



LOJİSTİK 4.0 BAĞLAMINDA LOJİSTİK MALİYETLERİN SWARA YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ*

Yasin MERCAN**

Öz

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışı, gerçek zamanlı verilerin toplanmasını kolaylaştırarak bir paradigma değişimini başlatmış ve böylece karar vericilere stratejik ve operasyonel kararların formüle edilmesi için paha biçilmez içgörüler sağlamıştır. Endüstri 4.0 kavramının, makinelere dayanan geleneksel seri üretimi daha uyarlanabilir bir dijital paradigmaya dönüştürmesi beklenmektedir. Lojistik 4.0 ise, Endüstri 4.0'ın dijital dönüşüm ilkelerini lojistik süreçleriyle entegre ederek tedarik zincirlerinde verimliliği, esnekliği ve şeffaflığı artırmaktır. Bu bağlamda, lojistik maliyetlerinin ele alınması daha bütünsel ve veri odaklı bir yaklaşım gerektirmektedir. Lojistik 4.0'ın ortaya çıkışı, depolama, nakliye, envanter yönetimi ve sipariş işleme gibi alanlarda operasyonel maliyetlerin düşmesine yol açmıştır. Ancak bu geçiş, yüksek teknoloji yatırım maliyetleri ve bu teknolojiler için sistem entegrasyon maliyetleri gibi yeni maliyet kalemlerini de beraberinde getirmiştir. Bu çalışmanın amacı, Lojistik 4.0 paradigması çerçevesinde SWARA yaklaşımına uygun olarak Endüstri 4.0 üretim teknolojilerini benimseyen işletmeler için lojistik maliyetlerinin önemini tespit etmektir. Çalışmanın

* Bu çalışma için Kırklareli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Yayın Etiği Kurulundan 14.07.2025 tarih ve E-35523585-199-166204 sayılı karar numarası ile etik kurul izni alınmıştır.

**  Dr. Öğret. Üyesi, Kırklareli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, yasinmercan@klu.edu.tr, Kırklareli/Türkiye.

bulguları, stok yönetimi maliyetlerinin en önemli maliyet bileşeni olarak belirlendiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, lojistik 4.0, lojistik maliyetler, SWARA

EVALUATION OF LOGISTICS COSTS USING THE SWARA METHOD IN THE CONTEXT OF LOGISTICS 4.0

Abstract

The advent of Industry 4.0 has ushered in a paradigm shift by facilitating the collection of real-time data, thereby providing decision-makers with invaluable insights for formulating strategic and operational decisions. The concept of Industry 4.0 is anticipated to transform conventional mass production, which relies on machines, into a more adaptable digital paradigm. The objective of Logistics 4.0 is to enhance efficiency, flexibility, and transparency within supply chains by integrating the digital transformation principles of Industry 4.0 with logistics processes. In this context, addressing logistics costs necessitates a more holistic and data-driven approach. The advent of Logistics 4.0 has led to a decline in operational costs in areas such as warehousing, transportation, inventory management, and order processing. However, this transition has concomitantly given rise to new cost items, including high-tech investment costs and system integration costs for these technologies. The objective of this study is to ascertain the significance of logistics expenditures for enterprises that have adopted Industry 4.0 production technologies in accordance with the SWARA approach within the paradigm of Logistics 4.0. The findings of the study indicated that inventory management costs were identified as the most significant cost component.

Keywords: Industry 4.0, logistics 4.0, logistics costs, SWARA

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0, yalnızca endüstriyel otomasyonun sağlandığı bir süreç değil, aynı zamanda iş zekasının yaygın bir biçimde uygulandığı ve üretim sistemlerine etkili bir şekilde entegre edildiği dördüncü nesil endüstriyel devrim olarak tanımlamaktadır (Choi vd., 2022: 10). Endüstri 4.0 çağında otomasyon ve veri

analitiği, operasyon yönetiminde verimliliği artıran temel faktörler olarak öne çıkmaktadır. Üretim ve operasyon yönetimi, akıllı ve veriye dayalı operasyonları gerçeğe dönüştürerek Endüstri 4.0 çağına girmiştir. Yapay zekâ, robotik, blok zinciri, 3D baskı, nesnelerin interneti, dijital ikizler ve artırılmış gerçeklik gibi yıkıcı teknolojiler, geniş bir şekilde uygulama alanı bulmaktadır (Choi vd., 2022: 9). Endüstri 4.0'ın operasyonel, teknolojik ve sosyal boyutları da kapsayan dönüşümleri, yalnızca üretim endüstrilerini değil, aynı zamanda tedarik zincirinin tüm unsurlarını da etkilemektedir (Luthra ve Mangla, 2018: 169; Yavaş vd., 2020: 1). Tedarik zincirlerinin en önemli bileşenlerinden biri olan lojistik operasyonların, Endüstri 4.0'ın özelliklerinden etkilenmesi söz konusudur (Horenberg, 2017: 7; Yavaş vd., 2020: 1). Dördüncü Sanayi Devrimi, yalnızca üretim süreçlerini değil, aynı zamanda lojistik süreçleri de kökten değiştirmiştir. Lojistik 4.0 olarak adlandırılan bu dönüşüm, sektöre yenilik, katma değer ve sürdürülebilirlik konularında ciddi avantajlar sağlamaktadır. Lojistik 4.0, lojistik faaliyetlerin ana hedeflerini; doğru ürünün doğru şekilde, doğru zamanda, doğru yerde ve doğru kişiye teslimi ilkesi etrafında şekillendirmektedir. Bu bağlamda operasyonlarda yüksek teknolojik sensörler ve gelişmiş robotlar kullanılmaktadır (Jahn vd., 2018: 198).

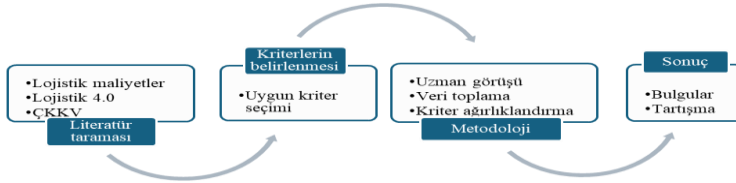
Lojistik sektörü, Endüstri 4.0'ın sunduğu fırsatları değerlendirerek daha rekabetçi ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşma potansiyeline sahiptir (Turgut vd., 2024: 105). Günümüzde birçok ürün dünya çapında satın alınabilmektedir çünkü kullanıcılar dünyanın her yerinden ürünlere erişebilmektedir. Bu nedenle, tedarik zinciri maliyet etkin performansı da dikkate alınmalıdır. Çünkü ürün maliyetleri kişiselleştirilmiş üretim süreçleri nedeniyle zaten artmıştır. Sonuç olarak, maliyet etkin performans, bu çalışma organizasyonun mümkün olan en düşük yönetim maliyetleriyle en yüksek performanslı hizmetleri sunma yeteneği olarak tanımlanan rekabet avantajının temel yönlerinden biridir (Gružasuskas vd., 2018: 711).

Etkin bir rekabet biçimi benimsemek isteyen işletmeler, lojistik faaliyetleri ve bu faaliyetlerden kaynaklanan maliyetleri etkin bir şekilde yönetme gerekliliği taşımaktadır. Küreselleşme ile lojistik faaliyetlerin nitelik ve niceliğinde meydana gelen değişiklikler, beraberinde maliyet artışlarını da getirmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar, lojistik maliyetlerin işletmenin toplam maliyetleri içindeki önemini vurgulamaktadır ve lojistik faaliyetler sonucu ortaya çıkan maliyetlerin belirlenmesi gerekmektedir. Lojistik maliyetlerinin ele alınması daha bütünsel ve veri odaklı bir yaklaşım gerektirmektedir. Ancak literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında daha çok nitel analizler ile yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Nicel analiz ile lojistik maliyetlere odaklanan çalışmaların sayısı sınırlıdır. Bu çalışma, küresel fermuar pazarının %60'ına tedarik sağlayan bir kuruluşun, Türkiye'deki üretim tesisinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu işletme, Türk üretim sanayisinde Endüstri 4.0 dönüşümünü başarıyla tamamlamış nadir örneklerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 üretim teknolojilerine uyum sağlamış bir işletmede lojistik maliyetlerin önem derecelerinin SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis- Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) yaklaşımı temelinde ve Lojistik 4.0 bağlamında belirlenmesidir. Bu bağlamda bu çalışmada şu araştırma sorusu ele alınmaktadır. Lojistik maliyetlerin değerlendirilmesinde etkili olan kriterlerin önem seviyeleri nelerdir? Bu araştırma sorusu çerçevesinde elde edilecek çalışma sonuçlarına göre Endüstri 4.0'a uyum sağlamış bir işletmede en önemli lojistik maliyet kalemlerinin hangileri olduğu sorusunun cevabı da ortaya çıkarılmıştır. Çalışmanın Endüstri 4.0'a uyum sağlamış bir işletmede yapılması daha önce yapılmamış bir çalışmadır ve bu bağlamda literatüre sağlaması beklenen katkı yüksektir. Bu çalışma sonuçları ile 4.0 teknolojilerini kullanan ya da kullanmayı düşünen işletmelerin lojistik bağlamında karşılaştıkları maliyetler tartışılarak yol gösterici nitelik kazanmaktadır. Çalışmada kullanılan SWARA yöntemi basit ve diğer yöntemlere göre daha az sayıda karşılaştırma ile

sonuç elde etmesi sebebiyle tercih edilmiştir. Daha az karşılaştırma ile sonuç elde etmesi uzmanlardan alınan verinin daha doğru ve nitelikli olduğunun göstergesidir. Ayrıca yöntem birden fazla uzmanın görüşünün ortalama değere göre bir ağırlık belirlenmesine de imkân sağlamaktadır. Yöntem birden fazla uzmanın sübjektif yargılarını ve görüşlerini aynı anda entegre etme kabiliyeti sayesinde, işletmelerin faaliyet gösterdiği koşulları değerlendirmek için kolay uygulanabilir ve fonksiyonel bir araç sunmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmada öncelikle literatür taramasına dayalı olarak kriterler belirlenmiştir. Daha sonra uzmanlar belirlenerek SWARA yöntemi adımları gereği kriter ağırlıklandırması yapılmıştır. Elde edilen bulgular diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu iş akışı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil1: İş Akışı

Çalışma amacı doğrultusunda Skopus, Web of Science ve Google Scholar’dan “lojistik maliyetler” arama kriteri ile yapılan ve elde edilen çalışmalar incelenerek özetlenmiştir. Çalışmaların genellikle maliyet yönetimi, maliyet optimizasyonu, lojistik performans, lojistik performans indeksi gibi konular üzerinde ve çeşitli sektörlerde yapıldığı görülmektedir. Ancak lojistik maliyetleri ÇKKV teknikleri ile değerlendiren sadece iki çalışmaya rastlanmıştır. Karaa ve Geyikçi (2015) Türk lojistik sektörüne ilişkin ana maliyet unsurlarını, ilgili alt maliyetlerle birlikte Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemi ile belirlemiştir. En yüksek ağırlıklı ana maliyet unsuru olarak ulaştırma maliyetleri belirlenmiştir. Memiş ve

Korucuk (2021) ise Giresun ilindeki imalat işletmelerine yönelik yapılan bir uygulama ile lojistik maliyetleri etkileyen faktörlerin önem derecelerini MOOSRA yöntemi ile belirlemiş ve en yüksek ağırlıklı kriterin stok yönetim maliyetleri olduğu belirlenmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda ÇKKV teknikleri ile değerlendiren sadece iki çalışmanın bulunması bu alandaki büyük bir boşluğun işaretidir ve konunun ne kadar az çalışıldığının bir göstergesidir. Literatüre bakıldığında yukarıdaki iki çalışmadan farklı olarak yapılan çalışmalar ayrıntılı olarak ele alınmış ve dört başlık altında sınıflandırılmıştır. İlk olarak lojistik maliyetlerinin tanımlanması, hesaplanması ve raporlanması ile ilgili temel ve teorik çalışmalara (Engblom vd. (2012), Santoso vd. (2021), Banomyong vd. (2022), Havenga vd. (2022), Sternad (2018), Majercak (2020), Kahveci vd. (2021), Tokay vd. (2015), Kubon vd. (2010), Škerlić ve Sokolovskij (2019), Škerlić vd. (2016)) yer verilmiştir. Tablo 1'e bakıldığında yapılan çalışmaların maliyet ölçümü ve çeşitli analiz modellerinin kullanıldığı görülmektedir

Tablo 1: Maliyet Ölçümü ve Analiz Modelleri

Referanslar	Araştırmanın Konusu
Engblom vd. (2012)	Finlandiya'da faaliyet gösteren imalat ve ticaret işletmelerinin kendi bildirdikleri lojistik maliyetlerindeki farklılıkları ve karşılıklı bağımlılıkları incelemiştir. Toplam lojistik maliyetleri nakliye, depolama, envanter taşıma, lojistik yönetimi, nakliye ambalajı ve dolaylı lojistik maliyetler olmak üzere altı ayrı bileşenden oluşmaktadır.
Tokay vd. (2015)	Lojistik maliyetlerin ve muhasebe eğitiminin önemi üzerine odaklanılmaktadır. Lojistik maliyetlerin düşürülmesi için muhasebe içi ve muhasebe dışı stratejiler üzerinde durulmaktadır.
Santoso vd. (2021)	Lojistik maliyetlerin hesaplanmasında karşılaşılan zorlukları, mevcut modellerin sınırlamalarını ve daha doğru bir ölçüm geliştirmek için alternatif ölçüm yaklaşımları incelenmektedir. Endonezya'da makro düzeyde lojistik maliyetlerinin ölçülmesi çalışmasını içermektedir.
Sternad (2018)	Slovenya'daki şirketlerin lojistik maliyet ölçümlerindeki farklılıklar şirket boyutlarına göre değerlendirmiştir.
Havenga vd. (2022)	Güney Afrika'nın makro lojistik karar verme süreçlerini değerlendirmek amacı ile ulusal taşıma akış ve lojistik maliyet ölçümlerinin geliştirilmesi üzerine bir araştırma yapılmaktadır.
Banomyong vd. (2022)	Tayland bağlamında gayri safi yurtiçi hasıla başına ulusal lojistik maliyetini hesaplamak için bir yaklaşım sunmakta ve temel

	paydaşlarla bir eylem araştırması metodolojisi kullanarak doğruluğunu ve geçerliliğini göstermektedir.
Kahveci vd. (2021)	Lojistik maliyetlerin doğru bir şekilde hesaplanması gerektiği üzerinde durulmakta ve lojistik maliyetlerin etkinliğini artırmak amacıyla çağdaş maliyetleme yaklaşımlarından hedef maliyetleme, kısıtlar teorisi, değer analizi ve kaizen maliyetleme ile lojistik maliyetleri analiz edilmektedir.
Majercak (2020)	Lojistik zinciri optimizasyonu üzerine bir araştırmayı ele almaktadır. Klasik maliyet takibi ile lojistik maliyetler arasındaki farkları vurgulamaktadır.
Kubon vd. (2010)	Polonya'daki işletmelerin rekabet avantajı yaratmada lojistiğin önemi üzerine odaklanmaktadır. Lojistik maliyetler tarım alanında faaliyet gösteren 50 işletme örneği üzerinden analiz edilmektedir.
Škerlič ve Sokolovskij (2019)	Bir ürünün yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan lojistik maliyetlerin yönetimine ilişkin çokuluslu bir mobilya şirketi için bir model geliştirilmesidir.
Škerlič vd. (2016)	İşletme içerisindeki tüm lojistik maliyetleri dikkate alarak çeşitli seviyelerdeki çalışanların ve farklı iş fonksiyonlarının kullanabileceği bir karar verme modeli geliştirilmiştir.

İkinci olarak lojistik maliyetlerini somut olarak azaltmaya yönelik metodoloji ve araçları kullanan çalışmalara (Orbak vd. (2023), Şişman (2023), Kahveci vd. (2019), Onay (2021), Yan vd. (2021), Demirci (2019), Besklubova vd. (2023), Nie vd. (2016), Hoa vd. (2020)) yer verilmiştir. Bu çalışmalar Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2: Maliyet Optimizasyonu Uygulamaları

Referanslar	Araştırmanın Konusu
Nie vd. (2016)	Bir lojistik şirketinin maliyetlerini azaltmak için tasarım ve optimizasyon çalışmalarına odaklanılmaktadır. Lojistik sektöründeki rekabetin yoğunlaştığı bir ortamda, etkili bir dağıtım stratejisinin önemi vurgulanmaktadır.
Şişman (2023)	Tedarik zincirinde Yalın altı sigma uygulaması ile lojistik maliyetlerinin azaltılmasına yönelik Türkiye'de bir vaka çalışması yapılarak çözüm önerileri sunulmaktadır.
Kahveci vd. (2019)	Lojistik maliyetlerin etkinliğini sürece dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme ve kısıtlar teorisi entegrasyonu ile incelemektedir.
Orbak vd. (2023)	Bir boru imalat şirketinin lojistik maliyetlerini optimize etmek için matematiksel model destekli altı sigma yaklaşımı ele alınmaktadır. Şirketin lojistik maliyetlerini kontrol etmek amacıyla iki matematiksel model geliştirilmektedir.
Yan vd. (2021)	Lojistik maliyetlerin optimizasyon süreçleri üzerine Hurwitz kriterini kullanarak bir çerçeve geliştirmektedir. Lojistik yöneticilerinin karşılaştığı belirsizlikleri yönlendirmek ve optimal çözümler

	bulmalarını sağlamaktadır.
Onay (2021)	Endüstriyel dönüşümün maliyetler üzerindeki etkisi ele alınmaktadır. Ayrıca Zaman Etkenli Faaliyete Dayalı Maliyetleme yöntemi ile yeşil lojistik maliyet yöntemini değerlendiren bir vaka analizi yapılmaktadır.
Demirci (2019)	Çok kriterli karar verme yaklaşımları ile lojistik maliyetlerin yönetimi ve depo alanı seçimi konusu üzerine bir araştırma yapılmıştır.
Besklubova vd. (2023)	İnşaat 3D baskı projeleri için çok aşamalı bir ağ tabanlı lojistik maliyet analiz modeli geliştirilmesi ele alınmaktadır. Özellikle bu model malzeme, ekipman ve atık akışını değerlendirmektedir. 3D baskı projeleri için uygun lojistik stratejileri belirlenmektedir.
Hoa vd. (2020)	Vietnam merkezli lojistik hizmet sağlayıcılarına yönelik kritik lojistik maliyet faktörleri incelenmektedir.

Üçüncü olarak uluslararası ticaret, taşımacılık modu seçimi ve tedarik zinciri tasarımı üzerinden maliyetleri yönetmeyi hedefleyen çalışmalara (Patil vd. (2023), Acar vd. (2021), Hasan vd. (2021), Diego vd. (2021), Mallidis vd. (2018), Aktürk (2019), Shi vd. (2019)) yer verilmiştir. Bu çalışmalar Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3: Taşıma ve Tedarik Zinciri Stratejileri

Referanslar	Araştırmanın Konusu
Patil vd. (2023)	Uluslararası taşımacılığın ve toplam lojistik maliyetlerin seçimi üzerindeki etkilerini ele almaktadır. Toplam lojistik maliyetlerine dayalı bir yaklaşım önerilmekte ve makine öğrenimi sınıflandırıcıları kullanarak gönderimlerin ücret ağırlıkları için karar sınırı oluşturulmaktadır.
Hasan vd. (2021)	Bangladeş'te karayolundan iç su taşımacılığına geçişteki engeller analiz edilmektedir. Demiryolu ve iç su taşımacılığının toplam lojistik maliyetleri envanter teorik modeline göre karşılaştırılmaktadır.
Diego vd. (2021)	Kablosuz şarj altyapılarının elektrikli otobüslerin enerji lojistiği maliyetlerini araştırmaktadır. Çevre dostu ulaşım çözümlerinin geliştirilmesi gerekliliğine odaklanılmaktadır.
Acar vd. (2021)	Artan rekabet ortamında uluslararası lojistiğin önemi üzerinde durulmaktadır. Özellikle taşıma ve nakliye maliyetlerinin uluslararası ticaret üzerindeki etkisi ele alınmaktadır.
Aktürk (2019)	Sipariş üzerine üretim yapan işletmelerin teslim tarihinin belirlenmesi sürecinde etkili olan lojistik maliyetlerin yönetilmesi üzerine odaklanmaktadır.
Shi vd. (2019)	Tekrar satış odaklı çevrimiçi perakendecilerin tedarikçiler ile online pazarları paylaşma stratejisi, tüketici davranışlarını ve perakendecilerin karlarını etkileyen lojistik maliyetler ile ürün bilgisi arasındaki etkileşimleri incelemişlerdir.

Mallidis vd. (2018)	Yavaş seyir uygulamasının lojistik maliyetler üzerindeki etkisi araştırılmaktadır.
---------------------	--

Son olarak ise lojistik maliyetlerinin şirket performansı, finansal sonuçlar ve ekonomik kalkınma üzerindeki geniş etkisini inceleyen çalışmalara (Arsova vd. (2023), Irak vd. (2021), Bayraktutan vd. (2015), Saini ve Hrušecká (2021), Khouri vd. (2018), Ceran vd. (2022), Kayalı vd. (2020), Stępień vd. (2016), Muha (2019), Riadh (2018)) Tablo 4'te yer verilmiştir.

Tablo 4: Performans Analizi Uygulamaları

Referanslar	Araştırmanın Konusu
Arsova vd. (2023)	Lojistik maliyetlerin, işletmenin performansı üzerindeki etkilerini incelemektedir.
Ceran vd. (2022)	Uluslararası pazarlamada üstünlük elde edebilmek için Lojistik 4.0 bağlamında maliyetlerin doğru bir şekilde tanımlanması ve yönetilmesi üzerine odaklanılmaktadır.
Saini ve Hrušecká (2021)	Lojistik Performans Endeksi ve İş Yapma Kolaylığı ile lojistik maliyetlerin ekonomik kalkınma üzerindeki etkisinin değerlendirilmesidir.
Irak vd. (2021)	Lojistik performansın finansal ve finansal olmayan performans üzerindeki etkileri ile lojistik maliyetlerin bu performanslar üzerindeki etkileri 240 ihracatçı firmaya anket yapılarak belirlenmiştir.
Saini vd. (2021)	Lojistik performans endeksi, iş yapma kolaylığı ve lojistik maliyetlerin ekonomik gelişim üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.
Irak vd. (2021)	Küreselleşmenin lojistik maliyetler üzerindeki etkisini ve modern maliyet teknikleri ile dış kaynak kullanımı, lojistik maliyetler ve finansal performans üzerindeki ilişkiyi incelemektedir.
Kayalı vd. (2020)	Lojistik maliyetlerin önemi üzerinde durulmakta ve işletme yöneticilerin bu maliyetlere gereken önem verip vermediği değerlendirilmektedir.
Bayraktutan vd. (2015)	Lojistik yetkinliklerin gelişimi ve rekabetçilikte kilit unsur olan lojistik maliyet ve lojistik performans göstergeleri üzerine bir çalışma sunulmaktadır.
Khouri vd. (2018)	Lojistik performans ve kurumsal lojistik maliyetleri arasındaki ilişki ele alınmaktadır.
Stępień vd. (2016)	Lojistik maliyetlerin işletme yönetim süreçlerine olan etkisi üzerinde durulmuştur. 2013-2015 yılları arasında bir üretim şirketindeki lojistik maliyetler analiz edilmiştir.
Muha (2019)	Lojistik maliyet yönetimi ile ilgili zorluklar ele alınmaktadır.

Riadh (2018)	Otomotiv endüstrisinde yer alan bir şirketin lojistik maliyetleri ile ilgili çözüm önerisi sunmaktadır.
--------------	---

3. LOJİSTİK MALİYETLER VE LOJİSTİK 4.0

Günümüzde lojistik denildiğinde ilk akla “bir ürünün bir yerden başka bir yere taşınması” gelmektedir. Oysaki lojistik denilen kavram bu tanımın çok ötesindedir. Lojistik süreci hammadde, yarı mamul, mamul, hazır parça ve yardımcı malzemenin tedarik edilmesi, işletme içerisindeki hareketleri, depolardaki hareketleri, müşteriye gönderilmesi ve herhangi bir sebeple müşteriden geri yönlü akışın oluşturulması süreçlerinden oluşmaktadır. Bu süreç de kendi içinde birçok farklı alt süreci barındırmakta ve dolayısıyla bu süreçlere bağlı olarak birçok lojistik maliyet oluşmaktadır. İşletmeler karmaşık ve detaylı olan bu lojistik faaliyetleri yerine getirirken ortaya çıkan maliyetlere katlanmak zorundadırlar. Bir birim üründeki lojistik maliyetlerde görülecek artış işletmenin etkin ve verimli yönetilmesini etkileyecek ve rekabet avantajında onu zayıflatacaktır. Bu noktada lojistik süreçlerin lojistik maliyetleri oluşturduğu dikkate alınarak bu maliyetlerin doğru hesaplanması ve varsa maliyetlerin düşürülme olasılıklarının dikkate alınması işletmelerin belirlemiş oldukları optimizasyon hedeflerine daha çabuk ulaşmalarında etkili olacaktır. Lojistik maliyetlerin birçok farklı tanımı olmakla birlikte; Weiyi ve Luming (2009) lojistik maliyetleri belirgin olan maliyetler (depolama, tedarik, taşıma, dağıtım, iletişim, ambalajlama), stok bulundurma maliyetleri ve diğer lojistik hizmet maliyetleri şeklinde, Tokay vd. (2011) lojistik faaliyetler temelinde oluşan ve bu faaliyetler için harcanan çabanın parasal tutarı olarak, Ghiani vd. (2013) ise özellikle son tüketiciye bir ürün veya hizmet götürmek için yapılan tüm harcamaların toplamı olarak tanımlamaktadırlar. Çalışmada kullanılan lojistik maliyetler şöyle açıklanmaktadır:

Taşıma Maliyetleri: Lojistikte taşıma fonksiyonu lojistik faaliyetleri birbirine bağlamaktadır (Çekerol, 2015: 75). Taşıma maliyetleri bir ürünün ya da hizmetin işletmeye girişinden, çıkışına ve müşteriye ulaşmasına kadar olan süreçte oluşan, taşınan ürünün özellikleri, ağırlığı, hacmi, tehlikeli olup olmadığı, nakledilecek mesafe, istifleme durumu, taşıma şekli ve mali sorumluluklar gibi faktörlere bağlı olarak meydana gelen harcamalardır (Ceran vd., 2022: 105).

Depolama Maliyetleri: Depolama maliyetleri depolamaya konu olan malzemelerin depolanması ile ortaya çıkmaktadır. Bu maliyetler; depolama için katlanılacak olan kira, işçilik, aydınlatma, ısıtma-soğutma, havalandırma, gibi çeşitli maliyet kalemlerinden oluşmaktadır (Çekerol, 2015: 46-49).

Stok Yönetimi Maliyetleri: Stok yönetimi maliyetleri, genel olarak stok bulundurma ve bulundurmamanın maliyetleri, satın almaya ait giderler ve sipariş işleme maliyetlerini kapsamaktadır. Stoklar, sipariş verme, gelen siparişlerin kontrol edilmesi ve teslim alınıp elde tutulması süreçlerinin yanı sıra, tüm bu işlemleri destekleyen bilgi sisteminin kurulumu ve işletiminden kaynaklanan maliyetler doğurmaktadır (Acar ve Ateş, 2011: 17).

Elleçleme Maliyetleri: Elleçleme bir işletme veya depoda hammadde, proses içi stok veya nihai ürünlerin bütün hareketlerinden oluşmaktadır. Depodaki bir malzeme elleçlendiğinde işletmeye değer katmadan sadece maliyet yaratmaktadır. Bu noktada elleçleme miktarının azaltılması elleçleme maliyetlerinin azalmasını sağlayacaktır. Ürünlerin etkin bir şekilde taşınması, taşıma sırasında oluşabilecek zararların önlenmesi için taşıma sıklığının azaltılması, elleçleme sürecinde 4.0'a dayalı otomasyon sistemlerin kullanılmasını gerektirmektedir (Bowersox vd., 2002: 42).

Sipariş İşleme Maliyetleri: Siparişle ilgili tüm bilgilerin gereken yerlere ulaştırılması gibi maliyet kalemlerinden oluşmaktadır. İşletmenin kullanmış

olduğu teknoloji 4.0 ile uyumlu ise siparişler otomatik alınacak ve işlenecektir. Bu da manuel sipariş giriş hataları engelleyecektir. Yine siparişler anlık olarak izleneceğinden teslimatlar hızlanacaktır (Memiş ve Korucuk, 2021: 54).

Ambalajlama Maliyetleri: Belirli miktardaki ürün kutularının bir araya getirilmesi, taşınma sırasında hasar görmemesi için ambalajlama yapılması gerekmektedir. Bu işlem için uygun araç-gereç kullanılması önemlidir. En büyük harcama kalemi ambalaj maliyetidir. Bu nedenle, ambalaj seçimi yapılırken ambalajın maliyeti ile potansiyel hasar maliyeti arasında bir denge kurulmalıdır. (Acar ve Ateş, 2011: 21).

Satınalma Maliyetleri: Satınalma, depolama ve taşıma giderlerini doğrudan etkilediği için önemli bir lojistik süreç olarak kabul edilmektedir. Burada hangi ürünlerin ne zaman ve ne miktarda sipariş edileceği, hangi tedarikçiden alınacağı, tedarik kaynaklarının nasıl değerlendirileceği, hangi taşıma yöntemlerinin kullanılacağı ve gelen ürünlerin nasıl depolanacağı gibi konulara odaklanılmaktadır (Çekerol, 2015: 81).

Bilgi Yönetimi Maliyetleri: Bilgi yönetimi maliyetleri temel olarak bilgisayar sistemlerini, bilgisayar ağlarını, bulut sistemlerini ve otomatik tanıma ve veri toplama sistemlerini içermekte ve bu faaliyeti yürütebilmek için katlanılan fedakarlıklar bütünüdür (Memiş ve Korucuk, 2021: 55).

Müşteri İlişkileri Maliyetleri: Müşteri ilişkileriyle ilgili maliyetler, taşımada geçen süre, ürün stok durumu, müşteri şikayetleri, hatalı ürün iade oranları ve kaybedilen satışların dikkate alınmasıyla belirlenir. Ayrıca kaybedilen satışlar, potansiyel müşteri kaybını da içerir. Zira mevcut ürünlerden vazgeçen müşterilerin olumsuz yorumlarını duyan potansiyel alıcılar, bu ürünlere karşı olumsuz bir tutum geliştirebilir ve satın almaktan vazgeçebilirler. (Acar ve Ateş, 2011: 20).

Lojistik 4.0 piyasadaki değişime uyum sağlayan, maliyetleri azaltan ve müşteri ihtiyaçlarının tam zamanında karşılandığı daha esnek bir lojistik sistemi olarak tanımlanmaktadır (Şekkeli ve Bakan, 2018: 19). Lojistik 4.0 verimlilik artışı sağlarken, daha az insan kaynağı kullanımı, fonksiyonlar arası bilgi entegrasyon ve son teknoloji kullanımı gibi avantajlar sağlamaktadır (Horenberg 2017: 7). Bu teknolojilerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, üretimdeki doğrudan iş gücü maliyetlerinin azalması öngörülmekte ve değişken üretim maliyetleri, sabit maliyetlere dönüşmektedir. Sistemde, insan iş gücünün yerini alan otomasyon süreçlerinde makine, robot, cihaz, bilgisayar gibi ekipmanların bakım ve onarım maliyetleri önemli hale gelmektedir. Ayrıca, sistemin işleyişi için yeni tanımlanmış veri operatörü, analist ve yazılım uzmanı gibi görevleri üstlenecek beyaz yakalı çalışanların maliyetleri de ortaya çıkacaktır (Ceran vd., 2022: 105).

Endüstri 4.0 öncülüğünde gelişen lojistik 4.0 lojistik maliyetlerde köklü bir etki yaratarak sistematik ve nedensel bir yapı oluşturmaktadır. Bu yapının temelinde de verimlilik artışı, otomasyon ve veri odaklı karar alma yer almaktadır. Bu çalışma da lojistik maliyetleri değerlendirmede veri odaklı yapılandırılarak sonuca ulaştırılmıştır. 4.0'a entegre olan tedarik zincirleri kendi kendini yönetebilen şeffaf bir lojistik sistem oluşturmaktadır. Yapay zekâ destekli rota optimizasyonu ile otonom araçlar yönlendirilerek en verimli rotalar oluşturulur. Bu da yakıt tüketimini azaltarak taşıma maliyetlerini düşürmektedir. Akıllı raflar ve dikey depolama ile otomatik depolama süreçleri geliştirilmektedir. Bu durum alan kullanımı daha verimli hale getirilerek depolama maliyetleri azaltılmaktadır. Nesnelerin interneti ile talep tahminleri gerçek zamanlı oluşturulduğunda fazla stok bulundurma ya da stoksuz kalma durumları ortadan kaldırılarak güvenli stok politikası uygulanmaktadır. Elleçleme işlemleri otomatik güdümlü araçlar ile yapılarak insan kaynaklı hataların önüne geçilmekte ve operasyon hızı arttırılmakta dolayısı ile elleçleme maliyetleri azaltılmaktadır. Bulut bilişim ile veri girişi ve sipariş doğrulama sağlanarak manuel giriş hataları ortadan

kaldırılmakta ve sipariş işleme maliyetleri azaltılmaktadır. Yapay zekâ tabanlı ve 3D yazıcılar kullanılarak gerçekleştirilen ambalajlama ile yanlış ambalaj kullanımının önüne geçilmekte ve ambalajlama maliyetleri azaltılmaktadır. Yine yapay zekâ tabanlı tedarikçi değerlendirmeleri yapılarak doğru tedarikçi seçimi yapılarak satınalma maliyetleri azaltılmaktadır. Bulut bilişim ve entegre siber fiziksel sistemler ile gerçek zamanlı platformlar oluşturularak veri toplama, işleme ve raporlamadaki operasyonel maliyetler azaltılmaktadır. Çalışmanın temel amacı olan lojistik maliyetlerinin 4.0'a entegre olunduğunda ne derecede azaltılacağı aşıkardır. Bu noktada yapılmak istenen bu maliyet kalemlerinin 4.0'a uyum sağlamış bir işletmede ne derecede önemli olduğunun belirlenmesidir.

4. METADOLOJİ

ÇKKV problemin çözümüne ışık tutan karar vericilerin görüşleri doğrultusunda değerlendirmeler yapan ve birçok alanda kullanılan bir yöntemler bütünüdür. Problem için belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması önem arz etmektedir. Burada esas olan belirli bir anlam ve mantık düzeyinde kriterlerin sıralanmasıdır. Bu çalışmada Lojistik 4.0 bağlamında lojistik maliyetler öznel ağırlıklandırmaya dayalı olarak değerlendirilmiştir. Öznel ağırlıklandırma uzman görüşlerine dayanır. Nesnel ağırlıklandırma ise, kriterleri hesaplayan matematiksel algoritmalarla türetilir. Uzman görüşlerinden bağımsız olarak alternatifler için kriterler değerlendirilir. Buna karşılık, hibrit ağırlıklandırma yaklaşımı, kriter ağırlıklarını belirlemek için hem öznel hem de nesnel yöntemleri birleştirir (Odü, 2019: 1450-1451).

Literatüre bakıldığında lojistik maliyetlerin değerlendirilmesinde birçok faktör ve değerlendirme kriterinin yanı sıra çeşitli yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada değerlendirme yöntemi olarak SWARA yöntemi seçilmiştir. Öznel ağırlıkları hesaplamak için Kerşulienne vd. (2010) tarafından geliştirilen SWARA yöntemine en önemli avantajı, matematiksel uygulama adımlarının basit,

anlaşılır, kolay ve ikili kriter karşılaştırma sayısının az olması sağlamaktadır (Erdoğan vd., 2019: 657). Bu yöntem, uzmanlardan elde edilen verilerin toplanması ve düzenlenmesinde son derece etkilidir. Uzmanlar, hesaplanan ağırlıkların değerlendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Her bir uzman, kendi bilgi ve deneyimlerine dayanarak her kriterin ne kadar önemli olduğunu belirler. Ardından, uzmanlardan alınan ortalama değerler dikkate alınarak her kriterin ağırlığı belirlenir (Bennani vd., 2022: 1608). Birden fazla uzman görüşlerini ve yargılarını aynı anda değerlendirebilmesi sayesinde, uzmanların subjektif yargılarından faydalanarak işletmelerin mevcut durumlarını analiz etmek için sade ve etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yöntemin birden fazla avantaj sağlaması ve uzman görüşlerini ortak bir noktada birleştirebilmesi bu çalışmada kullanmamız için bizi yönlendirmiştir. SWARA yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Keršuliene, Zavadskas ve Turskis, 2010: 247; Yontar ve Derse 2023: 834);

Adım 1: Öncelikle üzerinde çalışılacak karar problemi oluşturulur ve problemle ilgili kriterler tanımlanır. Daha sonra karar verme sürecinde yer alacak K adet karar vericiden $(KV_k, k = 1, 2, \dots, K)$ her biri problemin çözümünde kullanılacak kriterleri kendi aralarında deneyimlerine dayanarak değerlendirir. Değerlendirilen kriterler, azalan önem sırasına göre sıralanır.

Adım 2: İkinci adımda karar vericiler (KV_k) kriter sıralaması yaptıktan sonra kriterlerin göreceli önem seviyeleri 0 ile 1 arasında olacak şekilde belirlenir ve puanlanır $(p_t, t = 1, 2, \dots, n)$. En önemli olduğu düşünülen kriter 1; diğerleri ise 0,05'in katları olacak şekilde azalarak n adet kriter puanlanır.

Adım 3: Bu adımda kriterler göreceli önem seviyeleri dikkate alınarak büyükten küçüğe doğru sıralanır. Daha sonra göreceli önem seviyesi puanlarının ardışık farkları alınarak, ortama değerin göreceli önemi olarak ifade edilen s_t değerleri

elde edilir ($t = 1, 2, \dots, n$). Bu değerler t . kriter ($t - 1$). kriterle karşılaştırılarak elde edilir.

Adım 4: Her bir kriter için, kriterin katsayısı (k_t) Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanır ve en önemli kriterin katsayısı olarak 1 puan atanır.

$$k_t = \begin{cases} 1, & t = 1 \\ s_t + 1 & t > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Adım 5: Her bir kriterin düzeltilmiş ağırlığı (q_t) Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanır ve en önemli kriterin düzeltilmiş ağırlığına 1 puan atanır.

$$q_t = \begin{cases} 1, & t = 1 \\ \frac{q_{t-1}}{k_t}, & t > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 6: Karar vericilerin görelî kriter ağırlıkları (w_t) Eşitlik (3) kullanılarak hesaplanır. (n : kriter sayısı)

$$w_t = \frac{q_t}{\sum_{t=1}^n q_t} \quad (3)$$

Adım 7: Karar vericiler tarafından belirlenen görelî kriter ağırlıklarının tek bir değere indirilmesi için, ağırlıkların aritmetik ortalaması alınarak bütünleşmesi sağlanır ve nihai kriter ağırlıkları (W_t) elde edilir.

5. ANALİZ VE BULGULAR

Bu çalışma fermuar alanında dünyanın %60'ına üretim yapan köklü bir firmanın Türkiye'deki işletmesinde yapılmıştır. Çalışmada, Lojistik 4.0 bağlamında lojistik maliyetlerin değerlendirilmesi için SWARA yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada amaçlı örnekleme yöntemi ile uzmanlar belirlenmiş ve veriler yüz yüze görüşme yoluyla elde edilmiştir. Belirlenen uzman grubu, yaş ortalaması 43 olan ve tamamı erkeklerden oluşan toplam 5 yöneticiden meydana gelmektedir. Endüstri 4.0 alanında geniş bir bilgi birikimine sahip olan bu uzmanlar, sektörde en az beş yıl olmak üzere ortalama sekiz yıllık bir çalışma deneyimine sahiptir.

Satınalma, üretim ve Ar-Ge bölümlerinde aktif görevler üstlenen çalışma grubu; 1 makine mühendisi, 2 mekatronik mühendisi, 1 elektrik mühendisi ve 1 mekanik mühendisten oluşmaktadır. Lojistik maliyetlerin sınıflandırılması alanının tanımlanmasına yönelik küresel düzeyde uygulanabilecek bir standart henüz geliştirilememiştir. Lojistik maliyetlerin ölçülmesi son derece zor bir süreçtir. Aynı durum lojistik maliyetlerinin modellenmesi için de geçerlidir çünkü karar değişkenleri arasındaki ilişkiler genellikle bilinmemektedir. Lojistik maliyetlerin modellenmesi bu nedenle zordur çünkü çoğu durağan olmayan pek çok dış faktörden etkilenmektedir. Bu bağlamda çalışmada oluşturulan model yapılan literatür taramasına dayalı olarak en sık kullanılan maliyet kalemlerini içeren Muha (2019); Irak ve Şen, (2021); Memiş ve Korucuk (2021) ve Ceran vd. (2022) çalışmalarından oluşturulmuştur. Kullanılan kriterler ve kodları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Çalışmada Kullanılan Kriterler ve Kodlar

Kod	Kriter Tanımları
K1	Taşıma Maliyetleri
K2	Depolama Maliyetleri
K3	Stok Yönetimi Maliyetleri
K4	Elleçleme Maliyetleri
K5	Sipariş İşleme Maliyetleri
K6	Ambalajlama Maliyetleri
K7	Satınalma Maliyetleri
K8	Bilgi Yönetimi Maliyetleri
K9	Müşteri İlişkileri Maliyetleri

Her bir uzman için SWARA yönteminin uygulanmasında yer alan adımlar, bölüm 3'te verilen sıralamaya dayandırılarak aşağıda sunulmuştur.

Adım 1: İlk adımda karar vericilerden kriterleri algıladıkları önem sıralamaları alınmıştır. Bu sıralama 1 en önemli kriteri ve 9 en az önemli kriteri temsil edecek şekilde 1 ila 9 arasında bir ölçekte yapılmıştır. Elde edilen sıralamalar Tablo 6'da

verilmiştir. Bu tabloda karar vericiler KV_k ($k = 1, 2, \dots, 5$) olarak gösterilmiştir.

Tablo 6: Kriterlerin Önem Sıralaması

KRİTERLER	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
K1	4	2	8	9	7
K2	3	4	1	4	9
K3	1	3	2	3	8
K4	2	1	9	1	6
K5	8	6	7	7	4
K6	6	8	4	8	5
K7	5	5	3	2	3
K8	9	7	5	5	1
K9	7	9	6	6	2

Adım 2: İkinci adımda karar vericilerin kriterleri, en önemli kriterin önem puanı 1,00 ve diğer kriterlerin önem puanları 0,00 ile 1,00 aralığında 0,05'in katları olacak şekilde derecelendirmeleri istenmiştir. Karar vericilerin değerlendirmeleri ile elde edilen kriterlerin derece puanları (pt) Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7: Kriterlerin Derecelerinin Puanlanması (pt)

KRİTERLER	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
K1	0,75	0,85	0,20	0,30	0,40
K2	0,80	0,70	1,00	0,75	0,20
K3	1,00	0,80	0,95	0,80	0,30
K4	0,90	1,00	0,15	1,00	0,50
K5	0,40	0,50	0,35	0,55	0,70
K6	0,50	0,40	0,75	0,40	0,60
K7	0,60	0,60	0,80	0,90	0,80
K8	0,30	0,45	0,70	0,70	1,00
K9	0,45	0,30	0,40	0,65	0,90

Adım 3: Üçüncü adımda her bir kriter için, her bir karar vericinin ortalama değerinin göreceli önemi st , önem puanlarının ardışık farkları alınarak hesaplanmıştır. Örneğin K1 kriteri karar verici 1 için dördüncü önemli sıradadır

ve 0,75 derecelendirme puanına sahiptir. Kendinden bir önceki sırada ise K2 kriteri yer almaktadır ve derecelendirme puanı 0,80'dir. Bu sıralama dikkate alındığında K1 kriterinin göreceli önemi $(0,80 - 0,75) / 0,80 = 0,06$ şeklinde oluşturulmuştur. Diğer tüm göreceli önemler de örnekteki gibi oluşturulup Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8: Kriterlerin Ortalama Değerinin Göreceli Önemi (*st*)

KRİTERLER	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
K1	0,06	0,15	0,43	0,25	0,20
K2	0,11	0,13	-	0,06	0,33
K3	-	0,06	0,05	0,11	0,25
K4	0,10	-	0,25	-	0,17
K5	0,11	0,17	0,13	0,15	0,13
K6	0,17	0,11	0,06	0,27	0,14
K7	0,20	0,14	0,16	0,10	0,11
K8	0,13	0,10	0,07	0,07	-
K9	0,10	0,25	0,43	0,07	0,10

Adım 4: Dördüncü adımda kriterlere ait katsayı değerleri (*kt*) Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9: Kriterlerin Katsayı Değerleri (*k_t*)

KRİTERLER	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
K1	1,06	1,15	1,43	1,25	1,20
K2	1,11	1,13	1,00	1,06	1,33
K3	1,00	1,06	1,05	1,11	1,25
K4	1,10	1,00	1,25	1,00	1,17
K5	1,11	1,17	1,13	1,15	1,13
K6	1,17	1,11	1,06	1,27	1,14
K7	1,20	1,14	1,16	1,10	1,11
K8	1,13	1,10	1,07	1,07	1,00
K9	1,10	1,25	1,43	1,07	1,10

Adım 5: Beşinci adımda kriterlere ait düzeltilmiş ağırlık değerleri (*qt*) Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanmıştır. İlk sıradaki kriterin düzeltilmiş ağırlık değerleri 1'dir. Örneğin K1 kriteri için karar verici 1'in verdiği değerlere göre

hesaplanan düzeltilmiş ağırlık değeri 0,770 olarak hesaplanmıştır. Her karar verici için ayrı ayrı hesaplanan diğer tüm değerler Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10: Kriterlerin Düzeltilmiş Ağırlık Değerleri (q_i)

KRİTERLER	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
K1	0,770	0,870	0,316	0,367	0,455
K2	0,818	0,730	1,000	0,770	0,273
K3	1,000	0,821	0,952	0,818	0,364
K4	0,909	1,000	0,253	1,000	0,545
K5	0,450	0,548	0,452	0,584	0,727
K6	0,550	0,448	0,774	0,549	0,636
K7	0,642	0,639	0,823	0,909	0,818
K8	0,400	0,498	0,726	0,722	1,000
K9	0,500	0,358	0,508	0,674	0,909

Adım 6: Altıncı adımda kriterlerin göreceli ağırlık değerleri (w_i) Eşitlik (3) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan tüm değerler Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11: Kriterlerin Göreceli Ağırlık Değerleri (w_i)

KRİTERLER	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
K1	0,128	0,147	0,054	0,058	0,079
K2	0,135	0,123	0,172	0,122	0,048
K3	0,166	0,139	0,164	0,130	0,063
K4	0,151	0,169	0,044	0,159	0,095
K5	0,075	0,093	0,078	0,093	0,127
K6	0,091	0,076	0,133	0,073	0,111
K7	0,106	0,108	0,142	0,144	0,143
K8	0,066	0,084	0,125	0,115	0,175
K9	0,083	0,061	0,088	0,107	0,159

Adım 7: Son olarak yedinci adımda her bir kriter için nihai ağırlık değerleri (w_i), Tablo 11'de hesaplanan göreceli ağırlıklarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Hesaplanan nihai kriter ağırlıkları Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12: Nihai Kriter Ağırlık Değerleri (w_i)

KRİTERLER	Nihai Ağırlık Değerleri
K1	0,093
K2	0,120
K3	0,132
K4	0,123
K5	0,093
K6	0,097
K7	0,129
K8	0,113
K9	0,099

Tablo 12’de gösterilen nihai ağırlık değerlerine göre, en önemli kriter 0,132 ağırlık değeri ile K3 (Stok yönetimi maliyetleri) olmuştur. K1 (Taşıma maliyetleri) ve K5 (Sipariş işleme maliyetleri) kriteri ise 0,093 değeriyle en az öneme sahip kriterler olmuştur.

6. TARTIŞMA VE ÇIKARIMLAR

Yapılan literatür taramasında “lojistik maliyetler” ve “ÇKKV” kelimeleri ile birlikte arama yapıldığında karşımıza yalnızca birkaç çalışmanın çıktığı görülmektedir. Sadece “lojistik maliyetler” anahtar kelimesi ile arama yapıldığında ise birçok çalışmanın yapıldığı ve bu çalışmaların genellikle maliyet yönetimi, maliyet optimizasyonu ve lojistik performans temalı çalışmalar olduğu görülmektedir. ÇKKV yöntemi literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada lojistik sektörüne önemli katkılar sağlaması beklenen Lojistik 4.0 bağlamında lojistik maliyetlerin değerlendirilmesinde ÇKKV’nin uygun bir yöntem olacağı öngörülmektedir. ÇKKV yöntemi kullanımı ile hem literatürdeki boşluk doldurulmaya çalışılacak hem de lojistik maliyet unsurları literatürdekilerden farklı olarak değerlendirilmiş olacaktır. Çalışmanın bulguları “stok yönetimi maliyetlerini” lojistik maliyetler içinde en öncelikli maliyet kalemi

olarak ortaya koymuştur. Memiş ve Kuyucuk (2021) yapmış oldukları çalışma sonuçlarına bakıldığında da “stok yönetimi maliyetlerini” en önemli kriter olarak görülmektedir. Lojistik 4.0 ile stok yönetimi büyük bir değişim içine girmektedir. Maliyetler aşağı çekilerek verimlilik artışı sağlanmaktadır. Örneğin RFID ve nesnelerin interneti teknolojileri ile stok durumu anlık olarak kontrol edilebilmektedir. Fazla stok bulundurmaya stok maliyetleri düşürülmektedir. Aynı şekilde yapay zekâ teknolojisi kullanılarak da elde edilen talep tahminlerine dayalı otomatik sipariş verme ile stoklar optimum seviyede tutulabilmektedir. Çalışma Lojistik 4.0’a entegre bir işletmede olmasına rağmen iki çalışmada da bu kriter en önemli sıradadır. Çünkü mevcut lojistik uygulamalarına bakıldığında stokların yönetilmesi ve buradan elde edilecek maliyet minimizasyonu 4.0’dan bağımsızdır. Stok yönetimi maliyetlerinin önemli olması işletme yöneticilerine bazı sorumluluklar yükleyecek ve baskı oluşturacaktır. Bu noktada; talep tahminleri gelişmiş tahmin yöntemleri ile yapılmalı ve sipariş optimizasyonu sağlanmalıdır. Açık ki stok maliyetleri ya aşırı stok bulundurmaktan ya da yetersiz stoktan kaynaklanmaktadır. Bu noktada yöneticiler tedarikçi ilişkilerini geliştirebilir ya da stoksuz üretim süreçlerine uyum sağlayabilirler. Yine stok maliyetleri sürekli izlenerek kritik metrikler belirlenmelidir. Stok devir hızı ve stok doğruluğu oranı sıkı takip edilmelidir. Sonuç olarak stok yönetimi politikaları doğru planlanmalıdır. Kayalı, vd. (2020) yapmış oldukları çalışmada işletme yöneticilerine “Stok yönetimi politikaları doğru planlandığında, işletmenin ne kadar maliyet avantajı sağlayacağı” sorusu sorulmuş ve ankete katılanların %59’u avantaj sağlar, %29’u kısmen avantaj sağlar ve %12’si çok fazla avantaj sağlar cevabını vermişlerdir. Memiş ve Kuyucuk (2021) çalışmada taşıma maliyetlerinin ikinci en önemli kriter olduğu, bu çalışmada ise en önemsiz kriter olduğu görülmektedir. Bu sonuç çalışmanın yapıldığı işletmenin Lojistik 4.0’a entegre olduğunu ve onu tamamen benimsediğinin bir göstergesidir. Bu noktada ise yöneticiler akıllı rota optimizasyonu yaparak en kısa ve en hızlı rota

belirlemelidir. Böylece yakıt tüketimi ve zaman kaybı engellenecektir. Yine yük optimizasyonu ile boş araç sefer sayıları azaltılmalı ya da yük konsolidasyonu yapılmalıdır. Taşımada kullanılacak araç verimliliği artırılarak birim başı maliyetler azaltılmalıdır. Yapay zekâ tahminlemesine dayalı doğru zamanlama ile taşıma gerçekleştirilmelidir. Tüm bu unsurlar da taşıma maliyetlerini minimize etmektedir. Çalışma bulgularında bir diğer en önemsiz kriter sipariş işleme maliyetidir. İşletme olarak Lojistik 4.0 temelinde üretim yaptığınız teknolojiye güven oluştuğunda diğer kriterler bu kriterden daha önemli olmaktadır. Çünkü 4.0 teknolojisi ile siparişler otomatik alınmakta ve işlenmektedir. Bu sayede manuel sipariş giriş hataları engellenmekte, otomatik kontrol sistemleri ile gelen ve giden ürün miktarlarındaki hatalar azalmaktadır. Siparişler anlık olarak izlenmekte ve hatalara hemen müdahale edilmektedir. Siparişler doğru işlendiğinden zamanında teslimatlar hızlanmakta ve bu da müşteri memnuniyeti sağlamaktadır. Değerlendirilen kriterler arasında bilgi yönetimi maliyetlerinin de sıralamada üst sıralarda olması beklenirken beşinci önemli sırada olduğu görülmektedir. Lojistik 4.0 sistemi üretim sürecinden gelen veriler ve bu veriye bağlı bilginin üzerine kurulmaktadır. Yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi sistemler gerçek zamanlı verileri analiz ederek dijitalleşmeyi sağlamaktadırlar. Böyle bir sıralama sonucunun elde edilmesi sektörel olarak bazı değişikliklerin maliyet unsurları üzerinde etkisinin olduğunu gösterebilir. Bilgi yönetimi konusunda işletme yöneticileri öncelikle bilgi kaynağını tek bir merkezde toplamalı ve erişilebilirliği arttırmalıdır. Dağınık bilgi karar verme süreçlerini aksatarak maliyetleri arttırmaktadır. Kaliteli veriye ulaşmak için çaba harcanmalı ve veri standartlaştırılmalıdır. Yöneticiler elde ettikleri bilgiyi sadece depolamak yerine veriyi çalışanlar ile paylaşarak verinin kurumsal kimlik kazanmasını sağlamalıdır.

7. SONUÇ

Lojistik 4.0, üretim sektöründe büyük bir dönüşüm sürecini ifade etmektedir. Bu dönüşüm ile işletmeler maliyetlerini verimli ve etkili bir şekilde yönetebilme fırsatlar yakalamaktadır. Dolayısıyla, sektör işletmelerinin Lojistik 4.0'ı yakından takip etmeleri ve adaptasyon sürecini tamamlayarak operasyonlarını geliştirmeleri, maliyetlerini düşürmeleri açısından büyük önem taşımaktadır. Dönüşüm sürecinde devlet tarafından sağlanan lojistik destekler lojistik faaliyetleri yürüten işletmelere katkı sağlayabilir. İşletmelerin bu teşvikleri etkin bir şekilde kullanabilecek stratejiler geliştirilmesi ve yatırımların optimum bir şekilde yürütülerek lojistik maliyetlerini minimize etmeleri gerekmektedir. Lojistik 4.0 Türkiye'nin lojistik alanında atak yapması için yeni ve heyecan verici gelişmelerden biridir. Bu çalışmada Endüstri 4.0 üretim teknolojilerine uyum sağlamış bir işletmenin lojistik maliyetlerinin önem dereceleri değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile Endüstri 4.0'a uyum sağlamış bir işletmede en önemli lojistik maliyet kaleminin "Stok yönetimi maliyetleri" olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmanın Endüstri 4.0'a uyum sağlamış bir işletmede yapılması daha önce yapılmamış bir çalışmadır ve bu bağlamda literatüre teorik olarak yüksek katkı sağlayacaktır. Elde edilen çalışma sonuçları ile 4.0 teknolojilerini kullanan ya da kullanmayı düşünen işletmelerin lojistik bağlamında karşılaşılabilecek önemli unsurlar değerlendirilmiştir. Bu sektörde olup 4.0'a entegre olmayan işletmeler için bu sonuçlar gelecekte karşılaşılabilecek maliyet unsurlarını değerlendirmelerinde önemli katkı sağlayacaktır.

Çalışma sadece bir işletmede yürütülmüştür. Çünkü 4.0'a uyum sağlamış işletme sayısı azdır. Sonuçları kıyaslayacak ÇKKV yöntemleri ile yapılan çalışma sayısı yok denecek kadar sınırlıdır. Bu da çalışmanın tartışma kısmının daralmasına sebep olmuştur. Gelecekte yapılacak çalışmalar 4.0'a uyum sağlamış işletmeler ile ve farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılabilir ve çalışma sonuçlarının birbiri ile kıyaslanabilir. Aynı model henüz 4.0'a uyum sağlamamış bir işletmede uygulanabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir. Böyle bir çalışmanın literatüre,

akademiye ve sektöre büyük bir zenginlik getirecektir. Kullanılan model genişletilerek daha farklı lojistik maliyetler değerlendirilerek sonuçlar kıyaslanabilir. Bu çalışma fermuar ve düğme üreten bir işletmede yapılmıştır. Çalışma modeli farklı sektörlerde de uygulanabilir. 4.0'a uyum ve sektöre destek olmak amacıyla akademik anlamda daha fazla çalışma yapılmalıdır. Çevresel sürdürülebilirlik farkındalığı oluşturulmalı ve sektörün bir bütün olarak düşünülmesi sağlanmalıdır. İşletmelerin Lojistik 4.0'ı tek başlarına benimsemeleri yeterli değildir. Tedarik zinciri boyunca tüm işletmelerin 4.0'ı benimsemesi işletmelerin bireysel optimizasyon kazanımlarından daha fazlasını elde etmelerini sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması Bildirimi:

Bu çalışmada herhangi bir kişi, kurum veya kuruluş ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Destek/Finansman Bilgileri:

Bu çalışmanın gerçekleştirildiği herhangi bir süreçte başka kişi, kurum veya kuruluşlardan destek ya da finansman alınmamıştır.

Etik Kurul Kararı:

Bu çalışma, uzman görüşü alınması şeklinde veri toplanması nedeniyle etik kurul kararı gerektirdiğinden, Kırklareli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Yayın Etiği Kurulundan 14.07.2025 tarih ve E-35523585-199-166204 sayılı karar numarası ile etik kurul izni onayı çerçevesinde yürütülmüştür.

KAYNAKÇA

- Acar, D. Ö. ve Benli, M. (2021). Dış ticarete lojistik performansın etkisi. *Journal of Management and Economics Research*, 19(4), 48-65. <http://dx.doi.org/10.11611/yeadd.897110>.
- Acar, D. ve Ateş, A. (2011). Tedarik zinciri faaliyetlerinin maliyetleri ve dış kaynak kullanımı ilişkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(3), 9-27.
- Aktürk, C. (2019). Lojistik maliyetlere göre teslim tarihi belirleme ve bir karar modeli önerisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 1-7. <http://dx.doi.org/10.31590/ejosat.541481>.
- Arsova, M. ve Temjanovski, R. (2023). Logistics costs and their impact on performance. *Journal of Economics*, 8(1), 55-67. <https://doi.org/10.46763/JOE2381055a>.
- Banomyong, R., Grant, D. B., Varadejsatitwong, P. ve Julagasigorn, P. (2022). Developing and validating a national logistics cost in Thailand. *Transport Policy*, 124, 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.04.026>.
- Bayraktutan, Y. ve Özbilgin, M. (2015). Lojistik maliyetler ve lojistik performans ölçütleri. *Maliye Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 95-112.
- Bennani, M., Jawab, F., Hani, Y., El Mhamedi, A. ve Amegouz, D. (2022). Hybrid F-SWARA and F-ENTROPY for the optimization of the weighting of the location criteria of a green logistics platform. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1606–1612. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.620>.
- Besklubova, S., Tan, B. Q., Zhong, R. Y. ve Spicek, N. (2023). Logistic cost analysis for 3D printing construction projects using a multi-stage network-based approach. *Automation in Construction*, 151, 104863. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104863>.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J. ve Cooper, M. B. (2002). Supply Chain Logistics Management. McGraw-Hill, New York.

- Ceran, Y. ve Alagöz, A. (2007). Lojistik Maliyet Yönetimi: Lojistik Maliyetler ve Lojistik Maliyet Muhasebesi, *ÇOMÜ Biga İİBF-Yönetim Bilimleri Dergisi*, 5(2), Ankara, 137-156.
- Ceran, Y., Ortakarpuz, M., Erkoçak, H. E. (2022). Uluslararası Stratejik Pazarlama Kararları ve Lojistik 4.0 Bağlamında Lojistik Maliyetler ile Karılık İlişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 35, 102-110. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1058377>.
- Choi, T. M., S. Kumar, X. Yue, ve H. L. Chan. (2022). Disruptive Technologies and Operations Management in the Industry 4.0 Era and Beyond. *Production and Operations Management*, 31(1): 9–31. <https://doi.org/10.1111/poms.13622>.
- Çekerol, G. S. (2015). Lojistik Yönetimi, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Demirci, A. (2019). Lojistik maliyetler için çok kriterli karar verme yaklaşımı: depolama alanı seçimi örneği. *Toros Üniversitesi İİSBF Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(10), 23-43.
- Diego, C., Jakub, G. ve Christian, M. (2021). Energy logistics cost study for wireless charging transportation networks. *Sustainability*, 13(11), 5986. doi.org/10.3390/su13115986.
- Engblom, J., Solakivi, T., Töyli, J. ve Ojala, L. (2012). Multiple-method analysis of logistics costs. *International journal of production economics*, 137(1), 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.007>.
- Erdoğan, S., Balki, M. K., Aydın, S. ve Sayin, C. (2019). The best fuel selection with hybrid multiple-criteria decision making approaches in a CI engine fueled with their blends and pure biodiesels produced from different sources. *Renewable Energy*, 134, 653–668. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2018.11.060>.
- Ghiani, G., Laporte, G. ve Musmanno, R. (2013). *Introduction to Logistics Systems Management*. John Wiley & Sons.
- Gružasuskas, V., Baskutis, S. ve Navickas, V. (2018). Minimizing the trade-off between sustainability and cost effective performance by using autonomous vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 184, 709-717. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.302>.

- Hasan, K. R., Zhang, W. ve Shi, W. (2021). Barriers to intermodal freight diversion: a total logistics cost approach. *Maritime Economics & Logistics*, 1-18. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00182-3>.
- Havenga, J. H., Witthöft, I. E. ve Simpson, Z. P. (2022). Macrologistics instrumentation: Integrated national freight-flow and logistics cost measurement. *Transport Policy*, 124, 106-118. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.10.014>.
- Hoa, H. T. T., Lien, B. T. B., Tam, T. T. A., Van Hinh, N. ve Van Thanh, L. (2020). Critical factors of total logistics cost: A survey of vietnam-based logistics service providers. *Research in World Economy*, 11(1), 202-111. <https://doi:10.5430/rwe.v11n1p202>
- Horenberg, D. (2017). Applications With in Logistics 4.0 A Research Conducted on the Visions of 3PL Service Providers. Thesis, University of Twente.
- İrak, G. ve Arslantürk, F. (2021). Lojistikte dış kaynak kullanımı, lojistik maliyetler ve finansal performans arasındaki ilişkinin analizi. *Mersin Üniversitesi Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 80-102. <https://doi:10.54410/denlojad.971226>.
- İrak, G. ve Şen, H. (2021). Lojistik maliyetler ve lojistik performansın, firma ve ihracat performansına etkisinin analizi. *Journal of Accounting and Taxation Studies*, 14(3), 1109-1131. <https://doi.org/10.29067/muvu.901392>.
- Jahn, C., Kersten, W. ve Ringle, C. M. (2018). Logistics 4.0 and Sustainable Supply Chain Management. *California, USA: epubli GmbH*.
- Kahveci, A. ve Okutmuş, E. (2021). Hedef maliyetleme, değer analizi, kaizen maliyetleme ve kısıtlar teorisinin entegrasyonu ile lojistik maliyetlerde etkinliğin sağlanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 1247-1279. <https://doi:10.33437/ksusbd.872497>.
- Kahveci, A. ve Okutmuş, E. (2019). Sürece dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme ve kısıtlar teorisinin entegrasyonu ile lojistik maliyetlerde etkinliğin incelenmesi. <https://doi:10.29228/TurkishStudies.39428>.

- Karaa, I. E. ve Geyikçi, U. B. (2015). Analitik ağ süreci ile lojistik sektöründe lojistik maliyet unsurları ve ağırlıklarının belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(1), 101-113.
- Kayalı, N., Necef Yereli, A. ve Onur, G. (2020). İşletme yöneticilerinin lojistik maliyetlere bakış açılarının değerlendirilmesine yönelik uygulama. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 47, 303-324.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>.
- Khouri, S., Rosova, A., Straka, M. ve Behun, M. (2018). Logistics performance and corporate logistic costs, their interconnections and consequences", *Transformations in Business & Economics*, 17, No 2A (44A). 426-446.
- Kubon, M. ve Krasnodębski, A. (2010). Logistic costs in competitive strategies of enterprises. *Agricultural Economics*, 56(8), 397-402. <https://doi.org/10.17221/67/2010-AGRICECON>.
- Luthra, S. ve Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process safety and environmental protection*, 117, 168-179. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>.
- Majercak, P. (2020). Saving logistics transportation costs in the era of globalization for firms. In *SHS Web of Conferences*, 74, EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207404014>
- Mallidis, I., Iakovou, E., Dekker, R. ve Vlachos, D. (2018). The impact of slow steaming on the carriers' and shippers' costs: The case of a global logistics network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 111, 18-39. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.12.008>.

- Memiş, E. ve Korucuk, S. (2021). Lojistik maliyet yönetimine etki eden faktörlerin önceliklendirilmesine yönelik Giresun imalat işletmelerinde bir uygulama, *Journal of Vocational and Social Sciences of Turkey*, 3(7), 51-59. <https://doi.org/10.46236/jovosst.1037362>.
- Muha, R. (2019). An overview of the problematic issues in logistics cost management. *Pomorstvo*, 33(1), 102-109. <https://doi.org/10.31217/p.33.1.11>.
- Nie, J., Zeng, W. Y. ve Jing, H. L. (2016). Research of logistics cost based on saving algorithm: a case of a certain logistics company's logistics cost. In *MATEC Web of Conferences*, 63. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/matecconf/2016630>.
- Odu, G. O. (2019). Weighting methods for multi-criteria decision making technique. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(8), 1449-1457. <https://doi.org/10.4314/jasem.v23i8.7>.
- Onay, A. (2021). Zaman etkenli faaliyete dayalı maliyetleme yöntemi ile yeşil lojistik maliyet yönetimi: Bir vaka analizi. *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 14 (1), 275-312. <https://doi.org/10.29067/muvu.704560>.
- Orbak, Â.Y., Küçük, M., Akansel, M., Sharma, S., Li, C., Kumar, R., Singh, S. ve Di Bona, G. (2023). Mathematical model assisted six-sigma approach for reducing the logistics costs of a pipe manufacturing company: A Novel Experimental Approach. *Mathematics*, 11, 621. <https://doi.org/10.3390/math11030621>.
- Patil, R. A., Patange, A. D. ve Pardeshi, S. S. (2023). International transportation mode selection through total logistics cost-based intelligent approach. *Logistics*, 7(3), 60. <https://doi.org/10.3390/logistics7030060>.
- Riadh, H. (2018). Contribution of logistics diagnosis to cost minimization: The case of a subsidiary of the automotive industry. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 3(3), 55-68. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2018.3-3.4>.
- Saini, M. ve Hrušecká, D. (2021). Comparative impact of logistics performance index, ease of doing business and logistics cost on economic development: a fuzzy

- QCA analysis. *Journal of Business Economics and Management*, 22(6), 1577-1592. <https://doi.org/10.3846/jbem.2021.15586>.
- Santoso, S., Nurhidayat, R., Mahmud, G. ve Arijuddin, A. M. (2021). Measuring the total logistics costs at the macro level: A study of Indonesia. *Logistics*, 5(4), 68. <https://doi.org/10.3390/logistics5040068>.
- Shi, Y., Zhou, L., Qu, T. ve Qi, Q. (2019). Strategic introduction of the marketplace channel considering logistics costs and product information. *Procedia CIRP*, 83, 728-732. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.100>.
- Škerlič, S. ve Sokolovskij, E. (2019). A model for managing logistics costs throughout a product's life cycle: a case study of a multinational manufacturing company. *Transport*, 34(5), 517-528. <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11080>.
- Škerlič, S., Muha, R. ve Logožar, K. (2016). A decision-making model for controlling logistics Costs. *Technical Gazette/Tehnički Vjesnik*, 23(1). <https://doi.org/10.17559/TV-20141015121023>.
- Sternad, M. (2018). Metrics of logistics costs in Slovenian companies. *Business Logistics in Modern Management*, Proceedings of The 18th International Scientific Conference, 12-20.
- Şekkeli Z. H. ve Bakan, İ. (2018). Endüstri 4.0'ın etkisiyle lojistik 4.0, *Journal of Life Economics*, 5(2), 17-36.
- Şişman, G. (2023). Implementing lean six sigma methodology to reduce the logistics cost: a case study in Turkey. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(3), 610-629. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2022-0054>.
- Tokay, S. H., Deran, A. ve Arslan, S. (2015). Lojistik maliyet yönetiminde izlenebilecek stratejiler ve muhasebe eğitiminden beklentiler. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (29).
- Turgut, M. (2024). Tarım-gıda tedarik zincirinde endüstri 4.0 teknolojilerinin lojistik faaliyetler sürecinde kullanımı. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and*

Technology, 12(11), 1968-1980. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i11.1968-1980.6822>

- Weiyi, F. ve Luming, Y. (2009). The discussion of target cost method in logistics cost management, ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, 8-9 August, 537-540. <https://doi.org/10.1109/CCCM.2009.5267517>.
- Yan, X., Madjidov, S., Halepoto, H. ve Ikram, M. (2021). Developing a framework for the optimization processes of logistics costs: A Hurwitz criterion approach. *SAGE Open*, 11(4), 21582440211054499. <https://doi.org/10.1177/21582440211054499>.
- Yavas, V. ve Ozkan-Ozen, Y. D. (2020). Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 135: 101864. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101864>.
- Yontar, E. ve Derse, O. (2023). Prioritization of negative carbon strategies in the Cargo industry with the SWARA/WASPAS method. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 9(4), 831-843. <https://doi.org/10.28979/jarnas.129207>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Logistics operations, one of the most important components of supply chains, are influenced by the characteristics of Industry 4.0, such as the Internet of Things, cyber-physical systems, big data, and smart sensors. The Fourth Industrial Revolution has fundamentally changed not only production processes but also logistics processes. This transformation, referred to as Logistics 4.0, provides the sector with significant advantages in terms of innovation, added value, and sustainability. Logistics 4.0 shapes the main objectives of logistics activities around the principle of delivering the right product in the right way, at the right time, to the right place, and to the right person. Digitalization and the integration of technologies such as interconnected computers, devices, and software programs play a crucial role in achieving these objectives. This technological integration plays an important role in improving the sector and increasing its efficiency. In short, Logistics 4.0 can be defined as the creation of a network through information technologies across the entire supply chain. In this context, high-tech sensors and advanced robots are used in operations. Businesses seeking to adopt an effective competitive approach must manage their logistics activities and the costs associated with these activities efficiently. The changes in the quality and quantity of logistics activities brought about by globalization also lead to increased costs. Studies in this field emphasize the importance of logistics costs within the total costs of a business, and it is necessary to determine the costs arising from logistics activities. The aim of this study is to determine the importance levels of logistics costs in a business that has adapted to Industry 4.0 production technologies based on the SWARA approach and within the context of Logistics 4.0. In this regard, this study addresses the research question: What are the importance levels of the criteria that influence the evaluation of logistics costs? In the study, the criteria were first determined based on a literature review. Then, experts were identified and the criteria were weighted according to the SWARA method steps. The findings were compared with other studies.

Method

In this study, logistics costs were evaluated based on subjective weighting in the context of Logistics 4.0. Subjective weighting is based on expert opinions. Objective weighting, on the other hand, is derived from mathematical algorithms that calculate criteria. Criteria are evaluated for alternatives independently of expert opinions. A review of the literature reveals that various approaches are used in the evaluation of logistics costs, in addition to many

factors and evaluation criteria. The SWARA method was selected as the evaluation method in this study. The most important advantage of the SWARA method developed by Keršuliene et al. (2010) for calculating subjective weights is that the mathematical application steps are simple, understandable, easy, and the number of binary criterion comparisons is low. This method is extremely effective in collecting and organizing data obtained from experts. Experts play a critical role in evaluating the calculated weights. Each expert determines the importance of each criterion based on their own knowledge and experience. Then, the weight of each criterion is determined by considering the average values obtained from the experts. The fact that the method provides multiple advantages and can bring expert opinions together at a common point guided us to use it in this study.

Discussion and Conclusion

The findings of the study reveal that “inventory management costs” are the most significant cost item within logistics costs. Memiş and Kuyucuk (2021) also consider “inventory management costs” to be the most important criterion in their study results. With Logistics 4.0, inventory management is undergoing a major transformation. Costs are being reduced, and efficiency is being increased. For example, with RFID and Internet of Things technologies, inventory status can be monitored in real time. By avoiding excess inventory, inventory costs are being reduced. Similarly, using artificial intelligence technology, inventory can be maintained at optimal levels through automatic ordering based on demand forecasts. Although the study is conducted in a business integrated with Logistics 4.0, this criterion is the most important in both studies. This is because, when looking at current logistics practices, inventory management and cost minimization derived from it are independent of 4.0. Even if businesses do not have 4.0 advantages, they will still want to manage their inventories properly and gain a competitive advantage. It should not be forgotten that inventory cost items affect all cost elements. The more inventory levels are maintained at optimal levels, the more other costs will decrease accordingly. In the same study, transportation costs were the second most important criterion, while in this study, they were the least important criterion. This result indicates that the company where the study was conducted is integrated with Logistics 4.0 and has fully adopted it. With Logistics 4.0, smart route optimization can be performed to determine the shortest and fastest route. In this context, fuel consumption and time loss are prevented. With load optimization, the number of empty vehicle trips is reduced. Transportation is carried out with accurate timing based on artificial intelligence predictions. All these elements minimize transportation costs. Again, by using autonomous vehicles, human errors are reduced, losses and

delays are minimized, and operational costs are reduced. Logistics 4.0 represents a major transformation process in the sector. With this transformation, businesses have the opportunity to manage their costs efficiently and effectively. Therefore, it is of great importance for businesses in the sector to closely follow Logistics 4.0 and complete the adaptation process to improve their operations and reduce their costs. Logistics support provided by the government during the transformation process can contribute to businesses engaged in logistics activities. This support plays an important role in helping businesses establish the appropriate technological infrastructure and adapt to the Logistics 4.0 process. Businesses must develop strategies to effectively utilize these incentives and minimize logistics costs by optimizing investments. Businesses' effective use of these incentives and sustainable growth will contribute significantly to Turkey's strong international position in the logistics sector.