



LOJİSTİK 4.0 İHTİYAÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE AHP VE SWARA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Beran GÜLÇİÇEK TOLUN¹

Öz

Bu çalışmada bir lojistik firmasının lojistik 4.0 uygulamalarına geçişindeki ihtiyaçlarının önceliklendirilmesi incelenmekte ve bu süreci değerlendirmek için AHP ve SWARA yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca, SWARA yöntemini hem grup kararı hem de bireysel görüşlerle değerlendirerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Hem AHP hem de SWARA yöntemi sonuçlarına göre önem düzeyi en yüksek kriterler; teknolojik alt yapı, üst yönetimin desteği ve siber güvenlik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak karar vericilerin bireysel değerlendirmeleriyle elde edilen SWARA sonuçlarında üst düzey yönetimin desteği ile ilgili kriterin önem düzeyinde farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılıklar; grup kararında yöneticilerin takım üyeleri üstünde özgür bir şekilde karar vermede etkisinin bulunabileceğini düşündürmüştür.

Anahtar Kelimeler: Lojistik 4.0, AHP, SWARA
JEL Sınıflandırması: L90, 033, C44

COMPARING AHP AND SWARA METHODS IN EVALUATING LOGISTICS 4.0 NEEDS

Abstract

In this study, the prioritization of the needs in the transition of a logistics company to Logistics 4.0 applications is examined, and AHP (Analytic Hierarchy Process) and SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) methods are utilized to evaluate this process. the results obtained by evaluating the SWARA method with both group decision and individual opinions are also compared.. According to both AHP and SWARA method results, the criteria with the highest importance level include technological infrastructure, top management support, and cyber security. However, differences in the importance level of the criterion related to top management support were observed in the SWARA results obtained from individual evaluations of decision-makers. These differences suggest that in group decision-making, the influence of managers on team members may play a role in making decisions freely.

Keywords: Logistics 4.0, AHP, SWARA
JEL Classification: L90, 033, C44

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İİBF., İşletme Bölümü, e-posta: monhaberan.gulcicek@cbu.edu.tr ORCID iD: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-7552-2351>

1. GİRİŞ

Ekonominin çok önemli bir parçası olan endüstri, malzemelerin ve ürünlerin üretimini gerçekleştiren oldukça mekanize ve otomatik süreçlerden oluşmaktadır. Endüstrileşmenin başlangıcından itibaren teknolojik değişiklikler sanayi devrimi olarak adlandırılan değişiklikleri yönlendirmiştir ve yönlendirmeye de devam etmektedir. Neredeyse her sektörü etkisi altına alan bu devrim Endüstri 4.0 olarak adlandırılmaktadır. Tedarik zincirinin her aşamasında önemli bir rolü olan lojistik faaliyetleri de bu devrimden en çok etkilenen faaliyetler arasında yer almaktadır. Lojistik; tedarikçiler, üreticiler ve perakendeciler için değer zincirinde önemli bir unsurdur. Tüketicinin talep ettiği ürün veya hizmetin doğru miktarda, doğru kalitede, doğru zamanda ve doğru yerde, uygun bir fiyatla sunulması, piyasada başarılı bir konum elde etmek için hayati önem taşımaktadır. Son derece dinamik ve belirsiz olan lojistik pazarları yeni yöntemler, ürünler ve hizmetler gerektirmektedir. Geleneksel lojistik faaliyetleri yerini artık akıllı teknolojiler ile entegre edilen farklı iş modellerine sahip lojistik uygulamalarına bırakmaktadır. Bu değişim ile birlikte firmalar için bir uyum sürecine girmelerinin gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada lojistik sektöründe faaliyetini sürdüren bir firmanın Endüstri 4.0 sürecine geçiş aşamasında ihtiyaç duyduğu yeniliklerin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Firmada bir üst düzey yönetici, bir proje yöneticisi, bir lojistik koordinatörü ve bir yazılım geliştirme ve güvenlik elemanından oluşan uzman grup ile yüz yüze görüşmeler yapılarak ve literatür taraması ile desteklenerek ortaya konan Lojistik 4.0 ihtiyaçları çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi ile ve SWARA yöntemi ile değerlendirilmiştir. AHP yöntemi, çok kriterli karar verme süreçlerinde faktörler arasındaki ilişkileri analiz etmek ve öncelik sırasını belirlemek için kullanılan bir karar analiz yöntemidir. SWARA yöntemi de ağırlıklandırma yöntemleri arasında yer alan ve son zamanlarda sıklıkla kullanılmaya başlanan birçok kriterli karar verme tekniğidir. Çalışmanın ilk iki bölümünde Lojistik 4.0 ve bileşenleri hakkında bilgilere yer verilmiş olup, sonrasında Lojistik 4.0 ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Son bölümde ise bir lojistik firmasının Lojistik 4.0 uygulamalarına geçiş öncesi başlatacağı projelerine girdi oluşturabilmek amacıyla Lojistik 4.0 ihtiyaçları belirlenmiş ve AHP ve SWARA yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak bu ihtiyaçları önceliklendirilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

2. ENDÜSTRİ 4.0 VE LOJİSTİK 4.0

Sanayi devrimleri, tarih boyunca, üretim süreçlerinin ve toplumun büyük değişimler geçirdiği dönemleri ifade etmektedir. Üretim yöntemlerindeki ve toplumların ekonomik yapılarındaki köklü değişiklikler endüstri devrimlerini karakterize etmektedir. Bu dönemler, teknolojik ilerlemeler, makineleşme ve otomasyonun yaygınlaşması, enerji kaynaklarının etkili kullanımı, üretim süreçlerinin verimliliğinin artması ve toplumsal değişimler gibi faktörlerle şekillenmiştir. Tarım toplumundan üretim merkezli topluma geçiş ile fabrikaların yükselişi ve işçi sınıfının ortaya çıkışı ile şekillenen Birinci Sanayi Devrimi'nin ardından seri üretim, yeni iletişim teknolojileri ve montaj hattı gibi yeni teknolojiler ile şekillenen İkinci Sanayi Devrimi ortaya çıkmıştır. 20. yüzyılın ortalarında başlayan Üçüncü Sanayi Devrimi döneminde, bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimi önemli rol almıştır. Son zamanlarda kendisinden sıkça bahsedilen Dördüncü Sanayi Devrimi'nde, dijital teknolojiler, yapay zekâ, nesnelerin interneti, büyük veri gibi kavramlar öne çıkmaktadır. Fabrikalar ve üretim süreçleri daha akıllı ve birbiriyle bağlantılı hale gelmektedir.

Dördüncü Sanayi Devrimi, "Akıllı üretim", "Endüstriyel internet" olarak da adlandırılmaktadır. Bu devrim ile; fiziksel ve akıllı süreçlerin birbirine entegrasyonu sağlanmış, akıllı ürünler akıllı fabrikalarda üretilmeye başlanmış ve akıllı lojistik sistemler ile dağıtım gerçekleşmeye başlamıştır. (Şekkeli ve Bakan, 2018:18). Teknolojik yeniliklerin her geçen gün artması nedeni ile lojistik sektöründe de büyük değişiklikler meydana gelmiştir. Fiziksel lojistik süreçlerini destekleyen teknolojik yeniliklerle, çift yönlü bilgi akışı mümkün hale gelmiş ve birbiri ile iletişim kurabilen ve bilgi akışının

kolay sağlandığı entegre bir sistem ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0'ın etkisiyle lojistik sektörü de donanım odaklı lojistik süreçlerinden yazılım odaklı lojistiğe yani akıllı bir lojistik hizmeti ağına dönüşmüştür (Timm ve Lorig, 2015).

Her geçen gün yeni bir teknolojik gelişme ile uyandığımız günümüzde, fiziksel ortamlar artık sanal ortamlara taşınmış ve fiziksel nesnelere bilgi ağlarına entegre edilmiş ve nesnelere interneti ortaya çıkmış, bulut sistemler hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Sadece insanlarla nesnelere değil nesnelere de birbirine bağlı olduğu bu ortamda bireyselleştirilmiş ürün ve hizmet talebi sürekli artmaktadır. Bu nedenle, artan karmaşık nedeni ile tedarik zinciri süreçleri de sıradan bir planlama ve kontrol uygulamasıyla yönetilemeyeceği için değişen ortama uyum sağlamak zorunda kalmıştır (Premm ve Kirn, 2015).

Lojistik sektöründe, depo sistemlerinde Endüstri 4.0'ın etkisi hızla artmaktadır ve rekabetin yoğun yaşandığı bir sektör söz konusu olduğu için değişime ayak uydurmak kaçınılmazdır. AS/RS(Automated Storage and Retrieval System) ve RFID(Radio-Frequency Identification) teknolojileri depo yönetim sistemlerinin çok önemli bir parçası haline gelmiştir. Operasyonların otomatik hale geldiği, online izlenebilirliğin mümkün olduğu, anlık raporlama imkânı sunan altyapılara sahip depolardan bahsedilmektedir artık (Öztemel ve Gürsev, 2018:149). Yapay zekâ teknolojisinin akıllı sipariş yönetimi sayesinde satın alma işlemleri ve vergi işlemleri otomatikleşmektedir. Lojistik 4.0 uygulamalarını benimseyen firmalar da sensörler, dronlar, büyük veri, nesnelere interneti, otonom araç kullanımını faaliyetlerinin bir parçası haline getirmekte ve GPS, RFID teknolojilerini benimsemeye başlamaktadır (DHL,2015).

2.1. Lojistik 4.0'ın Temel Bileşenleri

Akıllı sensörler, bulut bilişim, mobil internet teknolojisi, otomatik rehberli taşıt sistemleri, akıllı robotlar gibi birçok teknoloji lojistik 4.0'ın gelişimini desteklemektedir (Wang, 2016). Bu çalışmada Lojistik 4.0 sisteminin gelişimine destek olan tüm teknolojiler tanımlanmamış bunun yerine aşağıda yer alan temel bileşenlere yer verilmiştir (Wang,2016; Genç ve Tunah, 2022; Saatçioğlu vd. ,2018; Radivojević ve Milosavljević, 2019):

Nesnelerin interneti (IOT): "Internet of Things" teriminin karşılığı nesnelere interneti olarak literatürde yerini almıştır. Nesnelere interneti, günlük hayatta kullanılan her türlü nesnenin internet erişiminin olmasını ve diğer nesnelere ile senkronizasyon halinde olmasını, veri alışverişi yapabilmesini sağlayan bir teknolojidir. Nesnelere İnterneti, E-Sağlık, Ev Otomasyonu, Akıllı Çevre, Akıllı Su, Akıllı Tarım, Akıllı Hayvancılık, Akıllı Enerji, Akıllı Şehirler, Akıllı Ölçüm, Endüstriyel Kontrol, Güvenlik ve Acil Durumlar, Alışveriş, Lojistik gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda, sensörler aracılığıyla ilgili veriler toplanır, bu veriler büyük veri oluşturularak bulut bilişim sistemlerinde depolanır. Daha sonra, makine öğrenimi yöntemleriyle analiz edilerek, ilgili alanlarda hizmet kalitesini artırmak, verimliliği ve üretkenliği optimize etmek amacıyla iyileştirmeler sağlanır (Gökrem ve Bozuklu, 2016:49). Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği teknolojik gelişmeler birçok endüstriyel süreci etkilediği gibi tedarik zinciri yönetimini de etkileyerek yenilikler ortaya koymuştur. Tedarik süreçlerinin doğru bir şekilde ve zamanında yerine getirilmesini sağlayan lojistik faaliyetleri de bu teknolojik gelişmelerden etkilenmiş ve sektörde yeniden yapılandırmaya gidilmiştir. Lojistik 4.0 kavramıyla birlikte, beraberinde gelen yeni kavramlar ve iş modelleri hayatımıza girmiştir. Akıllı sensörler, akıllı robotlar, bulut bilişim, veri madenciliği, RFID teknolojisi gibi teknolojiler Lojistik 4.0'ın gelişimini hızlandırmıştır.

Otomatik kılavuzlu araçlar ve otomatik depolar: Otomatik kılavuzlu araçlar, elektromanyetik ya da optik sistemlerle belirlenmiş bir rota üzerinde hareket eden araçlardır. Sürücüyü ihtiyaç duymadan çalışır ve forklift gibi insanlı araçların yaptığı tüm taşıma işlemlerini gerçekleştirebilirler. Üzerinde

programlanabilir durma noktaları, engelleme bölgeleri gibi çeşitli özellikler bulunabilir. Otomatik kılavuzlu araçlar genellikle fabrika içi ve depo taşımaları için kullanılırlar. Otomatik kılavuzlu araçlar; sensörler, kameralar ve diğer teknolojiler ile sürekli çevrelerini taradıkları için güvenli bir şekilde yükleme ve boşaltma gibi görevleri yerine getirerek operasyonların verimliliğini artırmaktadırlar (Kraebber ve Rehg, 2001: 409-410).

Otomatik kılavuzlu araçlar sayesinde de depolama işlemleri de daha verimli hale gelmektedir. Otomatik depolama sistemleri ile depolama alanları otomatik olarak düzenlenmektedir. Bantlar, robotlar ve raf sistemleri ile depo alanı etkin bir şekilde kullanılmakta, hatalar minimize edilmekte, işgücü maliyetleri de azaltılabilmektedir. Otomatik depolama sistemleri bilgisayar kontrolünde çalışan sistemler olduğu için, stok yönetimi ve satın alma işlemlerinin takibi daha kolay ve verimli bir şekilde yapılabilmektedir.

Her geçen gün hızla gelişen ve sürekli değişen talebi karşılayabilmek için tedarik zincirlerinin ve bu zincirin çok önemli bir parçası olan lojistik faaliyetlerinin çevik hale gelmesi gerekmektedir. Bu çeviklik de yeni yetenekler ve araçlar gerektirmektedir. Çevik operasyonlar, tedarik aşamasından, ürünün teslimine kadar geçen her süreçte teknolojinin kapsamlı bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Otomasyon kullanımı firmalara hem üretim hem de lojistik faaliyetlerde çeviklik kazandıracaktır (McKinsey, 2022).

Akıllı sensörler ve etiketler: Lojistik operasyonlarını daha verimli ve güvenilir hale getiren akıllı sensörler verileri algılayabilir ve iletebilirler. Yukarıda bahsedilen otomatik kılavuzlu araçlara etiket ve sensör gibi algılayıcı cihazlar yerleştirilmiştir ve bu sayede birbirleri ve çevreleri ile iletişim kurarak nesnelerin internetini oluştururlar.

Wang 2016'ya göre lojistikte kullanılan belli başlı sensörler; sıcaklık sensörü, nem sensörü, etilen sensörü ve RFID transponderleridir. RFID uyumlu sensörler, makinelerin insanlar ile iletişim kurmasını sağlamaktadır. Bu sayede üretim sürecinin her aşaması kontrol edilebilmekte ve düzenlenebilmektedir. (Guban ve Kovacs, 2017:113). Akıllı sensörler teslimatların izlenmesini ve kontrol edilmesini de sağladığı için tedarik zincirinde ortaya çıkabilecek kamçı etkisini de ortadan kaldırmakta ya da en aza indirebilmektedir (Pagano ve Liotine, 2020:31).

Büyük veri ve veri analitiği: Bulut bilişim teknolojilerinin her geçen gün gelişmesi ile birlikte, çok büyük verilerin internet ortamında depolanabilmesi ve işlenebilmesi mümkün hale gelmiştir. Bu imkân doğrultusunda da Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri olan büyük veri (Big data), endüstri uygulamalarında kullanılmak üzere tanımlanmıştır. Büyük veri, zaman içinde elde edilen, yapılandırılmış veya yapılandırılmamış, yani henüz geleneksel yöntem veya araçlarla işlenerek kullanılabilir hale getirilmemiş verileri ifade eder. Global dünyada depolanan tüm veriler büyük veriyi (Big Data) oluşturmaktadır (Bulut, 2023). Büyük veri analizi ile işletmeler üretim sürecindeki gerçek zamanlı hataları, eksiklikleri anlayabileceklerdir ve süreçlerin optimizasyonunu sağlama, kaynakları verimli bir şekilde kullanabilme ve beklenen ürün kalitesini koruyabilme potansiyelini daha erken aşamalarda elde edebileceklerdir (Saatçioğlu vd., 2018:1683).

Lojistik sektöründe de siparişler, sevkiyat hareketleri ve nesnelerin konumu ile ilgili milyonlarca bilginin kullanıldığı zengin veri içerikli bir veri ortamı söz konusudur. Birçok tedarik zinciri kuruluşu veri analitiğini stratejik öncelikleri arasına koymuştur. Bazı firmalar da yoğun verilerin işlendiği bu yeni ortama ayak uydurmak için mücadele etmektedirler. Operasyonlarda meydana gelecek olan sorunları tespit etmek, ağ planlamasını optimize etmek ve geleceği yönelik tahminlemeler yapabilmek için akıllı analitik tekniklere olan ilgi her geçen gün artarak devam edecektir ve verilerin tamlığı, tutarlılığı ve kullanılabilirliği de beraberinde özel bir öneme sahip olacaktır (Ivanov vd., 2019:831).

Yukarıda bahsedilen Lojistik 4.0'ın temel bileşenlerinden anlaşılacağı üzere lojistik 4.0 gelişmeleri lojistik sektörünü daha verimli, esnek ve rekabetçi bir hale getirmiştir. Verilerin daha kolay elde edilebilmesi ve kullanımı, daha iyi yönetim, daha hızlı süreçler; lojistik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin müşteri beklentilerini daha iyi ve hızlı bir şekilde karşılamasına ve rekabet avantajı elde etmesine yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada da endüstri 4.0 kapsamında yeni projeler başlatmayı ve rekabet avantajı elde etmeyi planlayan bir firmanın lojistik 4.0 ihtiyaçlarının değerlendirilmesi amacı ile AHP yöntemi ve SWARA yöntemi karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır.

2.2. Lojistik 4.0 ile İlgili Literatür Taraması

Lojistik 4.0 ile ilgili yapılan çalışmalar son sekiz yıldır literatürde karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle lojistik 4.0 ile ilgili kavramlara, gelişmelere yer vermiş; gelişen teknolojinin etkisi ile birlikte lojistik 4.0 uygulamalarına başlayan firmaların ortaya çıkması, çalışmaların içeriğini de etkilemiştir. Lojistik 4.0 uygulamalarına başlayan firmaların sayısının artması ile akademik çalışmalarda da lojistik 4.0 ile ilgili uygulamalara ve analizlere başlanmıştır.

Timm ve Lorig (2015), simülasyon ile iki lojistik 4.0 yaklaşımını entegre bir şekilde incelemiştir. Lojistik 4.0 gereksinmelerini ortaya koymak için, geleneksel malzeme akış simülasyonuna otonom karar vericileri entegre etmenin karmaşıklığı arttıracığı sonucuna varmışlardır çalışmalarında. Galindo'nun 2016 tarihli tez çalışması, lojistik 4.0 konusuna detaylı bir şekilde odaklanmıştır. Wang (2016), Lojistik 4.0'ın tanımına, temel teknik bileşenleri ve bazı tasarım prensiplerine yer verilmiştir. Büyüközkan vd. (2016), Lojistikte akıllı gözlük teknolojisi seçiminde TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Zheng ve Ren (2016), Dijital lojistik sisteminin etkinliğinin değerlendirilmesinde, AHP ve ENTROPI yöntemlerini entegre bir şekilde kullanmışlardır. Barreto vd. (2017), organizasyonların Lojistik 4.0 alanında etkili ve tam kapasitede faaliyet gösterebilmelerini sağlayan uygun gereksinimler ve konular hakkında bazı düşünceler sunmuştur. Schlüter ve Hettercheid (2017), çalışmalarında tedarik zinciri yönetiminde dijitalleşmenin nasıl hızlandırılacağı ile ilgili teknolojik gelişmelere yer vermiştir. Al vd (2017), Lojistik 4.0 uygulamasına sahip olan bir firmanın mevcut durumunu anlatmış ve lojistik 4.0 uygulamalarından bahsetmiştir. Edirisuriya vd (2018), çalışmasında lojistik 4.0 ile ilgili literatür taramasına yer vermiştir. Saatçioğlu vd. (2018), çalışmalarında lojistik sektörde lokomotif konumundaki bir lojistik firması ile vaka analizi yaparak endüstri 4.0 kapsamındaki proje çıktılarını sunmuşlardır. Şekkeli ve Bakan (2018) yapmış oldukları çalışmada Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0'ın ana özelliklerini açıklamış ve olası etkilerini ele almışlardır. Öztemel ve Gürsev (2018), anket yolu ile topladıkları bilgiler çerçevesinde, lojistik sektöründeki teknolojilerin hangi öncelikle uygulanması gerektiği ve hangi yatırım stratejilerinin belirlenmesi gerektiği konusunda bulgular sunmuşlardır. Klumpp ve Ruiner (2018), tedarik zinciri ve lojistikte yapay zekâ uygulamalarına yer vermiştir. Tijan vd (2019), Lojistik süreçlerde blok zincir teknolojisi kullanımını incelemiştir. Seyhan 2019, yapmış olduğu çalışmada, lojistik 4.0 ile ilgili yapılandırmanın gerektirdiği yatırımlar ile ilgili görüşleri anket yolu ile toplayıp, cevapların demografik değişkenlere göre anlamlı bir farklılık gösterip göstermediğini incelemiştir. Yılmaz ve Duman (2019), gerçekleştirdikleri kavramsal bir araştırmada, Lojistik 4.0'ın geçmişten günümüze olan gelişimini açıklamışlardır. Radivojević ve Milosavljević (2019), yapmış oldukları çalışmada Lojistik 4.0 teknolojilerini tanımlamışlardır. Çelik (2020), çalışmasında lojistik 4.0 ile ilgili lojistik sektöründeki yeni bilişim sistemlerini ele almıştır. Genç ve Tunalı (2022), yapmış oldukları çalışmalarında, Endüstri 4.0, lojistik 4.0 kavramları ve bu doğrultuda ortaya çıkan akıllı depo sistemleri hakkında bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Alkış vd (2020), çalışmalarında, Kappa analizi ile, Endüstri 4.0 uygulamalarının lojistik sektörde operasyonel verimliliği nasıl etkilediğini incelemiştir. Çakılcı ve Öztürkoğlu (2021), yapmış oldukları çalışmada, Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği inovasyonları lojistik sektörü çerçevesinde incelemiş ve önerilerde

bulunmuşlardır. Aylak vd. (2021) çalışmalarında, yapay zekâ ve makine öğrenimi kavramlarını detaylı bir şekilde açıklamışlar ve ardından endüstri ve lojistik odaklı olarak, lojistikte kullanılan yapay zekâ ve makine öğrenimi uygulamalarına ayrıntılı bir şekilde açıklamışlardır. Parhi vd (2022), sürdürülebilir Lojistik 4.0 kavramına yer vermiş, AHP ve DEMATEL yöntemlerini entegre bir şekilde kullanmışlardır. Çıkmak ve Yazgan (2023) Lojistik sektöründe yaptıkları çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesi ve uygulanmasıyla ilgili engelleri tanımlamak ve bu engellerin önem derecelerini belirlemek amacıyla bulanık Delphi yöntemini kullanmışlardır. ve "en önemli üç engel; ilk olarak 'Tepe yönetiminin Endüstri 4.0 hakkında farkındalığının olmaması', ardından 'Dijital strateji eksikliği' ve son olarak 'Uygulamada metodoloji eksikliği' olarak belirlenmiştir." Çakmak ve Özerhan (2023), Endüstri 4.0 ile ilgili yatırımların lojistik esneklik, lojistik çeviklik ve lojistik hizmet üretim performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, test edilecek araştırma hipotezleri için Yapısal Eşitlik Modellemesini tercih etmişlerdir.

3. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Almanya'da ortaya çıkan ve ardından tüm dünyaya hızla yayılan Endüstri 4.0, getirdiği teknolojik gelişmelerle birlikte, etkisini birçok sektörde hissettirmiştir. Lojistik sektörü de dünyayı saran bu değişimden nasibini almış ve hızlı bir değişimin içine girmiştir. Firmalar rekabette geri kalmamak için ve hızlı değişen müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilmek için lojistik 4.0 bileşenlerini benimsemeye başlamışlardır. Bu çalışmada da İzmir'de faaliyetini sürdüren orta ölçekli bir firmanın lojistik 4.0'ı benimseyerek yeni yatırımlar yapmak için başlatacağı projelere ışık tutmak amacıyla AHP ve SWARA yöntemleri karşılaştırmalı olarak kullanılmış ve firmanın lojistik 4.0 ihtiyaçlarının belirlenmesi ve önceliklendirmesi sağlanmıştır.

3.1. AHP Yöntemi

Karar vericiler, karar verme aşamasında birçok kriteri göz önünde bulundurmamak durumunda kalmaktadırlar. Çok sayıda çok kriterli karar verme yönteminin tek başına veya entegre bir şekilde kullanımına dair literatürde pek çok örnek bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri de çok kriterli karar verme süreçlerinde kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılan AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemidir. AHP yöntemi, karmaşık problemlerin çözümüne yönelik olarak 1977 yılında Thomas Saaty tarafından geliştirilmiştir. AHP yöntemi ile hem seçeneklerin sıralanması, ağırlıklarının belirlenmesi mümkün olmakta hem de kriterlerin önem sıralamalarını belirlemek için ikili karşılaştırmalar kullanılarak karar verme süreci kolaylaşmaktadır. (Pancaroglu, 2018:20).

AHP Yönteminin aşamaları ayrıntılı bir şekilde çalışmanın uygulama aşamasında anlatılmış olup aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Aşama: Karar Probleminin Belirlenmesi
2. Aşama: İlgili Kriterlerin Belirlenmesi
3. Aşama: Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması
4. Aşama: Karşılaştırma Matrisinin Normalize Edilmesi
5. Aşama: Kriter Ağırlıklarını Gösteren Ağırlık Vektörünün Hesaplanması
6. Aşama: Tutarlılık Oranının Hesaplanması

3.2. SWARA Yöntemi

Kriter ağırlıklarını hesaplamada AHP gibi subjektif yöntemler olduğu gibi ENTROPİ gibi objektif yöntemler ve farklı yöntemlerin entegre edilmesiyle ortaya çıkan yöntemler de kullanılmaktadır (Keršulienė vd, 2010:249). SWARA yöntemi (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis) de kriter ağırlıklarını belirlemede kullanılan çok kriterli karar verme tekniğidir ve farklı kriterlerin ve seçeneklerin önceliklerini belirlemede yardımcı olur. Birçok alanda kullanılan SWARA yöntemi,

uzmanların kendi bilgi ve deneyimlerinin kullanıldığı, karmaşık ve zaman alıcı olmayan bir yöntemdir. (Agdaie vd., 2014: 2). SWARA yönteminin öne çıkan özelliği, uzmanların veya ilgi gruplarının, öznelitliklerin ağırlıklarının belirlenme sürecindeki önem oranları hakkındaki görüşlerini tahmin etme olanağıdır (Kerşulienne vd., 2010:250). SWARA yönteminde; sıralamada ilk kriter en önemli olarak kabul edilirken, son kriter en az önemli kriter olarak kabul edilir. Uygulama kolaylığı nedeni ile son zamanlarda yaygın olarak AHP yöntemi yerine tercih edilmeye başlamıştır (Karabesevic ve Stanujkic,2015:45). SWARA yönteminin aşamaları şu şekilde özetlenebilir:

1. Aşama: Karar Probleminin Belirlenmesi
2. Aşama: İlgili Kriterlerin Belirlenmesi
3. Aşama: Kriterlerin Önem Sırasına Göre Sıralanması
4. Aşama: Göreli Önem Düzeylerinin Belirlenmesi
5. Aşama: K_j Katsayılarının Hesaplanması
6. Aşama: Q_j Ağırlıklarının Hesaplanması
7. Aşama: W_j Kriter ağırlıklarının Hesaplanması

Her iki yöntem de çok kriterli karar verme problemleri için kullanılmaktadır ve bir dizi kriteri değerlendirerek en uygun seçeneği belirlemeyi amaçlamaktadır ancak SWARA ve AHP yöntemleri karşılaştırıldığında şu farklar sıralanabilir (Stanujkic vd. ,2015; Karabesevic vd., 2017; Zolfani ve Saparauskas,2013):

- Her iki yöntemin de ilk aşaması olan karşılaştırma matrisindeki çiftli karşılaştırma sayısı SWARA yöntemi için daha azdır. AHP yönteminde, çok sayıda kriter içeren karar verme problemleri çözümlenirken, tutarlılık üzerinde olumsuz etkisi olabilecek çok sayıda ikili karşılaştırma söz konusu olabilecektir.
- SWARA yönteminde n-1 adet ikili karşılaştırma yapılmaktadır. İkili karşılaştırma sayısının fazla olması yanıt toplama konusunu da olumsuz yönde etkileyebilecektir.
- Bunun yanı sıra, AHP yöntemindeki tutarlılık analizi ikili karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını ortaya koyabilirken SWARA yönteminde böyle bir prosedür yoktur.
- AHP yöntemi ile SWARA yöntemi arasındaki bir diğer fark ise; AHP yönteminde önceden tanımlanmış Saaty ölçeği kullanılırken, SWARA yönteminde yanıtlayıcıların daha özgür bir şekilde görüşlerini ortaya koyabilmeleridir.

Bu çalışmada bir lojistik firmasının Lojistik 4.0'a geçiş süreci ile ilgili ihtiyaçlarının belirlenmesi ve bu ihtiyaçların önem seviyelerinin ortaya konması için AHP Yöntemine ve son yıllarda popüler hale gelen ağırlıklandırma yöntemlerinden biri olan SWARA yöntemine yer verilmiştir. SWARA yönteminde tek bir uzman görüşü dikkate alınarak ya da oluşturulan bir karar verme takımının ortak görüşü alınarak kriterler ile ilgili sıralama yapılabilirken, birden fazla karar vericinin ayrı ayrı yaptığı değerlendirmeler dikkate alınarak en son hesaplanan ortalama değer ile de kriter ağırlıkları belirlenebilmektedir.

Bu çalışmanın uygulama aşamasında, bir proje yöneticisi, bir lojistik koordinatörü ve bir yazılım geliştirme-güvenlik elemanından oluşan üç uzmanın yanı sıra bir üst düzey yöneticiden oluşan bir ekibin, ortak görüşlerini içeren bir karar matrisi kullanılarak AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Ayrıca, SWARA yöntemi ile hem ekip görüşüne göre bir sıralama oluşturulmuş, hem de

karar vericilerin bireysel değerlendirmeleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu şekilde, ekip kararı ile bireysel karar vermenin sonuçları üzerindeki etkiler ortaya konmaya çalışılmıştır. AHP ve SWARA yönteminin uygulama adımlarını, bir sonraki başlık altında uygulamalı olarak görmek mümkündür.

3.3. Uygulama

Teknolojik gelişmelerin sürekli artması, değişen tüketici ihtiyaçları, küreselleşme ve giderek zorlaşan rekabet koşulları nedeniyle lojistik faaliyetlerinde önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Bu gelişmeleri takip etmek, firmaların rekabet avantajını sürdürebilmeleri için bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışmanın uygulama alanı bulunduğu söz konusu firma da rekabet edebilmek, verimlilik artışı sağlayabilmek için Lojistik 4.0 gelişmelerine uyum sağlamak adına birtakım projeler başlatmak istemektedir. Bu amaçla üç uzman ve bir üst düzey yöneticiden oluşan bir ekip oluşturulmuş, firmanın mevcut durumu göz önünde bulundurulmuş ve lojistik hizmetlerinin lojistik 4.0'a göre tasarlanmasını sağlamak amacı ile lojistik 4.0 ihtiyaçları Tablo 1'deki gibi ortaya konmuş, AHP ve SWARA yöntemine göre hesaplanan Lojistik 4.0 ihtiyaçlarının önem düzeylerinin hesaplanması sırasıyla anlatılmıştır.

Tablo 1. Lojistik 4.0 İhtiyaçları

Lojistik 4.0 uygulamasına geçiş için ihtiyaçlar
K ₁ : Üst Yönetimin Desteği
K ₂ : Teknolojik Alt Yapı
K ₃ : Siber Güvenlik
K ₄ : Depo Otomasyonu
K ₅ : Akıllı Sipariş Miktarı
K ₆ : Paydaşlar ile İş Birliği
K ₇ : Çalışanlar İçin Yeni İş Tanımları
K ₈ : Sürekli Öğrenme ve Eğitim

3.3.1. Lojistik 4.0 İhtiyaçlarının AHP Yöntemi ile Önceliklendirilmesi

Ekip ile birlikte yapılan literatür çalışması ve beyin fırtınası sonucunda firmanın Lojistik 4.0'ı tam olarak benimsemesinde sekiz kriterin üzerinde durulmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Lojistik 4.0 uygulamalarına başlayabilmek için de bu ihtiyaçlardan en önemlileri ile ilgili projeler başlatılacaktır. Sonraki aşamada Tablo 2'de görülen karşılaştırma ölçeği kullanılarak her bir lojistik 4.0 ihtiyacının ikili karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 2. Karşılaştırma Ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	Her iki faktör eşit öneme sahiptir
3	Orta derecede önemli	Bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir

5	Kuvvetli derecede önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle önemlidir
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir faktör diğerinden yüksek derecede kuvvetle önemlidir
9	Mutlak derecede önemli	Faktörlerden biri diğerinden çok yüksek derecede önemlidir
2,4,6,8	Ara değerler	İki faktör arasında küçük farklar olduğunda kullanılır.

Tablo 2’de görülen Saaty’nin karşılaştırma ölçeği kullanılarak, firma yetkililerinden oluşan ekibin ortak aldığı kararlar ile ikili karşılaştırmalar yapılmış ve Tablo 3’te görülen Karar matrisi oluşturulmuştur. Bu aşamada i ve j ihtiyaçları karşılaştırılırken (x) değeri verilmiş ise, j ve i karşılaştırılırken (1/x) değeri atanmıştır.

Tablo 3. Karar Matrisi

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
K ₁	1,00	0,50	2,00	3,00	4,00	5,00	8,00	7,00
K ₂	2,00	1,00	3,00	4,00	5,00	7,00	9,00	8,00
K ₃	0,50	0,33	1,00	2,00	3,00	4,00	7,00	5,00
K ₄	0,33	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	5,00	4,00
K ₅	0,25	0,20	0,33	0,50	1,00	2,00	4,00	3,00
K ₆	0,20	0,14	0,25	0,33	0,50	1,00	3,00	2,00
K ₇	0,13	0,11	0,14	0,20	0,25	0,33	1,00	0,50
K ₈	0,13	0,13	0,20	0,25	0,33	0,50	2,00	1,00
Sütun Toplamı	4,53	2,66	7,43	11,28	16,08	22,83	39,00	30,50

Analitik Hiyerarşi Prosesinde bir sonraki adım eşitlik (1) yardımıyla karar matrisinin normalize edilmesidir. Eşitlikten de anlaşılacağı üzere normalize edilmiş matris her bir hücre değerinin sütun toplamına bölünmesi ile elde edilir. Tablo 4’te Lojistik 4.0 ihtiyaçlarının ikili karşılaştırılması ile oluşan karar matrisinin normalize edilmiş hali görülmektedir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (1)$$

Tablo 4. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

	K₁	K₂	K₃	K₄	K₅	K₆	K₇	K₈
K₁	0,22	0,19	0,27	0,27	0,25	0,22	0,21	0,23
K₂	0,44	0,38	0,40	0,35	0,31	0,31	0,23	0,26
K₃	0,11	0,13	0,13	0,18	0,19	0,18	0,18	0,16
K₄	0,07	0,09	0,07	0,09	0,12	0,13	0,13	0,13
K₅	0,06	0,08	0,04	0,04	0,06	0,09	0,10	0,10
K₆	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,08	0,07
K₇	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
K₈	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,05	0,03

Sonraki aşamada her bir kriterin (Lojistik 4.0 ihtiyacının) ağırlığının (W) bulunabilmesi için normalize edilmiş karar matrisinin satır toplamının ortalaması alınır. Bu ağırlıkların toplamının 1 yapması gerekmektedir. Tablo 5’te her bir kriterlere ait ağırlıklar sıralanmış bir şekilde görülmektedir.

Tablo 5. Lojistik 4.0 İhtiyaçlarının AHP Yöntemine Göre Önem Dereceleri

Lojistik 4.0 İhtiyaçları	Önem Dereceleri
K ₁ : Üst yönetimin desteği	0,23
K ₂ : Teknolojik alt yapı	0,34
K ₃ : Siber güvenlik	0,16
K ₄ : Depo otomasyonu	0,10
K ₅ : Akıllı sipariş miktarı	0,07
K ₆ : Paydaşlar ile iş birliği	0,05
K ₇ : Çalışanlar için yeni iş tanımları	0,02
K ₈ : Sürekli öğrenme ve eğitim	0,03

Tablo 5’te de görüleceği üzere firmanın lojistik 4.0 uygulamalarına geçişte en önemli ihtiyacının IOT, Büyük veri gibi teknolojileri kapsayan “teknolojik alt yapı” eksikliği olduğu ortaya konmuştur. İkinci sırada ise “üst yönetimin desteği” yer almaktadır. Lojistik 4.0 uygulamalarına geçişte üst yönetim kritik bir role sahiptir. Şirketin genel stratejik hedeflerini belirleyen üst yönetimdir ve belirlenen bu stratejik hedeflere lojistik 4.0 uygulamalarının başarılı bir şekilde entegre edilmesi önem taşımaktadır. Ayrıca, lojistik 4.0 uygulamalarının başarılı bir şekilde hayata geçirilebilmesi teknolojik yatırımlar gerektirecektir ve bu yatırımları onaylayacak, finansal kaynak sağlayacak olan da üst yönetimdir.

Lojistik 4.0'a geçiş organizasyonel açıdan bir değişim de gerektirebilecektir. Personelin eğitimi, iş süreçlerinin yeniden yapılandırılması üst yönetimin liderliği ve desteği ile mümkün olabilecektir. Lojistik 4.0 uygulamaları büyük miktarda veri kullanımını içerir. Bu verilerin güvenliği ve risk yönetimi üst yönetimin sorumlulukları arasında yer almaktadır. Özetle, üst yönetimin lojistik 4.0'ı desteklemesi, şirketin rekabet avantajını artırmak, operasyonel verimliliği artırmak ve gelecekteki Pazar koşullarına daha iyi uyum sağlamak adına kritik bir rol oynamaktadır. Karar verme ekibi dışında kalan birkaç çalışanla gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda, üst yönetim tarafından sağlanan destek konusunda bazı anlaşmazlıkların ortaya çıktığı ve yönetimden her karar alma sürecinde daha fazla liderlik ve yönlendirme beklendiği anlaşılmıştır. Sık sık bir araya gelme ve görüş alışverişi yapma şansı bulamayan, düşüncelerini ve taleplerini açık bir şekilde yöneticilerine iletemeyen çalışanların, bu vesile ile yöneticileriyle bir araya gelerek fikirlerini özgürce ifade etmelerine olanak tanıyan bir ortamın yaratılmış olabileceği düşünülmektedir.

Üçüncü sırada ise "siber güvenlik" kriteri yer almaktadır. Lojistik 4.0, daha fazla internete bağlı cihazın kullanılmasını içerir. Bu da potansiyel olarak siber saldırılara daha fazla açık olunmasına neden olabilir. Siber güvenlik önlemleri, bu tür saldırılara karşı savunma sağlamak için gereklidir. Daha iyi talep tahmini, stok yönetimi ve müşteri memnuniyeti için sürekli değişen koşullara hızlı tepki verebilmek önemlidir bu da süreçlerin iyi takibi ve süreç otomasyonu ile sağlanabilecektir. Yapılan değerlendirme sonucunda, "depo otomasyonu" Lojistik 4.0 ihtiyaçlarında dördüncü sırada yer alırken, beşinci sırada ise "akıllı sipariş yönetimi" karşımıza çıkmaktadır. Lojistik 4.0'ın temel unsurlarından biri olan akıllı sipariş yönetimi, lojistik operasyonlarını daha etkili, hızlı ve maliyet etkin hale getirerek rekabet avantajı sağlar. Bu sayede şirketler, müşteri beklentilerini karşılamak ve rekabet avantajı elde etmek adına daha güçlü bir konuma gelirler. "Sürekli öğrenme ve eğitim", "paydaşlar ile iş birliği", "çalışanlar için yeni iş tanımları" kriterleri alt sıralarda görülmektedir. Firma çalışanları bu ihtiyaçların düşük önem seviyesine sahip olmasını firmanın bu ihtiyaçlar açısından iyi bir şekilde organize olmuş olmasına bağlamışlardır. Teknolojik yenilikler ile ilgili gelişmelere ayak uydurulabildiğinde üst yönetimin de desteği ile, çalışanlar ve paydaşlar açısından sorun yaşamayacaklarını belirtmişlerdir.

Elde edilen önem derecelerinin anlamlı olabilmesi için karşılaştırma matrisinin tutarlı olması gerekmektedir. Karşılaştırma matrisinin tutarlılığına bakabilmek için ilk olarak karar matrisi(A) ile önem dereceleri(W) vektörü çarpılarak λ_{max} vektörü elde edilir. Daha sonra eşitlik (2)'de görüldüğü gibi tutarlılık indeksi hesaplanır ve Tablo 6'da görülen random İndeks değerlerine bölünerek tutarlılık oranı hesaplanır (Eşitlik 3) Tutarlılık oranının 0,10'u geçmemesi gerekmektedir.

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$TO = \frac{TI}{RI} \quad (3)$$

Tablo 6. RI Değerleri

N	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41
n	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59	

Lojistik 4.0 ihtiyaçları ile ilgili yapılan AHP analizinde tutarlılık oranı hesaplaması aşağıda gösterildiği gibidir ve tutarlılık oranının 0,10'dan küçük çıkması bulunan önem derecelerini anlamlı kılmıştır.

$$TI = \frac{8,22-8}{8-1} = 0,03 \quad T. O = \frac{0,03}{1,41} = 0,02 < 0,10$$

3.3.2. Lojistik 4.0 ihtiyaçlarının SWARA Yöntemi ile Önceliklendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde Lojistik 4.0 ihtiyaçlarının önceliklendirilmesi için SWARA yöntemi hem dört karar vericinin bir araya gelerek vermiş olduğu ortak kararına göre hem de karar vericiler ile ayrı ayrı görüşerek belirlenen sıralamaya göre uygulanmıştır. Burada bireylerin kişisel yargılarını içeren kriter sıralamaları ile grup içinde alınan karara göre yapılan sıralamanın farklılaşp farklılaşmadığını ortaya koymak amaçlanmaktadır. Aynı zamanda AHP yöntemi ile elde edilen sonuçların SWARA yöntemi sonuçları ile karşılaştırılması yapılacaktır.

Literatürde karar verme problemlerinde kriter önem düzeylerinin (ağırlıklarının) belirlenmesinde AHP yönteminin kullanıldığı çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. AHP ve SWARA yöntemlerinin, çalışmanın yöntem bölümünde bahsedildiği gibi avantaj ve dezavantajları vardır. Bu nedenle bu çalışmada her iki yöntem de kullanılarak sonuçların farklılaşp farklılaşmayacağı ortaya konmaya çalışılmıştır. Ayrıca, her iki yöntemde de uzman görüşleri çok önemlidir. Uzmanların konuyla ilgili bilgi ve deneyimleri ile değerlendirmelerde bulunmaları esastır. AHP yöntemi sırasında karşılaştırma matrisinin puanlanmasında başvurulardan SWARA yönteminin ilk aşamasında kriterleri öncelik sırasına göre sıralamaları istenmiştir ve göreceli önem düzeyleri (S_j) 0 ila 1 arasında beşin katları olacak aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Ayrıca tabloda yer alan K_j değerleri eşitlik 4 Q_j değerleri, eşitlik 5 ile, W_j değerleri de eşitlik 6 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$K_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ S_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$Q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{K_j} & j > 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$W_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (6)$$

Tablo 7. SWARA Yöntemine İlişkin Hesaplamalar ve Lojistik 4.0 İhtiyaçlarının Önem Düzeyleri

Önem Sırası	Lojistik 4.0 İhtiyaçları	S_j	K_j	Q_j	W_j
1	K_2		1	1,000	0,368
2	K_3	1	2	0,500	0,184
3	K_1	0,5	1,5	0,333	0,123

4	K ₅	0,3	1,3	0,256	0,094
5	K ₄	0,2	1,2	0,214	0,079
6	K ₆	0,2	1,2	0,171	0,063
7	K ₈	0,6	1,6	0,134	0,049
8	K ₇	0,4	1,4	0,111	0,041

Tablo 7'deki AHP sonuçlarıyla paralel olarak, SWARA yöntemine göre hesaplanan önem düzeylerinde de “teknolojik altyapı” kriterinin belirgin bir şekilde 1. sırada yer aldığı görülmektedir. İkinci sırada “siber güvenlik” önceliği bulunurken, üçüncü sırada ise “üst yönetimin desteği” kriterinin önem düzeyi öne çıkmaktadır. Önem sıralamasında en düşük puanlara sahip üç kriter ise “paydaşlar ile iş birliği”, “sürekli öğrenme ve eğitim” ile “çalışanlar için yeni iş tanımları” olarak belirlenmiştir. Bu sıralama, organizasyonun stratejik hedeflerine ulaşma yolunda teknolojik alt yapı, siber güvenlik ve üst yönetim desteği faktörlerinin kilit faktörler olduğunu vurgulamaktadır.

Bu çalışmada ayrıca ekibin görüşüne göre yapılan değerlendirmelerin yanı sıra her bir karar verici ile tek tek görüşerek alınan cevaplara göre bir sıralama yapılmış ve grup kararına kıyasla bireysel kararların ortalamasının farklı sonuçlara yol açıp açmayacağı ortaya konmaya çalışılmıştır. Tablo 8’de dört karar verici ile ayrı ayrı görüşerek elde edilmiş Lojistik 4.0 ihtiyaçlarının sıralamasına ve göreceli önem düzeylerine yer verilmiştir.

Tablo 8. Karar Vericiler Bazında Lojistik 4.0 İhtiyaçlarının Göreceli Önem Düzeyleri

KV1		KV2		KV3		KV4		
Önem sıralaması	S _j	Önem Sıralaması	S _j	Önem Sıralaması	S _j	Önem Sıralaması	S _j	
1	K ₂	K ₂		K ₂		K ₂		
2	K ₁	0,2	K ₃	0,4	K ₅	0,5	K ₃	1
3	K ₃	0,25	K ₄	0,2	K ₄	0,2	K ₆	0,4
4	K ₄	0,1	K ₅	0,1	K ₃	0,3	K ₅	1,5
5	K ₅	0,5	K ₁	0,25	K ₁	0,25	K ₁	1
6	K ₆	0,2	K ₆	0,6	K ₆	0,6	K ₄	0,5
7	K ₈	0,6	K ₇	0,1	K ₇	0,4	K ₈	2
8	K ₇	0,4	K ₈	0,3	K ₈	0,2	K ₇	1

Eşitlik 4,5 ve 6 kullanılarak her bir karar verici için hesaplanan önem seviyeleri Tablo 9’da gösterilmektedir. Her bir karar vericinin yapmış olduğu sıralama ve belirlediği göreceli önem düzeyini

dikkate alarak hesaplanan ağırlıkların geometrik ortalaması alınarak lojistik 4.0 ihtiyaçlarının nihai önem düzeyleri hesaplanmıştır.

Uzmanlar ve yöneticilerden oluşan ekip üyelerinin bireysel görüşleri esas olarak uygulanan SWARA yöntemi sonuçlarına göre, önceliklendirme sıralamasında “teknolojik altyapı” kriteri birinci sırada yer almaktadır. Ancak, AHP grup kararına göre farklılık gösteren SWARA yöntemi; bireysel görüşlere göre hesaplandığında da “siber güvenlik” kriterini ikinci sıraya yerleştirmiştir (Tablo 9). Üçüncü sırada “akıllı sipariş yönetimi”, dördüncü sırada “depo otomasyonu” önem sıralamasında kendine yer bulmuştur. Bu değerlendirme, “üst yönetim desteği” kriterinin beşinci sıraya gerilediğini göstererek, önceki sonuçları desteklemekte ve grup kararı üzerinde üst yönetimin etkisinin varlığına dair düşünceleri pekiştirmektedir. “Paydaşlarla iş birliği”, “sürekli öğrenme ve eğitim” ile “çalışanlar için yeni iş tanımları” kriterleri ise önem sıralamasında daha düşük ağırlıklı olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. Karar Vericilere Göre Lojistik 4.0 İhtiyaçlarının Önem Düzeyleri

Önem Sırası	İhtiyaçlar	KKV ₁	KKV ₂	KV ₃	KV ₄	Nihai Ağırlıklar
1	K ₂	0,234	0,235	0,274	0,443	0,286
2	K ₃	0,156	0,168	0,117	0,222	0,161
3	K ₅	0,094	0,127	0,183	0,089	0,118
4	K ₄	0,142	0,140	0,152	0,030	0,097
5	K ₁	0,195	0,102	0,094	0,044	0,095
6	K ₆	0,079	0,064	0,058	0,158	0,083
7	K ₈	0,059	0,071	0,056	0,010	0,039
8	K ₇	0,042	0,093	0,067	0,005	0,034

4. SONUÇ

Endüstri 4.0 ile birlikte, teknolojik gelişmeler hayatımıza daha fazla dahil olmaktadır. Gelişen teknoloji ve bilgi sistemleri ile, gelişen endüstri hemen hemen her sektörü etkisi altına almıştır. Sensörler gibi akıllı sistemler ile iletişim kurabilen ve kendi kendini yönetebilen süreçler tüm birimlerin birbiri ile iletişim halinde olmasını sağlamış ve daha hızlı tepki verebilen, uyum sağlayabilen süreçler yerini almaya başlamıştır. Endüstri 4.0’ın beraberinde getirdiği değişimlerden lojistik sektörü de fazlasıyla etkilenmiş ve yeni teknolojilere ayak uydurmaya başlamıştır. Yeni teknolojiler ile süreçlerin daha hatasız ve daha kısa sürede gerçekleşmesi firmalara operasyonlarını daha verimli hale getirme olanağı tanımaktadır. Bu nedenle birçok firma halen Lojistik 4.0’ı benimseyerek rekabet avantajı elde etmeye çalışmaktadır. Bu çalışmada da lojistik sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın Lojistik 4.0’ı benimsemeye ne gibi eksikliklerinin olduğu ortaya konmaya çalışılmıştır.

Belirlenen Lojistik 4.0 ihtiyaçlarının önceliklendirilmesi için de AHP yöntemi ve SWARA yöntemi kullanılmıştır. Yöntem sonucunda firmanın teknolojik alt yapı ile ilgili büyük eksikliğini olduğu tartışmalar sonucunda da ortaya çıkmıştır ve firma bu teknik alt yapının bir an önce kurulabilmesi için bir proje başlatma kararı almıştır. Elbette, bu süreç yeni iş süreçlerini yönetme becerisi

gerektirecektir. Firma yöneticileri bu konuda kendilerine güvendiklerini ve gerekli eğitim programları ile sürekli gelişim ve iyileşmeyi de sağlayabileceklerini belirtmişlerdir.

Bu çalışma, literatürde de değinilen AHP ve SWARA yöntemlerinin farklılıklarını ele almış, ancak önceki araştırmalardan farklı olarak SWARA yöntemini hem grup kararına hem de üç uzman ve bir yöneticiden oluşan ekibin bireysel sıralamasına göre uygulayarak sonuçları karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlardaki önem sıralamalarındaki farklılıklar grup kararı alınırken bireylerin farklı görüşleri ortaya koyabileceğini göstermiştir.

Özellikle SWARA ve AHP ekibinde bir yöneticinin varlığı, diğer uzmanların farklı görüşleri iletebilecekleri veya cesaret edemedikleri konuları dile getirebilecekleri bir ortam fırsatı olarak düşündüklerini akla getirmiştir. Önem seviyesi sıralamasında son üç sırada yer alan Lojistik 4.0 ihtiyaçları (“paydaşlar ile iş birliği”, “sürekli öğrenme ve eğitim”, “çalışanlar için yeni iş tanımları”) AHP ve SWARA yöntemlerinde farklılık göstermemiştir. Bu sonuç firmanın bu ihtiyaçlar açısından iyi bir şekilde organize olmuş olmasına bağlanmıştır. Her üç yöntemde de teknolojik alt yapı kriterinin en yüksek önem seviyesine sahip olduğu görülmüştür. Bu bağlamda firma, öncelikle teknolojik alt yapı ve siber güvenlik konularında projeler başlatma kararı almıştır. Üst yönetimin aslında projeye destek verdiği, etkili bir lider olduğu ancak çalışanları ile yeterince iletişim kurmadığı ve fikir alışverişinde bulunmadığı fikri grup kararı ile bireysel karar arasındaki farklı sıralamanın temel nedeni olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışma, Lojistik 4.0 uygulamalarına geçişteki ihtiyaçları çok kriterli karar verme teknikleri ile ortaya koyması bakımından literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca, SWARA ve AHP yöntemlerinin farklılıkları göz önüne alındığında, bireysel sıralamalara göre ortalamalar alınarak uygulanabilen SWARA yönteminin grup etkisini ortadan kaldırarak avantajlı bir teknik olduğunu ortaya koymaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, Lojistik 4.0 teknolojilerinin seçim kararlarında farklı çok kriterli karar verme teknikleri ile birlikte SWARA analizinin birden fazla karar verici görüşüne yer vererek entegre edilmesi önerilmektedir.

Bu çalışmada analiz için kullanılan verilerin belirli bir zaman dilimi ve coğrafi bölge ile sınırlı olması, elde edilen sonuçların genelleştirilememesine neden olabilir. Ayrıca, çalışmada kullanılan yöntemler ve kriterler, mevcut literatüre ve araştırmacıların bakış açısına dayandığı için, farklı yöntemlerin veya kriterlerin kullanılması durumunda sonuçlar değişiklik gösterebilir. Buna rağmen, elde edilen bulgular hem akademisyenler hem de sektör profesyonelleri için değerli bir rehber niteliğindedir. Gelecekteki araştırmaların, bu bulguları genişletmesi ve yeni perspektifler sunması, Lojistik 4.0 uygulamalarının daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde hayata geçirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, araştırmacıların ve uygulayıcıların, hızla değişen teknolojik gelişmelere uyum sağlamak için sürekli bir yenilik ve öğrenme süreci içinde olmaları gerektiği unutulmamalıdır.

Etik Beyan

“*Lojistik 4.0 İhtiyaçlarının Değerlendirilmesinde AHP ve SWARA Yöntemlerinin Karşılaştırılması*” başlıklı çalışmanın yazılması ve yayınlanması süreçlerinde Araştırma ve Yayın Etiği kurallarına riayet edilmiş ve çalışma için elde edilen verilerde herhangi bir tahrifat yapılmamıştır. Çalışma için etik kurul izni gerekmemektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Çalışmadaki yazar çalışmanın yazılmasından taslağın oluşturulmasına kadar tüm süreçlere katkı yapmış ve nihai halini okuyarak onaylamıştır.

Çatışma Beyanı

Yapılan bu çalışma gerek bireysel gerekse kurumsal/örgütsel herhangi bir çıkar çatışmasına yol açmamıştır.

KAYNAKÇA

- Aghdaie M. H., Hashemkhani Zolfani, H. ve Zavadskas E.K. (2014). Sales Branches Performance Evaluation: a Multiple Attribute Decision Making Approach, *8th International Scientific Conference on Business and Management*, Vilnius Article number: bm.2014.001.
- Al, E., Özsalih, E. ve Yenipazarlı, B.M. (2017). Uygulama Örnekleri ile Neden Lojistik 4.0. *Ulaştırma ve Lojistik Ulusal Kongresi*, İstanbul.
- Alkış, G., Piritini, S., Ertemel, A. V. (2020). Lojistik Sektöründe Endüstri 4.0 Uygulamalarının Operasyonel Verimliliğe Etkisi. *Business & Management Studies: An International Journal*, Vol:8, Issue:1, 371-395.
- Aylak, B. L., Okan, O. R. A. L., ve Yazıcı, K. (2021). Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Lojistik Sektöründe Kullanımı. *El-Cezeri*, 8(1), 74-93.
- Barreto, L, Amaral, A. Ve Pereira, T. (2017). “Industry 4.0 Implications in Logistics: an Overview”, MESIC Conference.
- Bulut, C. (2023). Bulut Bilişim (Cloud Computing) Nedir? Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu. <https://www.endustri40.com/bulut-bilisim-cloud-computing-nedir/> E.T: 26.08.2023
- Büyüközkan, G., Güler, M. ve Uztürk, D. (2016). Selection of Wearable Glasses in the Logistics Sector. *XIV. International Logistics and Supply Chain Congress*, 1-2 December 2016, İzmir, 377-385.
- Çakmak, M. ve Özerhan, Y. (2023). Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımların Lojistik Hizmet Üretim Performansına Etkisinde Esneklik ve Çevikliğin Rolü Üzerine Bir Araştırma. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 15(3), 1734-1752.
- Çakılcı, C., ve Öztürkoğlu, Y. (2021). Yeni Dijital Çağ Yaklaşımı ile Lojistik Sektöründe Yenilikçi Çözümler. *Journal of Business in The Digital Age*, 4(1), 65-75.
- Çelik, R. (2020). Lojistik Sektöründe Kullanılan Yeni Bilişim Sistemleri: Lojistik 4.0 Örneği. *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences*, 06(04). ss:85-90
- Çıkmak, S. ve Yazgan, H. İ. (2023). Lojistik Sektöründe Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Önündeki Engellerin Bulanık Delphi Yöntemiyle İncelenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(88), 2065-2086.
- DHL, (2015). Internet of Things in Logistics, A Collaborative Report By Dhl And Cisco on Implications And Use Cases for The Logistics Industry.
- Genç, E. ve Tunalı, İ. (2022). Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 Kapsamında Akıllı Depo Sistemleri. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, Cilt:9, Sayı:4, ss:194-215.
- Edirisuriya, A., Weerabahu, S ve Wickramarachchi, R. (2018). Applicability of Lean and Green Concepts in Logistics 4.0: A Systematic Review of Literature, *International Conference on Production and Operations Management Society (POMS)*
- Galindo, L. D. (2016). *The Challenges of Logistics 4.0 for The Supply Chain Mngement and the Information Technology*. (Master Thesis). Norwegian University.

- Gülççek Tolun, B. (2024). Lojistik 4.0 İhtiyaçlarının Değerlendirilmesinde AHP ve SWARA Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 26(47), 836-854.
- Gökrem, L. ve Bozuklu, M. (2016). Nesnelerin İnterneti: Yapılan Çalışmalar ve Ülkemizdeki Mevcut Durum. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, sayı:13,47-68.
- Guban, M. ve Kovacs, G. (2017). Industry 4.0 Conception. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 10(1): 111.
- Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B. ve Sokolov, B. (2019). The Impact of Digital Technology and Industry 4.0 on the Ripple Effect and Supply Chain Riskanalytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829-846.
- Karabesevic, D. ve Stanujkic, D. (2015). The MCDM Model for Personel Selection Based on SWARA and ARAS Methods. *Management Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, December, Volume 77. 43-52.
- Klumpp, M. ve Ruiner, C. (2018). Regulation For Artificial Intelligence and Robotics in Transportation, Logistics and Supply Chain Management: Background and Developments. *Network Industries Quarterly*, 20(2), 3-7.
- Keršulienė V., Zavadskas E.K. ve Turskis Z. (2010), Selection of Rational Disputeresolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratioanalysis (SWARA). *J. Bus. Econ. Manage.* 11 (2010) 243-258.
- Karaebber, H.W., Rehg, J.A., (2001), *Computer Integrated Manufacturing*, Prentice Hall, New Jersey.
- Lestari, S., Adji, T. B., ve Permanasari, A. E. (2018). Performance Comparison of Rank Aggregation Using Borda and Copeland in Recommender System. In *2018 International Workshop on Big Data and Information Security (IWBIS)* pp. 69-74.
- McKinsey, (2022). Future-Proofing The Supply Chain, Mckinsey&Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/futureproofing-the-supply-chain>, E. T :26.08.2023
- Öztemel, E. ve Gürsev, S. (2018). Türkiye’de Lojistik Yönetiminde Endüstri 4.0 Etkileri ve Yatırım İmkanlarına Bakış Üzerine Anket Uygulaması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30 (2), ss:145-154
- Pancaroglu, M., S., (2018). *Akıllı Telefon Seçim Faktörlerinin Bütünleşik Yapısal Eşitlik Modeli-Analitik Hiyerarşi Süreci ile İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, SBE.
- Pagano, A. M., ve Liotine, M. (2020). *Technology in Supply Chain Management and Logistics*. Cambridge MA, United States: Elsevier.
- Parhi, S., Gunasekaran, A., Sethuraman, K. (2022). Reflecting on an Empirical Study of The Digitalization Initiatives for Sustainability on Logistics: The Concept of Sustainable Logistics 4.0. *Cleaner Logistics and Supply Chain 4*.
- Premm, M., ve Kirn, S. (2015). A Multiagent Systems Perspective On Industry 4.0 Supply Networks. In *Multiagent System Technologies: 13th German Conference, MATES 2015, Cottbus, Germany, September 28-30, 2015, Revised Selected Papers 13* (Pp. 101-118). Springer International Publishing.
- Radivojević G., ve Milosavljević L. (2019), The Concept of Logistics 4.0. , *4th International Logistics Conference.*, Serbia.
- Saatçioğlu, Ö. Y., Tuğdemir Kök, T., Özispa, N. (2018). Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörüne Yansımalarının Örnek Olay Kapsamında Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi*

Gülççek Tolun, B. (2024). Lojistik 4.0 İhtiyaçlarının Değerlendirilmesinde AHP ve SWARA Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 26(47), 836-854.

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt:23, Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı, 1675-1696.

- Saaty, T. L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. Pittsburgh: RWS Publications
- Schlüter, F. ve Hetterscheid, E. (2017). Supply Chain Process Oriented Supply Chain Processoriented, *Hamburg International Conference of Logistics*, 275–299.
- Seyhan, Ç. (2019). *Lojistik 4.0: Endüstri 4.0'ın Lojistik Sektörüne Uyarlanması Üzerine Bir Araştırma*. (Yüksek Lisans Tezi) Marmara Üniversitesi, SBE.
- Şekkeli, Z. H. ve Bakan, İ. (2018). Endüstri 4.0'ın Etkisiyle Lojistik 4.0. *Journal of Life Economics*, 5 (2), 17-36
- Stanujkic, D., Karabasevic, D. ve Kazimieras Zavadskas, E. (2015). A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA Method. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 26(2), 181–187
- Timm, I. ve Lorig, F. (2015). Logistics 4.0-A Challenge for Simulation, *Winter Simulation Conference (WSC)*. *IEEE*, 3118-3119.
- Tijan, E., Aksentijevic', S., Ivanic', K. ve Jardas, M. (2019). Blockchain Technology Implementation in Logistics, *Sustainability*, 11(4).
- Wang, K. (2016). Logistics 4.0 Solution: New Challenges and Opportunities. *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*, 68-75.
- Yılmaz, Ü. ve Duman, B. (2019). Lojistik 4.0 Kavramına Genel Bir Bakış: Geçmişten Bugüne Gelişim ve Değişimi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4 (1), 186-200.
- Zheng, X. ve Ren, J. (2016). Effectiveness Evaluation Method for Digital Logistics Equipment System of Systems, *In 2016 4th International Conference on Mechanical Materials and Manufacturing Engineering*, Atlantis Press.
- Zolfani, S. H. ve Saparauskas, J. (2013). New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System. *Engineering Economics*, 24(5), 408–414.

Extended Abstract

Comparing AHP And SWARA Methods In Evaluating Logistics 4.0 Needs

The advent of Industry 4.0 has brought forth technological advancements that have permeated various facets of our lives. The industrial landscape, driven by evolving technologies and information systems, has witnessed a profound impact across almost every sector. Processes capable of communicating and self-managing through smart systems, such as sensors, have given rise to interconnected units, fostering faster and more adaptable operations. The logistics sector, too, has undergone significant transformations due to the changes brought about by Industry 4.0, prompting companies to embrace new technologies. The integration of these technologies enables more error-free and expeditious processes, offering companies the opportunity to enhance the efficiency of their operations. Consequently, many firms are actively adopting Logistics 4.0 to gain a competitive advantage. While the benefits of Logistics 4.0 are evident, the transition process poses unique challenges for organizations. These include the need for substantial investments in technological infrastructure, workforce training, and cybersecurity measures. Additionally, achieving seamless integration of new systems with existing processes requires strategic planning and management support. Understanding and addressing these challenges systematically is critical to ensure the successful implementation of Logistics 4.0.

This study focuses on identifying the deficiencies of a logistics company that operates in the logistics sector in embracing Logistics 4.0. To prioritize the identified needs, the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) methods were employed. The results highlighted a major deficiency in the company's technological infrastructure, leading to discussions on the urgent need for the establishment of this technical foundation. As a result, the company decided to initiate a project for the rapid establishment of the required technological infrastructure. However, this process will demand proficiency in managing new business processes, a challenge the company's leadership expressed confidence in overcoming through continuous development and improvement facilitated by appropriate training programs. The application of both AHP and SWARA methods in this study underscores their complementary strengths in multi-criteria decision-making. AHP, with its structured approach, offers a detailed analysis of the relationships between criteria, providing insights into their relative importance. SWARA, on the other hand, allows decision-makers to quickly prioritize needs while considering subjective evaluations. By combining these methods, the study leverages their respective advantages to produce robust and actionable results.

This study delves into the differences between the AHP and SWARA methods, exploring a unique approach by applying the SWARA method both in group decision-making and individual rankings from a team consisting of three experts and one manager. Discrepancies in the importance levels of the criterion related to top management support emerged in the SWARA results from individual evaluations, suggesting that the influence of managers on team members may impact decision-making in group settings. Another critical finding of this study is the role of cybersecurity in the successful transition to Logistics 4.0. As logistics systems become increasingly reliant on digital technologies, the risk of cyber threats grows exponentially. This underscores the necessity for robust cybersecurity measures to protect sensitive data, ensure operational continuity, and build stakeholder trust. Companies failing to address these risks may face significant operational and reputational challenges. The presence of a manager in the SWARA and AHP team is considered an opportunity for an environment where other experts can express different views or raise issues they might hesitate to address. Interestingly, the last three positions in the importance level ranking for Logistics 4.0 needs ("collaboration with stakeholders," "continuous learning and training," "new job descriptions for employees") did not differ between the AHP and SWARA methods, indicating effective organization on the company's part in addressing these needs. Consequently, the company prioritized initiating projects related to technological infrastructure and cybersecurity. This study contributes significantly to the literature by identifying the needs in the transition to Logistics 4.0 using multi-criteria decision-making techniques. Additionally, considering the differences between SWARA and AHP methods, the study suggests that SWARA, when applied by averaging individual rankings, eliminates the group influence, presenting itself as an advantageous technique. Future research is recommended to integrate SWARA analysis with various multi-criteria decision-making techniques, incorporating multiple decision-makers' perspectives in selecting Logistics 4.0 technologies.

In conclusion, the findings of this study have practical implications for both academics and industry practitioners. By systematically evaluating the needs for Logistics 4.0 implementation, this research provides a roadmap for organizations aiming to enhance their competitive edge in the evolving logistics landscape. Moreover, the methodological insights gained from comparing AHP and SWARA contribute to the broader field of decision-making, paving the way for further exploration of these tools in diverse contexts.
