürünlerine yönelik güven eksikliği, ikinci el ve geri dönüştürülmüş ürünlere yönelik düşük talep, tüketicilerin iadelerde ek zahmetten kaçınması, geri alınan ürünlerin yeniden pazarlanma süreçlerindeki belirsizlik.
Çevresel ve Sürdürülebilirlik Engelleri (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001; Somplak ve diğ.., 2019; Prajapati ve diğ.. 2019)	Yeşil lojistik uygulamalarının yetersizliği, atık yönetimi stratejilerinin eksikliği, karbon ayak izi ve enerji tüketimiyle ilgili kısıtlamalar, sürdürülebilir geri dönüşüm politikalarının olmayışı.

Tablo 4'te tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik teknoloji alternatifleri, kullanıcılarına sağlayacağı başlıca faydaları da açıklanarak listelenmektedir. İlgili alternatifler, belirlenen tersine lojistik bariyerlerini aşmak için geliştirilebilecek çözümlerden oluşmaktadır.

Tablo 4

Tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik çalışma kapsamında belirlenmiş alternatifler

Alternatif Adı	Özellikler
Blokzincir Entegrasyonu (BLK)	Tedarik zincirinin şeffaflığını artırarak geri dönen ürünlerin izlenmesini sağlar. Sahtecilik ve veri manipülasyonunu önler. İade süreçlerini hızlandırarak maliyetleri düşürebilir.
Yapay Zeka Destekli Lojistik Yönetimi (YPY)	Talep tahminleme yaparak geri dönüş süreçlerinin belirsizliğini azaltır. Otomatik sınıflandırma ile ürünlerin yeniden kullanımı veya geri dönüşümüne yönelik en uygun süreci belirler. Rota optimizasyonu yaparak lojistik maliyetleri düşürebilir.
Nesnelerin İnterneti (IoT) ile Ürün Takibi (NSN)	Ürünlerin üretimden geri dönüş sürecine kadar takip edilmesini sağlar. RFID ve sensörler ile hasarlı ürünlerin tespit edilmesini kolaylaştırır.
Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanımı (END)	Robotik süreç otomasyonu ile tersine lojistik süreçlerini hızlandırır. Akıllı depolama sistemleri ile verimli envanter yönetimi sağlar. Ürünlerin yeniden üretim veya geri dönüşüm için uygun olup olmadığını belirleyen otomatik kalite kontrol sistemlerini oluşturur.

Tablo 4'te yer alan alternatifler, tersine lojistik süreçlerinde yaygın olarak karşılaşılan bariyerleri aşma potansiyeline sahip, literatürde sıkça vurgulanan ve işletmelerde uygulanabilirliği yüksek görülen teknolojilerden oluşmaktadır. Alternatiflerin belirlenmesinde öncelikle son beş yıl içinde yayımlanan bilimsel çalışmalar incelenmiş; Govindan ve Bouzon (2018), Sirisawat ve Kiatcharoenpol (2018), Prajapati ve diğ.. (2019) gibi kaynaklarda öne çıkan çözüm önerileri taranmıştır. Literatürde önerilen çok sayıda teknolojik çözüm içerisinden, farklı bariyer türlerine (ekonomik, teknolojik, operasyonel, vb.) eş zamanlı çözüm

üretebilen, sektörel çeşitliliğe uyarlanabilir ve uygulama alanı açısından yüksek potansiyele sahip olan dört teknoloji öne çıkarılmıştır. Bu dört alternatifin tercih edilmesi, çalışmanın uygulama ölçeğini sınırlamak değil; örnek bir karar modelinin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışmanın temel problemi, işletmelerin tersine lojistik süreçlerinde karşılaştıkları çok boyutlu bariyerleri etkili biçimde aşabilecek teknoloji alternatiflerinin belirlenmesidir. Tersine lojistik süreçleri, yüksek maliyetler, teknolojik yetersizlikler, mevzuat karmaşası, operasyonel belirsizlikler, bilgi eksikliği ve koordinasyon problemleri gibi çeşitli engellerle sınırlandırılmaktadır. Bu doğrultuda, ele alınan problem yalnızca tek bir işletmeye ya da sektöre özgü olmayıp, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak gözlenen tersine lojistik engellerinin teknoloji temelli çözümlerle nasıl aşılabileceğini araştırmaktadır. Bariyerlerin genelliği ve teknolojik çözümlerin esnekliği dikkate alındığında, çalışmada işletmelerin tersine lojistik süreçleri için geçerli olabilecek bir çerçeve sunulmuştur. Sunulan model, evrensel bir çözüm değil; karar vericiye yol gösterici, esnek ve uyarlanabilir bir karar destek yaklaşımı olarak konumlandırılmaktadır.

Tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik teknoloji alternatiflerinin seçimi problemi için çalışma kapsamında Bulanık CoCoSo yöntemi uygulanacaktır. Bulanık CoCoSo yönteminin uygulanması için adımlar aşağıdaki gibidir (Ulutaş ve diğ.., 2021).

Öncelikli olarak, alternatifler Tablo 2'de gösterilen dilsel terimler yardımıyla karar vericiler tarafından değerlendirilmiş olup, değerlendirme sonuçları Tablo 5'de gösterilmektedir. Daha sonra, karar vericilerin görüşleri bulanık sayılara dönüştürülüp aritmetik ortalamaları alınarak bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Değerlendirmeyi gerçekleştiren karar vericiler, lojistik alanında en az 10 yıl tecrübeye sahip 3 akademisyenden (KV1, KV2, KV3) oluşmaktadır.

Bulanık karar matrisi, çalışma kapsamında seçilen kriterlerin maliyet yönlü olması nedeniyle, Eşitlik 4 kullanılarak normalleştirilmiştir. Bulanık normallize karar matrisi Tablo 6'da sunulmuştur.

Bir sonraki aşamada, ağırlıklı çiftler arası karşılaştırmaların $\left(\tilde{S}_i(S_i^a, S_i^b, S_i^c)\right)$ ve güç ağırlıklarının $\left(\tilde{P}_i(P_i^a, P_i^b, P_i^c)\right)$ bulanık toplamı, her alternatif için Eşitlik 6 ve 7 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 7'de gösterilmiştir. Ayrıca, bulanık PSI yöntemi kullanılarak çalışma kapsamında hesaplanan kriter ağırlıkları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 5

Karar vericilerin dilsel değerlendirmeleri

Kriter	Kri1			Kri2			Kri3		
Alternatif	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3
BLK	ÇY	Y	OU	O	OU	Y	Y	O	O
YPY	Y	ÇY	Y	Y	ÇY	ÇY	Y	Y	OU
NSN	Y	OU	O	OU	O	O	Y	OU	Y
END	O	O	OA	O	OA	O	OA	ÇY	ÇY
Kriter	Kri4			Kri5			Kri6		
Alternatif	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3
BLK	OA	OA	O	ÇY	Y	ÇY	ÇY	ÇY	Y
YPY	Y	O	OU	ÇY	ÇY	ÇY	Y	ÇY	ÇY
NSN	OU	Y	ÇY	OA	O	OU	D	OU	OU
END	ÇY	OU	Y	OU	OA	O	O	O	O
Kriter	Kri7			Kri8					
Alternatif	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3			
BLK	D	OU	OU	ÇY	Y	ÇY			
YPY	ÇY	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇY			
NSN	ÇY	Y	Y	ÇY	OU	OU			
END	ÇD	OU	OU	Y	Y	Y			

Tablo 6

Bulanık normalize karar matrisi

Kriter Alternatif	Kri1	Kri2	Kri3	Kri4
BLK	(0,04; 0,17; 0,39)	(0,17; 0,39; 0,65)	(0,31; 0,62; 1,0)	(0,50; 0,75; 1,0)
YPY	(0,00; 0,08; 0,30)	(0,00; 0,04; 0,21)	(0,00; 0,25; 0,62)	(0,12; 0,33; 0,58)
NSN	(0,17; 0,39; 0,65)	(0,30; 0,56; 0,82)	(0,00; 0,25; 0,62)	(0,00; 0,12; 0,33)
END	(0,47; 0,73; 1,0)	(0,47; 0,73; 1,0)	(0,25; 0,37; 0,62)	(0,00; 0,12; 0,33)
Kriter Alternatif	Kri5	Kri6	Kri7	Kri8
BLK	(0,00; 0,04; 0,23)	(0,00; 0,04; 0,23)	(0,45; 0,75; 1,0)	(0,00; 0,09; 0,45)
YPY	(0,00; 0,00; 0,14)	(0,00; 0,04; 0,23)	(0,00; 0,10; 0,35)	(0,00; 0,00; 0,27)
NSN	(0,42; 0,71; 1,0)	(0,42; 0,71; 0,95)	(0,05; 0,20; 0,45)	(0,18; 0,54; 1,0)
END	(0,42; 0,71; 1,0)	(0,42; 0,71; 1,0)	(0,50; 0,70; 0,90)	(0,00; 0,27; 0,81)

Tablo 7

Bulanık S_i ve P_i değerlerinin hesaplanması

Alternatifler	$\tilde{S}_i$	$\tilde{P}_i$	$\tilde{S}_i + \tilde{P}_i$
BLK	(0,13; 0,36; 0,83)	(3,91; 6,67; 7,58)	(4,05; 7,04; 8,42)
YPY	(0,01; 0,10; 0,46)	(0,70; 4,56; 7,19)	(0,71; 4,67; 7,65)
NSN	(0,13; 0,43; 0,98)	(4,65; 7,09; 7,73)	(4,78; 7,52; 8,71)
END	(0,22; 0,54; 1,12)	(5,18; 7,29; 7,83)	(5,41; 7,84; 8,95)

Tablo 8

Bulanık PSI yöntemi ve kriter ağırlıkların hesaplanması

Kriterler	Kri1	Kri2	Kri3
$\widetilde{PV}$	(0,009; 0,045; 0,342)	(0,008; 0,041; 0,303)	(0,008; 0,022; 0,108)
$\tilde{\rho}_J$	(0,657; 0,954; 0,990)	(0,696; 0,959; 0,991)	(0,891; 0,977; 0,991)
$\widetilde{w_{Jo}}$	(0,082; 0,122; 0,158)	(0,087; 0,123; 0,158)	(0,112; 0,125; 0,158)
Kriterler	Kri4	Kri5	Kri6
$\widetilde{PV}$	(0,008; 0,038; 0,442)	(0,013; 0,071; 0,492)	(0,000; 0,000; 0,000)
$\tilde{\rho}_J$	(0,557; 0,961; 0,991)	(0,507; 0,928; 0,986)	(1,000; 1,000; 1,000)
$\widetilde{w_{Jo}}$	(0,070; 0,123; 0,158)	(0,063; 0,119; 0,157)	(0,125; 0,128; 0,160)
Kriterler	Kri7	Kri8	
$\widetilde{PV}$	(0,000; 0,000; 0,000)	(0,001; 0,015; 0,062)	
$\tilde{\rho}_J$	(1,000; 1,000; 1,000)	(0,937; 0,984; 0,998)	
$\widetilde{w_{Jo}}$	(0,125; 0,128; 0,160)	(0,117; 0,126; 0,159)	

Bulanık değerlendirme puanları ($\tilde{f}_{ia}, \tilde{f}_{ib}, \tilde{f}_{ic}$), Eşitlik 8, 9 ve 10 yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 9'da gösterilmiştir. Bulanık değerlendirme puanları ($\tilde{f}_{ia}, \tilde{f}_{ib}, \tilde{f}_{ic}$), sırasıyla Eşitlik 11, 12 ve 13 kullanılarak ve Tablo 10'da gösterildiği gibi net değerlendirme puanlarına (f_{ia}, f_{ib}, f_{ic}) dönüştürülmüştür.

Son değerlendirme puanları, Eşitlik 14 kullanılarak her bir alternatif için son puan f_i elde etmek üzere birleştirilmiştir. Tablo 10'da görüldüğü gibi en yüksek puana sahip alternatif en iyi alternatif olarak seçilmiştir. Tablo 10 incelendiğinde, bulanık CoCoSo yöntemi uygulanarak Tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik teknoloji alternatiflerinin seçimi problemi için en iyi alternatifin Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanımı (END) alternatifi olduğu görülmektedir.

Tablo 9

$\tilde{f}_{ia}, \tilde{f}_{ib}, \tilde{f}_{ic}$ değerleri

Alternatifler	$\tilde{f}_{ia}$	$\tilde{f}_{ib}$	$\tilde{f}_{ic}$
BLK	(0,12; 0,26; 0,56)	(20,22; 47,90; 99,98)	(0,45; 0,78; 0,94)
YPY	(0,02; 0,17; 0,51)	(2,00; 18,04; 59,28)	(0,08; 0,52; 0,85)
NSN	(0,14; 0,27; 0,58)	(21,02; 56,47; 115,74)	(0,53; 0,84; 0,97)
END	(0,16; 0,29; 0,59)	(31,74; 68,16; 130,79)	(0,60; 0,87; 1,00)

Tablo 10

f_{ia}, f_{ib}, f_{ic} ve f_i değerleri

Alternatifler	f_{ia}	f_{ib}	f_{ic}	f_i	Sıralama
BLK	0,314	56,039	0,726	21,365	3
YPY	0,235	26,445	0,485	10,500	4
NSN	0,334	64,415	0,783	24,407	2
END	0,349	76,900	0,826	28,839	1

5. Tartışma

Çalışma kapsamında, tersine lojistik bariyerleri literatür taraması kapsamında incelenmiştir. Tersine lojistik bariyerlerini aşmak için kullanılacak olan öncelikli teknolojinin seçimi problemi, çalışma modelinde bulanık PSI ve bulanık CoCoSo yöntemleri ile çözülmüştür.

Tersine lojistik bariyerleri, çalışma modeli için sırasıyla; ekonomik engeller (Kri1), teknolojik engeller (Kri2), bilgi ve farkındalık eksikliği engelleri (Kri3),

mevzuat ve hukuki engeller (Kri4), operasyonel engeller (Kri5), tedarik zinciri koordinasyon eksiklikleri (Kri6), müşteri ve pazar kaynaklı engeller (Kri7) ve çevresel ve sürdürülebilirlik engelleri (Kri8) olarak seçilmiştir. Karar vericilerin görüşleri alınmış ve bu görüşler Tablo 2'de yer alan bulanık dilsel ölçek doğrultusunda modellenmiştir. Karar vericilerin görüşleri bulanık PSI yöntemi ile çözülmüş ve sonuçlar Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8'de yer alan sonuçlar incelendiğinde, tedarik zinciri koordinasyon eksiklikleri (Kri6) ve müşteri ve pazar kaynaklı engelleri (Kri7) kriterlerinin çalışma kapsamında en çok önem araz eden kriterler olduğu görülmektedir. İncelenen makalelerde tedarik zinciri koordinasyon eksiklikleri (Gunasekaran ve Ngai, 2012; Guide ve Van Wassenhove, 2009; Fleischmann ve Fleischmann, 2001; Srivastava, 2008; Prajapati ve diğ.. 2019; Waqas ve diğ., 2018) ve müşteri ve pazar kaynaklı engelleri (Rahimifard ve diğ., 2009; Bouzon ve diğ., 2018) kriterlerinin ilgili yazarlar tarafından öneminin vurgulandığı görülmektedir. Çalışmanın sonuçları, literatürde vurgulanan tersine lojistik bariyerleriyle örtüşmektedir.

Ek olarak, çalışmada; blokzincir, yapay zekâ destekli lojistik yönetimi, nesnelerin interneti (IoT) ve Endüstri 4.0 teknolojileri tersine lojistik bariyerlerini aşmak için kullanılabilecek alternatifler olarak değerlendirilmiştir. Tablo 10'da yer alan sonuçlar incelendiğinde, sıralamada Endüstri 4.0 (END) alternatifinin tersine lojistik bariyerlerini aşmak için uygulanacak en iyi alternatif olarak öne çıktığı görülmektedir. Sonuçlara göre, tersine lojistik süreçlerinde yüksek otomasyon seviyelerine sahip sistemlerin uygulanmasının, maliyetleri düşürme, süreçleri hızlandırma ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma açısından kritik bir faktör olduğunu söylenebilmektedir (Khan, Laalaoui, Hokal, Tareq ve Ahmad, 2022; Pourmehdi, Paydar, Ghadimi ve Azadnia, 2022). Çalışma sonucunda, tersine lojistik bariyerlerini aşmaya yönelik belirlenen alternatiflerin sıralaması; Endüstri 4.0 Teknolojilerinin kullanımı (END), nesnelerin interneti (IoT) ile ürün takibi (NSN), blokzincir entegrasyonu (BLK) ve yapay zeka destekli lojistik yönetimi (YPY) şeklinde olmuştur.

6. Sonuçlar

Bu çalışma, tersine lojistik süreçlerinde karşılaşılan bariyerleri aşmaya yönelik teknoloji alternatiflerinin seçim sürecini değerlendirmiş ve bulanık CoCoSo yöntemiyle en uygun çözümü belirlemeyi amaçlamıştır. Literatürde tersine lojistik kavramı, firmaların sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ancak, bu süreçlerin yönetimi, ekonomik, operasyonel, teknolojik ve düzenleyici birçok engel nedeniyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Çalışmada, tersine lojistikte karşılaşılan bariyerler kapsamlı bir literatür taramasıyla belirlenmiş ve bunlara çözüm olabilecek teknoloji alternatifleri değerlendirilmiştir.

Bulanık CoCoSo yöntemi, alternatiflerin belirsiz ve sözel ifadelerle değerlendirildiği karar verme süreçlerinde etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemin temel avantajı, bulanık mantık yaklaşımıyla belirsizliği yönetebilmesi ve alternatifleri kapsamlı bir şekilde sıralayabilmesidir. Çalışma kapsamında, bulanık PSI yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları belirlenmiş ve bulanık CoCoSo yöntemiyle teknoloji alternatifleri değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, Endüstri 4.0 teknolojilerinin tersine lojistik süreçlerinde en etkili çözüm olduğu belirlenmiştir. Endüstri 4.0 teknolojileri; otomasyon, yapay zekâ destekli lojistik yönetimi, robotik süreçler ve akıllı depolama sistemleri ile tersine lojistik süreçlerinin verimliliğini artırarak mevcut engelleri aşmada önemli bir avantaj sunmaktadır.

Çalışmada; blokzincir, yapay zekâ destekli lojistik yönetimi, nesnelerin interneti (IoT) ve Endüstri 4.0 teknolojileri değerlendirilmiş olup, sıralamada Endüstri 4.0 en iyi alternatif olarak öne çıkmıştır. Bu bulgu, tersine lojistik süreçlerinde daha yüksek otomasyon seviyelerine sahip sistemlerin uygulanmasının, maliyetleri düşürme, süreçleri hızlandırma ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma açısından kritik bir faktör olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, nesnelerin interneti ve blokzincir çözümleri de belirli durumlarda değerli katkılar sunabilmektedir.

Bu bağlamda, çalışmanın en önemli katkısı, tersine lojistik süreçlerinde teknolojik çözümlerin seçimi konusunda kapsamlı bir karar verme modeli sunmasıdır. Literatürde mevcut olan tersine lojistik bariyerlerine yönelik çalışmaların büyük bir bölümü, teorik analizlerle sınırlı kalırken, bu çalışma bulanık CoCoSo yöntemi ile somut bir sıralama yaparak karar vericilere yol göstermektedir.

Tersine lojistik süreçlerinin verimliliğini artırmak ve karşılaşılan bariyerleri aşmak için çeşitli stratejiler geliştirilebilir. Öncelikle, teknolojik adaptasyon sürecini hızlandırmak adına işletmelerin dijital dönüşüm yatırımlarını artırması gerekmektedir. Özellikle Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegrasyonu, tersine lojistik süreçlerinde operasyonel verimlilik sağlamak, maliyetleri azaltmak ve sürdürülebilirliği desteklemek açısından kritik bir rol oynayacaktır. Robotik süreç otomasyonu, akıllı depolama sistemleri ve yapay zekâ tabanlı analiz araçları, tersine lojistik süreçlerindeki belirsizliği azaltarak daha etkili bir yönetim sunabilir.

Bunun yanı sıra, tedarik zinciri paydaşları arasında bilgi paylaşımını artıracak sistemlerin geliştirilmesi önemlidir. Blokzincir tabanlı çözümler, geri dönüş süreçlerinde ürün takibini sağlayarak şeffaflığı artırabilir ve sahtecilik ile veri manipülasyonunu engelleyebilir. IoT tabanlı ürün takip sistemleri ise geri dönen ürünlerin durumunu daha hızlı ve doğru bir şekilde belirlemeye yardımcı olabilir. Bu tür teknolojilerin daha yaygın olarak benimsenmesi, tersine lojistik süreçlerinde yaşanan operasyonel belirsizlikleri en aza indirmeye yardımcı olacaktır.

Son olarak, tersine lojistik süreçlerinin daha etkili yönetilmesi için ÇKKV yöntemlerinin daha geniş bir ölçekte uygulanması önerilmektedir. Bu çalışma, bulanık CoCoSo yönteminin etkinliğini göstermiş olsa da, diğer ÇKKV yaklaşımlarının da karşılaştırmalı analizlerle değerlendirilmesi, süreçlerin daha sağlıklı yönetilmesini sağlayabilir. Gelecekte, farklı sektörlerdeki tersine lojistik süreçlerine yönelik benzer çalışmaların yapılması, daha geniş kapsamlı bir değerlendirme sunarak bu alandaki karar alma mekanizmalarını güçlendirebilir. Ayrıca, değerlendirmeyi gerçekleştirecek karar vericiler, akademisyenlerin yanı sıra lojistik alanında sektörel tecrübeye sahip yöneticilerden de seçilmesi gelecek çalışmaların sonuçlarını geliştirebilir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Abdulrahman, M. D., Gunasekaran, A. ve Subramanian, N. (2014). Critical barriers in implementing reverse logistics in the Chinese manufacturing sectors. *International Journal of Production Economics*, 147, 460-471. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.08.003

Aitken, J. ve Harrison, A. (2013). Supply governance structures for reverse logistics systems. I*nternational Journal of Operations & Production Management*, 33(6), 745-764. Doi: https://doi.org/10.1108/IJOPM-10-2011-0362

Agrawal, S., Singh, R. K. ve Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation And Recycling*, 97, 76-92. Doi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.009

Ali, O. A. M., Ali, A. Y. ve Sumait, B. S. (2015). Comparison between the effects of different types of membership functions on fuzzy logic controller performance. *International Journal*, 76, 76-83. Erişim adresi: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ijeert.ijrsset.org/pdf/v3-i3/10.pdf

Ali, S. M., Arafin, A., Moktadir, M. A., Rahman, T. Ve Zahan, N. (2018). Barriers to reverse logistics in the computer supply chain using interpretive structural model. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 19, 53-68. Doi: https://doi.org/10.1007/s40171-017-0176-2

AlKhidir, T., ve Zailani, S. (2009). Going green in supply chain towards environmental sustainability. *Global Journal of Environmental Research*, 3(3), 246-251. Erişim adresi: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Suhaiza-Zailani/publicatio

n/237691968_Going_Green_in_Supply_Chain_Towards_Environmental_Sustainability/links/0f31752dc7e493ec4d000000/Going-Green-in-Supply-Chain-Towards-Environmental-Sustainability.pdf

Amini, M. M., Retzlaff-Roberts, D. ve Bienstock, C. C. (2005). Designing a reverse logistics operation for short cycle time repair services. *International Journal Of Production Economics*, 96(3), 367-380. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.05.010

Batwara, A., Sharma, V., Makkar, M. ve Giallanza, A. (2024). Impact of smart sustainable value stream mapping–Fuzzy PSI decision-making framework. *Sustainable Futures*, 7, 100201. Doi: https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100201

Bellman, R. E. ve Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17(4), B-141. Erişim adresi: https://www.jstor.org/stable/2629367

Blackburn, J. D., Guide Jr, V. D. R., Souza, G. C. ve Van Wassenhove, L. N. (2004). Reverse supply chains for commercial returns. *California Management Review*, 46(2), 6-22. Doi: https://doi.org/10.2307/41166207

Bouzon, M., Govindan, K. ve Rodriguez, C. M. T. (2015). Reducing the extraction of minerals: Reverse logistics in the machinery manufacturing industry sector in Brazil using ISM approach. *Resources Policy*, 46, 27-36. Doi: https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2015.02.001

Bouzon, M., Govindan, K. ve Rodriguez, C. M. T. (2018). Evaluating barriers for reverse logistics implementation under a multiple stakeholders' perspective analysis using grey decision making approach. *Resources, Conservation And Recycling*, 128, 315-335. Doi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.022

Brito, M., Flapper, S. D. ve Dekker, R. (2002). Reverse logistics (No. EI 2002-21). Erişim adresi: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repub.eur.nl/pub/561/feweco20020605160859.pdf

Brito, M. P. ve Dekker, R. (2003). Modelling product returns in inventory control—exploring the validity of general assumptions. *International Journal of Production Economics*, 81, 225-241. Doi: https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00275-X

Byrne, P. M. ve Deeb, A. (1993). Logistics must meet the "green" challenge. *Transportation & Distribution*, 34(2), 33-37. Erişim adresi: https://www.library.northwestern.edu/find-borrow-request/requests-interlibrary-loan/lending-institutions.html

Carbone, V., & Moatti, V. (2008). Greening the Supply Chain: Preliminary Results of a Global Survey. *Supply Chain Forum: An International Journal*, *9*(2), 66–76. https://doi.org/10.1080/16258312.2008.11517200

Chan, F. T. ve Kai Chan, H. (2008). A survey on reverse logistics system of mobile phone industry in Hong Kong. *Management Decision*, 46(5), 702-708. Doi: https://doi.org/10.1108/00251740810873464

Chen, C. Y., Hsieh, Y. T. ve Liu, B. D. (2000, December). Design of pipelined mixed-signal fuzzy logic controller with linguistic hedge modifiers. *In IEEE APCCAS 2000. 2000 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems. Electronic Communication Systems*.(Cat. No. 00EX394) (pp. 148-151). IEEE. Doi: 10.1109/APCCAS.2000.913428

Civanlar, M. R. ve Trussell, H. J. (1986). Constructing membership functions using statistical data. *Fuzzy Sets And Systems*, 18(1), 1-13. Doi: https://doi.org/10.1016/0165-0114(86)90024-2

Dubois, D. ve Prade, H. (1983). Ranking fuzzy numbers in the setting of possibility theory. *Information Sciences*, 30(3), 183-224. Doi: https://doi.org/10.1016/0020-0255(83)90025-7

Ecer, F. ve Pamucar, D. (2020). Sustainable supplier selection: A novel integrated fuzzy best worst method (F-BWM) and fuzzy CoCoSo with Bonferroni (CoCoSo'B) multi-criteria model. *Journal Of Cleaner Production*, 266, 121981. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121981

Ghorabaee, M. K., Amiri, M., Sadaghiani, J. S. ve Zavadskas, E. K. (2015). Multi-criteria project selection using an extended VIKOR method with interval type-2 fuzzy sets. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 14(05), 993-1016. Doi: https://doi.org/10.1142/S0219622015500212

Ghorabaee, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M. ve Turskis, Z. (2016). Extended EDAS method for fuzzy multi-criteria decision-making: an application to supplier selection. *International Journal Of Computers Communications & Control*, 11(3), 358-371. Erişim adresi: https://www.proquest.com/docview/2518362716?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Scholarly%20Journals

Godal, R. C. ve Goodman, T. J. (1980). Fuzzy sets and Borel. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 10(10), 637. Doi: 10.1109/TSMC.1980.4308368

Govindan, K., Soleimani, H. ve Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal Of Operational Research*, 240(3), 603-626. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.012

Govindan, K. ve Bouzon, M. (2018). From a literature review to a multi-perspective framework for reverse logistics barriers and drivers. *Journal Of Cleaner Production*, 187, 318-337. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.040

Guide Jr, V. D. R. ve Van Wassenhove, L. N. (2009). OR FORUM—The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations Research*, 57(1), 10-18. Erişim adresi: https://www.jstor.org/stable/25614727

Gukaliuk, A. F. ve Katsma, V. I. (2017). Logistic resource management as a part of logistic management of enterprise. *Ekonomichnyy Analiz*, 27(2), 130-138. Doi: http://dx.doi.org/10.35774/econa2017.02.130

Gunasekaran, A. ve Ngai, E. W. (2012). The future of operations management: an outlook and analysis. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 687-701. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.11.002

Hult, G. T. M., Ketchen, D. J. ve Arrfelt, M. (2007). Strategic supply chain management: Improving performance through a culture of competitiveness and knowledge development. *Strategic Management Journal*, 28(10), 1035-1052. Doi: https://doi.org/10.1002/smj.627

Kamber, E., Aydoğmuş, U., Aydoğmuş, H. Y., Gümüş, M. ve Kahraman, C. (2024). Prioritization of drip-irrigation pump alternatives in agricultural applications: An integrated picture fuzzy BWM&CODAS methodology. *Applied Soft Computing*, 154, 111308. Doi: https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111308

Kannan, G., Pokharel, S. ve Kumar, P. S. (2009). A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. *Resources, Conservation And Recycling*, 54(1), 28-36. Doi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.06.004

Kannan, D., de Sousa Jabbour, A. B. L. ve Jabbour, C. J. C. (2014). Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *European Journal Of Operational Research*, 233(2), 432-447. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.07.023

Khan, S. A., Laalaoui, W., Hokal, F., Tareq, M. ve Ahmad, L. (2022). Connecting reverse logistics with circular economy in the context of Industry 4.0. *Kybernetes*, *52*(12), 6279-6320. Doi: https://doi.org/10.1108/K-03-2022-0468

Maniya, K. ve Bhatt, M. G. (2010). A selection of material using a novel type decision-making method: Preference selection index method. *Materials & Design*, 31(4), 1785-1789. Doi: https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.11.020

Menteş, A. (2000). *Manevra ve sevk sistemi seçiminde bulanık çok kriterli karar verme* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi). *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*

Minglin, J. ve Ren, H. (2022). Risk priority evaluation for power transformer parts based on intuitionistic fuzzy preference selection index method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1), 8366893. Doi: https://doi.org/10.1155/2022/8366893

Mohammadi, H., Farahani, F. V., Noroozi, M. ve Lashgari, A. (2017). Green supplier selection by developing a new group decision-making method under type 2 fuzzy uncertainty. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93, 1443-1462. Doi: https://doi.org/10.1007/s00170-017-0458-z

Nădăban, S., Dzitac, S. ve Dzitac, I. (2016). Fuzzy TOPSIS: a general view. *Procedia Computer Science*, 91, 823-831. Doi: https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.088

Plaza-Úbeda, J. A., Abad-Segura, E., de Burgos-Jiménez, J., Boteva-Asenova, A. ve Belmonte-Ureña, L. J. (2020). Trends and new challenges in the green supply chain: The reverse logistics. *Sustainability*, 13(1), 331. Doi: https://doi.org/10.3390/su13010331

Pourmehdi, M., Paydar, M. M., Ghadimi, P. ve Azadnia, A. H. (2022). Analysis and evaluation of challenges in the integration of Industry 4.0 and sustainable steel reverse logistics network. *Computers & Industrial Engineering*, *163*, 107808. Doi: https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107808

Prakash, C. ve Barua, M. K. (2016). A combined MCDM approach for evaluation and selection of third-party reverse logistics partner for Indian electronics industry. *Sustainable Production and Consumption*, 7, 66-78.

Prajapati, H., Kant, R. ve Shankar, R. (2019). Prioritizing the solutions of reverse logistics implementation to mitigate its barriers: A hybrid modified SWARA and WASPAS approach. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118219. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118219

Pumpinyo, S. ve Nitivattananon, V. (2014). Investigation of barriers and factors affecting the reverse logistics of waste management practice: a case study in Thailand. *Sustainability*, 6, 7048–7062. Doi: https://doi.org/10.3390/su6107048

Rahimifard, S., Coates, G., Staikos, T., Edwards, C. ve Abu-Bakar, M. (2009). Barriers, drivers and challenges for sustainable product recovery and recycling. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2(2), 80-90. Doi: https://doi.org/10.1080/19397030903019766

Rogers, D. S. ve Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal Of Business Logistics*, 22(2), 129-148.

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, 41(11), 1073-1076.

Shaharudin, M. R., Zailani, S. ve Tan, K. C. (2015). Barriers to product returns and recovery management in a developing country: investigation using multiple methods. *Journal of Cleaner Production*, 96, 220-232. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.071

Sirisawat, P. ve Kiatcharoenpol, T. (2018). Fuzzy AHP-TOPSIS approaches to prioritizing solutions for reverse logistics barriers. *Computers & Industrial Engineering*, 117, 303–318. Doi: https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.01.015

Šomplák, R., Kůdela, J., Smejkalová, V., Nevrlý, V., Pavlas, M. ve Hrabec, D. (2019). Pricing and advertising strategies in conceptual waste management planning. *Journal Of Cleaner Production*, *239*, 118068. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118068

Soner, S. ve Önüt, S. (2006). Multi-criteria supplier selection: An ELECTRE-AHP application. *Sigma*, 4, 110-120.

Srivastava, S. K. (2008). Network design for reverse logistics. *Omega*, 36(4), 535-548. Doi: https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.11.012

Stanujkic, D. (2015). Extension of the ARAS method for decision-making problems with interval-valued triangular fuzzy numbers. *Informatica*, 26(2), 335-355. Doi: https://doi.org/10.15388/Informatica.2015.51

Ulutaş, A., Topal, A. ve Bakhat, R. (2019). An application of fuzzy integrated model in green supplier selection. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019(1), 4256359. Doi: https://doi.org/10.1155/2019/4256359

Ulutaş, A., Popovic, G., Radanov, P., Stanujkic, D. ve Karabasevic, D. (2021). A new hybrid fuzzy PSI-PIPRECIA-CoCoSo MCDM based approach to solving the transportation company selection problem. *Technological and Economic Development of Economy*, 27(5), 1227-1249. Doi: https://doi.org/10.3846/tede.2021.15058

Waqas, M., Dong, Q. L., Ahmad, N., Zhu, Y. ve Nadeem, M. (2018). Critical barriers to implementation of reverse logistics in the manufacturing industry: a case study of a developing country. *Sustainability*, 10(11), 4202. Doi: https://doi.org/10.3390/su10114202

Wen, Z., Liao, H., Kazimieras Zavadskas, E. ve Al-Barakati, A. (2019). Selection third-party logistics service providers in supply chain finance by a hesitant fuzzy linguistic combined compromise solution method. *Economic Research-Ekonomska İstraživanja*, 32(1), 4033-4058. Doi: https://doi.org/10.1080/1331677X.2019.1678502

Yadav, O. P., Singh, N., Goel, P. S. ve Itabashi-Campbell, R. (2003). A framework for reliability prediction during product development process incorporating engineering judgments. *Quality Engineering*, 15(4), 649-662. Doi: https://doi.org/10.1081/QEN-120018396

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, *8*(3), 338-353.

Zhang, Y. M., Huang, G. H. ve He, L. (2011). An inexact reverse logistics model for municipal solid waste management systems. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 522-530. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.011