

LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN ÖNÜNDEKİ ENGELLERİN BULANIK DELPHİ YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

EXAMINING THE BARRIERS OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES IN THE LOGISTICS SECTOR USING FUZZY DELPHI METHOD

Sinan ÇIKMAK¹ - Halil İbrahim YAZGAN²

Öz

Endüstri 4.0 teknolojileri işletmelere büyük fırsatlar sunmaktadır. Fakat işletmelerin bu teknolojilere adapte olmaları, karşılaşılabilecek zorluklar nedeniyle kolay olmayacaktır. Endüstri 4.0 teknolojilerinin her sektör için sunacağı fırsatlar farklılık göstermekle birlikte, söz konusu teknolojilerin uygulanmasında işletmelerin karşılaşılabilecek zorluklarda sektörel bağlamda değişiklikler gösterecektir. Bu çalışmanın temel amacı, lojistik sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin ve uygulanmasının önündeki engelleri belirlemek ve önem derecelerini ortaya koymaktır. Yürütülen literatür taraması ve uzman görüşmeleri sonrasında lojistik sektörüne yönelik 5 temel boyut altında toplamda 32 engel belirlenmiştir. Ardından bulanık Delphi yöntemi kullanılarak yapılan analiz sonucunda 14 engelin ortalamasının üzerinde ağırlığa sahip olduğu görülmüş ve seçilen bu engeller tartışılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre en önemli ilk üç engelin sırasıyla; “Tepe yönetimin Endüstri 4.0 hakkında farkındalığının olmaması”, “Dijital strateji eksikliği” ve “Uygulamada metodoloji eksikliği” olarak belirlenmiştir. Çalışma, Endüstri 4.0 teknolojilerine uyum engellerini lojistik sektörü bağlamında inceleyen ilk araştırmalardan biri olması nedeniyle literatürdeki önemli bir boşluğun doldurulmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca çalışma, yararlanılan yöntem bakımından da orijinallik sunmaktadır. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamak isteyen lojistik sektör yöneticilerine ve araştırmacılara yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0 Teknolojileri, Engeller, Lojistik Sektörü, Bulanık Delphi Yöntemi

Abstract

Industry 4.0 technologies provide excellent opportunities to companies. However, it will not be easy for companies to adopt to these technologies due to the challenges they will encounter. While the opportunities presented by Industry 4.0 technologies for each industry, the barriers faced by businesses in the application of these technologies will also vary in the sectoral context. The main purpose of this study is to identify the barriers to the adoption and implementation of Industry 4.0 technologies in the logistics sector and to reveal their degree of importance. After the literature review and expert opinions, a total of 32 barriers were determined under 5 basic dimensions for the logistics sector. Then, as a result of the analysis through the fuzzy Delphi method, it was seen that the weight value of 14 barriers was higher than the average and these selected barriers are discussed. According to the findings of the research, the three most important barriers are determined respectively as "The lack of awareness of the top management about Industry 4.0", "Lack of digital strategy" and "Lack of methodology in the application". This research contributes to filling an essential gap in the literature, as it is one of the first studies to examine the obstacles to adopting Industry 4.0 technologies in the context of the logistics sector. In addition, this paper also ensures originality in terms of the method. The findings obtained as a result of the research will guide the logistics sector managers and researchers who want to apply industry 4.0 technologies.

Keywords: Industry 4.0 Technologies, Barriers, Logistics Sector, Fuzzy Delphi Method

¹ Öğr. Gör. Dr., Düzce Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, İşletme Yönetimi Programı, sinancikmak@duzce.edu.tr, Orcid: 0000-0002-4704-3409

² Dr. Öğr. Üyesi, Düzce Üniversitesi, Akçakoca Meslek Yüksekokulu, İşletme Yönetimi Programı, ibrahimyazgan@duzce.edu.tr, Orcid: 0000-0002-8614-6582

Makale Türü: Araştırma Makalesi – Geliş Tarihi: 03.05.2023 – Kabul Tarihi: 21.09.2023

DOI:10.17755/esosder.1292090

Atf için: *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 2023;22(88):2065-2086

1. Giriş

Küresel tedarik zincirlerinin etkisi, ürün yaşam döngülerinin azalması, karmaşık ve akıllı ürünlerin ortaya çıkması ve müşteriye özel ürün ve hizmetlerin sunumu şirketleri, daha esnek ve daha hızlı organizasyonlar olmaya itmektedir. Bu organizasyonların özellikle üretim birimlerindeki artan otomasyon ihtiyaçları, yeni teknolojilerin geliştirilmesini ortaya çıkarmıştır. Bu teknolojilerin tamamına Endüstri 4.0 teknolojileri veya bu endüstriyel değişime 4. Endüstri devrimi ismi verilmiştir. Ortaya çıkan bu Endüstri 4.0 konsepti, siber-fiziksel sistemler (CPS), nesnelerin interneti (IoT), hizmetlerin interneti (IoS), robotik, büyük veri, bulut sistemler ve artırılmış gerçeklik ile ilgili bir dizi gelecekteki endüstriyel gelişmeyi kucaklayan yeni bir şemsiye terimdir. Bu teknolojiler, bağımsız olarak bilgi alışverişi yapabilen, eylemleri tetikleyebilen ve birbirini kontrol edebilen akıllı bir üretim ortamı geliştirilmesini içerir (Pereira ve Romero, 2017, s.1207). Endüstri 4.0 teknolojileri, daha yüksek düzeyde operasyonel verimlilik ve üretkenliğin yanı sıra daha düşük maliyet sağlayacak yüksek yoğunlukta otomasyonu amaçlamaktadır. İşletmelerin rekabetçi kalabilmeleri ve başarılarını sürdürülebilir kılmaları için Endüstri 4.0 teknolojilerini süreçlerine dahil etmeleri giderek önemini artırmaktadır (Bigliardi vd., 2021, s.4).

Endüstri 4.0 teknolojileri büyük faydaları nedeniyle son yıllarda akademisyenlerin ve endüstriyel uygulayıcıların ilgi odağı haline gelmiştir (Frank vd., 2019, s.2). Ancak organizasyonların Endüstri 4.0'a geçebilmeleri ve Endüstri 4.0 teknolojilerini işler hale getirebilmeleri için önlerinde aşmaları gereken birtakım engeller bulunmaktadır. Yürütülen güncel çalışmalara bakıldığında çeşitli yöntemler kullanılarak Endüstri 4.0 engellerinin incelendiği görülmektedir. Örneğin, Raj vd. (2020) gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler bağlamında imalat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasının önündeki engelleri ve aralarındaki ilişkiyi gri-DEMATEL yöntemi aracılığıyla değerlendirmiştir. Stentoft vd. (2021), Danimarka'daki küçük ve orta ölçekli üreticilerin dijitalleştirilmiş üretime hazır olma durumları, bu alandaki fiili uygulamaları ve engelleri araştırmak için anket verilerine dayalı bir çalışma yürütmüşlerdir. Majumdar vd. (2021) makalelerinde, Hindistan tekstil ve giyim sektöründe Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ve uygulanmasının önündeki engelleri yorumlayıcı yapısal modelleme (ISM) yöntemini kullanılarak tanımlanmış ve analiz etmişlerdir. Nimawat ve Das Gidwani (2022), Hindistan imalat firmaları üzerinde yürüttükleri deneysel anket çalışmasında Endüstri 4.0'ın önündeki zorluklar ve aralarındaki ilişkiler Spearman korelasyonu ve Kruskal Wallis analizleri ile incelemişlerdir. Senna vd. (2022), Portekiz imalat endüstrisi bağlamında Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki engelleri belirlemek ve aralarındaki ilişkileri ortaya koymak için ISM yöntemini kullanmışlardır. Ardından kök engelleri belirlemek için MICMAC analizine başvurmuşlardır. Fernonda vd. (2022), Endonezya imalat tedarik zincirlerinde Endüstri 4.0'ın benimsenmesindeki engelleri 173 küçük ve orta ölçekli imalat firmasından alınan anket verilerini yapısal eşitlik modeli kullanılarak test etmişlerdir. Chauhan vd. (2021) makalelerinde dijitalleşmenin önündeki içsel ve dışsal engellerin firmalar tarafından Endüstri 4.0'ın benimsenmesini nasıl etkilediğini değerlendirmek için 143 imalat şirketinden elde ettikleri anket verilerini yapısal eşitlik modelleme tekniği kullanılarak analiz etmişlerdir.

Yukarıda görüldüğü üzere literatürde, Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki engellerin incelendiği birçok araştırma bulunmaktadır. Daha önce yapılan bu çalışmalarda sıklıkla anket yönteminin kullanıldığı ve üretim işletmelerine yönelik deneysel uygulamaların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Ancak, lojistik sektörü bağlamında engellerin incelendiği bir çalışmayla karşılaşılmamıştır. Şüphesiz işletmelerin ayrılmaz bir parçası ve tüm tedarik zinciri operasyonlarının bel kemiği olan lojistik, Endüstri 4.0'dan etkilenmesi kaçınılmazdır (Efthymiou ve Ponis, 2021, s.2). Bu nedenle, Endüstri 4.0 teknolojilerinin önemli ölçüde rekabet avantajı sağlayacağı sektörlerden biri olan lojistik sektöründe yapılması

araştırmanın önemini arttırmaktadır. Ayrıca, fabrikalarda başlayan Endüstri 4.0 dönüşümünün lojistik sektörünü de içine alması, olgunluk düzeyine ulaşılmasına katkı sağlayacaktır (Kagerman vd., 2011). Bu çalışmada öncelikle literatürdeki Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesi ve uygulanmasının önündeki engeller incelenmiş daha sonra literatürdeki boşluğun doldurulması amacıyla lojistik sektörünü ilgilendiren başlıca engeller, uzman görüşleri alınarak bulanık Delphi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bulanık Delphi yöntemi, belirsizliğin olduğu ve farklı görüşlerin bulunduğu bir konuda uzmanların fikirlerini alarak tahminlerin daha doğru hale getirilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemde, belirsizliği ele almak için bulanık mantık kullanılır. Böylece istatistiksel sonuçlar üzerinden daha objektif değerlendirme sonuçları elde edilir (Hsu vd., 2010, s.420). Sonuç olarak, yürütülen çalışma hem konusu hem de kullanılan yöntem bakımından orijinaldir. Araştırmada elde edilen sonuçlar Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamak isteyen lojistik yöneticilerine, konuyla ilgili araştırma yapan akademisyenlere ve politika yapıcılara yol gösterici olacaktır.

2. Literatür Taraması

Bu bölümde Endüstri 4.0'ın lojistik sektörü için neler getirdiğine ilişkin literatür genel bir değerlendirmeye sunulduktan sonra lojistikte Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki engeller tartışılmıştır.

2.1. Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörü

Endüstri 4.0 kavramı ilk kez 2011 yılında Almanya da Hannover Fuarı'nda ortaya atılmıştır. Daha sonra, 2013 yılında Alman Hükümeti bu kavramı üretim endüstrisinde devrim yapacak stratejik bir girişim olarak duyurmuştur (Raj vd., 2020; Xu vd., 2018). Günümüzde ise, Endüstri 4.0 kavramı bilim ve iş dünyasında hatta hükümetler nezdinde önemli ölçüde önem kazanmıştır. Endüstri 4.0 temel bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Bu paradigma yeni iş modellerini ve çevrimiçi hizmetleri mümkün kılacak bireyselleştirilmiş kitlesel üretime yöneliktir (Gabriel ve Pessl, 2016). Endüstri 4.0, modern üretim dünyasında siber-fiziksel sistemlerin kullanımıyla dördüncü endüstriyel bir devrim olarak değerlendirilmektedir (Gedik, 2021). Endüstri 4.0, işletmelere dijital dönüşüm ile maliyetleri düşürme ve yeni iş fırsatları elde etme konusunda benzersiz iş modelleri önermektedir (Senna vd., 2022). Başlıca özellikleri ise, üretimin dijitalleştirilmesi, optimizasyonu ve özelleştirilmesi, otomatik veri değişimi ve iletişimi, insan ve makine arasında etkileşimin artırılması ve katma değerli hizmetlerdir (Efthymiou ve Ponis, 2021, s.2).

Lojistik alanında Endüstri 4.0 uygulamalarının yoğunlaşması, lojistiğin 4. devrimi hatta Lojistik 4.0 şeklinde ifade edilmektedir (Winkelhaus ve Grosse, 2019). Akıllı lojistik olarak da isimlendirilen Lojistik 4.0, makineler ve insanlar arasında gerçek zamanlı iletişim sağlayan internet kullanımının artması ve ileri dijitalleşme gibi teknolojik uygulamalar ile kendini göstermektedir. Bahse konu olan teknolojik uygulamalar beş alt başlıkta toplanabilir; 1) Tedarik zincirinde esnekliği ve çevikliği sağlayacak siber-fiziksel sistemler (CPS) 2) RFID sensörleri ile gerçek zamanlı otonom depo yönetim sistemleri, 3) GPS ve nesnelerin interneti ile ulaşım yönetim sistemleri, 4) Akıllı ulaşım sistemleri ve 5) Bütün verinin korunması için bilgi güvenlik sistemleri (Barretto vd., 2017, s.1248-1250). Facchini vd. (2020), lojistiği; satın alma lojistiği, üretim lojistiği, dağıtım lojistiği ve satış sonrası lojistik olarak dört alt bileşende ele alarak Endüstri 4.0'ın bu süreçlerde yapısal özelliklerinden bahsetmişlerdir. Tüm süreçlerde Endüstri 4.0 uygulamaları ile veri analizi ve malzeme taşıma, insandan bağımsız olarak daha etkin olarak gerçekleştirilebilecektir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin lojistiğe yansımaları ile envantere, teslimat sürelerinde ve hasarlarda önemli ölçüde bir azalma görülecektir. Ayrıca lojistik işletmelerin ana kaygısı olan, güvenilir ve doğru veri toplama, işleme ve analiz etme

gibi çeşitli lojistik faaliyetlerde yüksek derecede performans sağlanacaktır (Bigliardi vd. 2021, s.4).

2.2. Lojistik Alanında Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Uygulanmasının Önündeki Engeller

Literatürde daha çok Endüstri 4.0'ın önündeki engellerin incelendiği görülmüştür. Endüstri 4.0'ın önündeki engeller aynı zamanda lojistik alanındaki engeller ile benzerlik gösterecektir. Ayrıca Endüstri 4.0'ın kritik başarı faktörlerinin de eksikliği Endüstri 4.0 uygulamalarının en önemli engelleri olacağı öngörülmektedir. Alan yazında ilgili araştırmalara bu açıdan bakılarak lojistik alanında ki engeller belirlenmeye çalışılmıştır.

Lojistik alanında Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasının önündeki engeller birkaç açıdan incelenebilir. Bu engeller; stratejik (örneğin standartlaştırılmış uygulamaların olmaması), ekonomik (örneğin yüksek uygulama maliyetleri), teknolojik (örneğin eski kalmış altyapılar), kültürel (örneğin şirket kültürünün yeni teknolojilere hazır olmaması) ve güvenlik problemleri şeklinde sınıflandırılabilir (Perotti vd., 2022, s.200). Kumar vd. (2021a) ise bu engelleri benzer şekilde beş ana boyutta ele almıştır. Bunlar; stratejik engeller, organizasyonel engeller, teknolojik ve altyapı engelleri, yasal engeller ve sosyo-kültürel engellerdir.

Khan vd. (2022, s.7) çalışmalarında, Lojistik 4.0 adaptasyonunda kritik başarı faktörlerini inceleyerek on adet kriterler belirlemişlerdir. Bu kriterler; teknolojik altyapı, güven ve işbirliği, bilgi aktarımı, analitik yeteneklerin geliştirilmesi, akıllı çalışma ortamı, Lojistik 4.0 inisiyatiflerini kurumsal stratejiyle uyumlu hale getirme, üst yönetim desteği, araştırma ortamı, Lojistik 4.0'a yatırım yapma isteği ve eğitim ve öğretimdir.

Sah vd. (2021, s.5) lojistikte Endüstri 4.0 uygulamalarından olan dron kullanımının engellerini sınıflandırmışlardır. Ana başlıklar incelendiğinde; güvenlik ve gizlilik problemleri, yönetmelikler, halkın algısı, çevresel sorunlar, ekonomik ve teknik problemlerin altında diğer engellerin toplandığı görülmektedir. Aygün ve Satı (2022, s.246) ise KOBİ'lerin Endüstri 4.0 dönüşüm engellerini; sınırlı finansal kaynaklar, dijital strateji eksikliği, Endüstri 4.0 konusunda bilgi ve farkındalık eksikliği, nitelikli işgücü eksikliği ve eğitimi, mevzuat eksikliği, örgütsel direniş, dijital teknolojilerin operasyonel kullanım eksikliği, bilişim teknolojilerinde güvenlik sorunları şeklinde sıralamışlardır.

Senna vd. (2022, s.3) ise Endüstri 4.0 engellerini teknoloji, organizasyon ve çevre olarak üç ana faktör altında toplamıştır. Araştırmacılar strateji, kültür ve işgücü kriterlerini alt boyut olarak organizasyon faktörü altında değerlendirmiştir. Çevre faktörü ise işletmelerin diğer organizasyonlar ile ilişkileri ve yasal düzenlemeleri içermektedir. Teknoloji faktörü ise altyapı, ağ ve veri ile ilgili boyutları içine alır. Javaid vd. (2022) benzer şekilde 22 engeli üç boyutta ele almışlardır. Bunlar ise teknolojik engeller, yönetsel engeller ve sosyal engeller şeklindedir.

Yukarıda farklı şekillerde sınıflandırılan engeller araştırmamızda 5 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar; tepe yönetim kaynaklı engeller, ekonomik engeller, teknolojik engeller, organizasyonel engeller ve yasalar, güvenlik ve gizlilik engelleridir. Aşağıda bu ana kriterler tek tek incelenecektir.

Tepe Yönetim Kaynaklı Engeller: Lojistik işletmelerde Endüstri 4.0 uygulamalarının önündeki en önemli engel tepe yönetimin konu hakkındaki farkındalık eksikliğidir. Endüstri 4.0 uygulamalarının işletmelere büyük faydalarının farkında olamamak gelecekte telafi edilemeyecek kayıplara neden olacaktır (Geissbauer vd., s.2016). Bütün alanlarda akıllı dönüşüm başlamıştır. Bu değişime ayak uyduramayan işletmeler gelecekte başarılarını kaybedeceklerdir. Bu bağlamda firma yöneticilerinin dijital bir vizyon belirleyememeleri işletmelerini diğer işletmelere nazaran geride bırakacaktır. Yani işletmeler Endüstri 4.0

uygulamaları ile nasıl rekabet avantajı kazanılabileceğini araştırmalıdır (Ghobakhloo, 2018, s.926). Endüstri 4.0 projelerinde en büyük itici güç üst yönetimin organizasyona desteğidir. Bu desteğin eksikliği Endüstri 4.0'ın önündeki en kritik engeldir (Jabbour vd., 2018, s.21). Endüstri 4.0'ın büyük faydalarına rağmen bu teknolojileri başarı ile uygulamış lider firmaların az sayıda olması da tepe yönetimin yatırım kararlarını etkilemektedir (Basl, 2017, s.6).

Ekonomik Engeller: İşletmeler için Endüstri 4.0 uygulamaları teknolojik ve altyapı maliyeti yüksek yatırımlardır (Khan vd., 2022, s.2). Endüstri 4.0 yatırımları, maliyetleri azaltarak finansal iyileştirmeler sağlayabilir. Fakat yatırım maliyeti ve yatırımın geri kazanılması gibi finansal kriterlerin uzun dönemde belli olması ve bu kriterlerin ölçüm zorluğu Endüstri 4.0'ın önündeki önemli engeli teşkil ediyor (Sharma vd., 2020, s.4). Ekonomik engellere yaklaşım firma büyüklüğüne göre farklılık gösterebilir. KOBİ'ler yeni dijital teknolojileri öncelikle maliyetleri azaltmak için değil, diğer zorluklarla (örneğin insan kaynaklarının eksikliği gibi problemlerle) başa çıkmak için kullanırlar. Kârlılık beklentileri daha düşüktür ve yönetim hedeflerini karşılamak için daha düşük getirili projeler üstlenirler. Çok uluslu şirketler ise daha çok bu teknolojilere, yüksek düzeyde maliyet azaltma ve karlılığı yükseltme amacı ile yaklaşır (Horváth ve Szabó, 2019, s.128). Endüstri 4.0 teknolojilerinin kesintisiz ve etkili bir şekilde çalışması için belli bir işletim maliyetini göze almak gerekmektedir. Bu maliyetler, uzman kişilere ödenen ücretler, bakım maliyetleri ve çalışanların sistemi öğrenmek için aldıkları eğitim masraflarını içermektedir (Özçelik ve Çankaya, 2022, s.132). Ayrıca, bu teknolojilerin üretim ortamında başarılı bir şekilde kullanılması, sistemlerin entegrasyonu ve verilerin doğru şekilde işlenmesi için her işletmeye özel bir çözüm gerekir. Bu da Endüstri 4.0 teknolojilerinde hazır çözümlerin eksikliği nedeniyle maliyetleri artıran bir unsurdur (Barros vd., 2017, s.7).

Teknolojik Engeller: Endüstri 4.0 teknolojileri internet tabanlı makinelerin yoğun sensörler ile iletişim sağladığı siber fiziksel sistemleri içerir. Bu sistemlerin hatasız çalışması için internet alt yapısı çok önemlidir. Yetersiz internet alt yapısı bu teknolojiler için önemli bir engeldir (Luthra vd., 2018). Endüstri 4.0 teknolojileri yeni sistemler olduğundan işletmelerin mevcut bilgi teknoloji alt yapısı ile uyum sağlayamayabilir. Ayrıca yeni sistemleri süreçlerde uygulamak için operasyonel kullanım tecrübesi de gereklidir (Perotti vd., 2022). Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamadan önce sistemin modellenmesini ve gerçeğe yakın montaj süreçlerinin anlaşılmasını sağlayacak simülasyon programlarının eksikliği, teknolojik engellerden sayılabilir (Javaid vd., 2022). İşletmelerde hem kendi içinde hem diğer işletmeler ile bilgi teknolojilerinin entegrasyon sorunları, Endüstri 4.0 teknolojilerini üreten firmalar arasında standartların olmaması, gerçek zamanlı büyük veri yönetimi için güçlü bilgi teknolojileri ve iletişim altyapılarının olmaması da işletmeler için teknolojik engellerdir (Senna vd., 2022). Ayrıca büyük hacimli verilerden değerli bilgilerin çıkarılması problemi de uzman yazılımları gerektirmektedir (Khan ve Turowski, 2016, s.19).

Organizasyonel Engeller: Bu engeller işletmenin kendi insan kaynağı ile ilgili olabildiği gibi diğer işletmelerle arasındaki işbirlikleri ile ilgili de olabilir (Oesterreich ve Teuteberg, 2016). Endüstri 4.0 teknolojilerinin en başta işletmelerin iş süreçlerinde değişimlere neden olması kaçınılmazdır. Bu değişimlere şirket kültürünün uyum sağlayamaması önemli bir engeli teşkil eder (Basl, 2017). Değişimin başarılı şekilde gerçekleştirilmesi uzman, tecrübeli ve nitelikli personel ile mümkündür (Pourmehdi vd., 2022). İşletmede değişen iş pozisyonları ve azalan insan kaynağının yönetimi de bir engeldir (Kamble vd., 2018). Endüstri 4.0 teknolojilerinin işgücünü azaltacak olması çalışanlarda olası bir motivasyon kaybını beraberinde getirecektir (Javaid vd., 2022). Endüstri 4.0 teknolojileri tam entegrasyon ile verimli çalışabilir buda verinin tedarik zinciri boyunca doğru ve tam zamanlı aktarılmasını gerektirir. Bu durumda işletme tedarikçileri ve dağıtıcıları arasında güven ve işbirliği eksikliği olmaması gerekecektir (Ozkan-Ozen vd., 2020). Ayrıca firmalar arası bilgi sistemlerinin

entegrasyonu açısından tek tip standartların ve normların olmaması da engellerden sayılabilir (Senna vd., 2022).

Yasalar, Güvenlik ve Gizlilik Engelleri: Endüstri 4.0 teknolojileri anlık veri paylaşımı ile çalışabildiği için verilerin sürekli kayıt altına alınması, ilgili sistemlere aktarılması, depolanması ve güvenliğinin sağlanması gerekir. Bu sistemlerde depolanan verinin internet ortamı ile erişilebilir olması verilerin ele geçirilmesi ve kötü amaçlı kullanımını ortaya çıkarabilir. Bununla birlikte sürekli artan verinin depolanma sorunu ve verilerin sahipliğinin tartışılması da Endüstri 4.0 teknolojilerinin engelleri arasındadır (Alan vd., 2018, s.308). Endüstri 4.0 teknolojileri, iş ağlarında özgürce iletişim kurmak için özellikle veri aktarımında, küresel standartlara ve veri paylaşım protokollerine ihtiyaç duyar (Luthra ve Mangla, 2018, s.171). Birlikte çalışabilirlik düzeyinin nesnelere interneti ile artması, sistemlerin yalnızca teknik olarak değil uygulama düzeyinde de iletişim kurabilmesini gerektirir. Bu iletişim, küresel standartların ve veri paylaşım protokollerinin başarısı için oldukça önemlidir (Rajput ve Singh, 2021, s.1725).

Endüstri 4.0 teknolojilerinin önündeki başka bir engelde vergi indirimi, eğitim ve finans gibi konularda devlet desteğinin yetersiz olmasıdır. Hükümet ve endüstri aktörleri, sübvansiyon ve vergi indirimleri ile Endüstri 4.0 için destekleyici ulusal politikalar oluşturarak etkileşime girmeli ve böylece girişimcilerin kafasındaki başarısızlık korkusunu ortadan kaldırmalıdır. Üniversiteler, Endüstri 4.0'ı çevreleyen mitleri ve korkuları ortadan kaldırmak ve Endüstri 4.0'ın gerçek faydalarını ortaya çıkarmak için bağımsız araştırmalar yapmalıdır. Devletler, beceri programları ile itici güç sağlamalı ve Endüstri 4.0 için bir yol haritası belirlemelidir (Glass vd., 2018, s.987-988; Majumdar vd., 2021, s.8).

İnsan-makine etkileşimi ve entegrasyonu yeni kanunlarının çıkarılmasını gerektirir. BT (Bilgi Teknolojileri) güvenliği, siber güvenlik ve sanal bir organizasyonun varlığı kuruluşların sanal kısmını tanımlanabilir olarak kabul eden yasaları ister. Bu yasal ve sözleşmeye dayalı güvencelerin olmaması veya yasal boşluklar Endüstri 4.0 teknolojilerinin önündeki hukuksal engelleri oluşturmaktadır (Senna vd., 2022, s.4).

Tablo 1. Lojistik Sektöründe Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanımının Önündeki Engeller

Ana Kriterler	Kodlar	Alt-Kriterler	Referanslar
Tepe yönetim kaynaklı engeller	TYÖ1	Tepe yönetimin Endüstri 4.0 hakkında farkındalığının olmaması	(Geissbauer vd., 2016)
	TYÖ2	Üst yönetim desteğinin eksikliği	Jabbour vd. (2018)
	TYÖ3	Endüstri 4.0'ın faydalarının bilinmemesi	Ghobakhloo (2018)
	TYÖ4	Uygulamada metodoloji eksikliği	Eğilmez ve Koca (2018)
	TYÖ5	Uygulamada örnek olabilecek lider firma eksikliği	Basl (2017)
	TYÖ6	Dijital strateji eksikliği (Stratejik bir yol haritasının olmaması)	Ghobakhloo (2018)
Ekonomik engeller	EKO1	Endüstri 4.0 teknolojilerinin yatırım maliyetinin yüksek olması	Khan vd. (2022)
	EKO2	Yatırımın geri kazanımının belirsiz/uzun olması	Sharma vd. (2020)
	EKO3	Uygun maliyetli ve kullanıma hazır çözümlerin olmaması	Barros vd. (2017)
	EKO4	Yüksek işletim maliyeti	Özçelik ve Çankaya (2022)
Teknolojik engeller	TEK1	Dijital teknolojilerin operasyonel süreçlere uyum problemlerinin olması	Perotti vd. (2022)
	TEK2	Eski bilişim altyapısının Endüstri 4.0 teknolojilerine uygun olmaması	Perotti vd. (2022)
	TEK3	Yetersiz internet altyapısı	Luthra vd. (2018)
	TEK4	Endüstri 4.0 simülasyon programlarının eksikliği	Javaid vd. (2022)
	TEK5	İç ve dış bilgi teknolojilerinin entegrasyon sorunları	Senna vd. (2022)
	TEK6	Endüstri 4.0 teknolojilerini üreten firmalar arasında standartların olmaması	Senna vd. (2022)
	TEK7	Nesnelerin interneti için güçlü bilgi teknolojileri ve altyapılarının olmaması	Senna vd. (2022)

	TEK8	Büyük hacimli verilerden değerli bilgilerin çıkarılması problemi	Khan ve Turowski (2016)
	ORG1	Şirket kültürünün Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmaya uygun olmaması	Basl (2017)
	ORG2	Değişimi yönetecek uzman yönetici ve nitelikli işgücü eksikliği	Pourmehdi vd. (2022)
	ORG3	Tedarik zincirinde firmalar arası bilgi teknolojileri (BT) sistemlerinin entegrasyonu açısından güven ve iş birliği eksikliği	Ozkan-Ozen vd. (2020)
Organizasyonel engeller	ORG4	Yeniliğe karşı örgütsel isteksizlik ve direnç	Kumar vd. (2021b)
	ORG5	Firmalar arası BT sistemlerinin entegrasyonu açısından tek tip standartların ve normların olmaması	Senna vd. (2022)
	ORG6	İşçilerin işten çıkarılma endişelerinin operasyonel süreçlere olumsuz etkisi	Javaid vd. (2022)
	ORG7	İşgücünün azaltılması ve azalan işgücünün planlanma problemi	Kamble vd. (2018)
	ORG8	Yeni teknolojilerin uygulanması ile tüm organizasyonun yeniden tasarlanmasındaki zorluklar	Oesterreich ve Teuteberg (2016)
	YGG1	Veri güvenliği/ Veri mülkiyeti sorunu	Alan vd. (2018)
	YGG2	Uluslararası standartların ve veri paylaşım protokollerinin eksikliği	Rajput ve Singh (2021), Luthra and Mangla (2018)
	YGG3	Endüstri 4.0 için vergi indirimi, eğitim ve finans gibi konularda devlet desteğinin/teşviğinin yetersizliği	Glass vd. (2018)
Yasalar, Güvenlik ve Gizlilik Engelleri	YGG4	Devlet kurumlarının geleneksel iş fonksiyonlarını daha akıllı süreçlere dönüştürecek olan Endüstri 4.0 için bir yol haritasının olmaması	Majumdar vd. (2021)
	YGG5	İnsan-makine etkileşimi ve giderek artan bu bütünleşme ile ilgili yasal düzenlemelerin olmaması	Senna vd. (2022)
	YGG6	Endüstri 4.0 ile sanallaşan işletmenin yasal ve sözleşmeye dayalı güvencelerinin olmaması	Senna vd. (2022)

2.3. Araştırma Literatürü

Sektörleri dönüştürebilecek bir güç olan Endüstri 4.0 teknolojilerin benimsenmesinde fırsatlardan yararlanabilmek için karşılaşılabilecek engellerin yönetilebilmesi gerekmektedir. Bunun için engellerin tanımlanması ve değerlendirilmesi önemli bir rol oynamaktadır. Literatür incelendiğinde, Endüstri 4.0 teknolojilerinin işletmelerde uygulanmasının önündeki engellerin araştırıldığı çeşitli çalışmalarla karşılaşılmaktadır.

Stentoft vd. (2021), yaptıkları çalışmada, Danimarka'da çeşitli imalat sektörlerinde faaliyet gösteren 190 küçük ve orta ölçekli işletme yöneticilerinden elde ettikleri anket sonuçlarını analiz ederek Endüstri 4.0 teknolojilerine yönelik itici güçler ve engellere ilişkin algıların, bu teknolojilerle etkileşime girmeye hazır olma durumlarını nasıl etkilediğini analiz etmişlerdir. Chauhan vd. (2021) çalışmalarında 143 imalat şirketinden elde ettikleri anket verilerini kullanarak Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin önündeki içsel ve dışsal engellerin benimsenmeyi ne ölçüde etkilediğini ve bunların göreceli etkilerini ortaya çıkarmak için yapısal eşitlik modellemesinden yararlanmışlardır. Fernonda vd. (2022), Endonezya imalat tedarik zincirlerinde Endüstri 4.0'ın benimsenmesindeki engelleri öncelikle nitel çalışmaya dayalı olarak tematik analizde dokuz ana engel belirlemişlerdir. Ardında 173 küçük ve orta ölçekli imalat firmasına anket uygulayarak elde ettiği verileri yapısal eşitlik modeli ile analiz etmişlerdir. Analiz sonuçları 5 ana engelin doğrulandığını göstermiştir. Prause (2021) anket verileri aracılığıyla küçük ve orta ölçekli Japon imalat firmalarının Endüstri 4.0'ı benimsemesindeki zorlukları incelemiştir. Çalışma da Endüstri 4.0 için bir teknoloji benimseme modeli geliştirilmiş ve bu model 38 imalat şirketi ile ampirik olarak test edilmiştir. Majumdar vd. (2021) makalelerinde, Hindistan tekstil ve giyim sektöründe Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ve uygulanmasının önündeki engelleri ISM yöntemi kullanılarak tanımlanmış ve analiz etmişlerdir. Nimawat ve Das Gidwani (2022), Hindistan imalat firmaları üzerinde yürüttükleri deneysel anket çalışmasında Endüstri 4.0'ın önündeki zorluklar ve aralarındaki ilişkiler Spearman korelasyonu ve Kruskal Wallis analizleri ile incelemiştir. Jankowska vd. (2023) çalışmalarında işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında karşılaştıkları

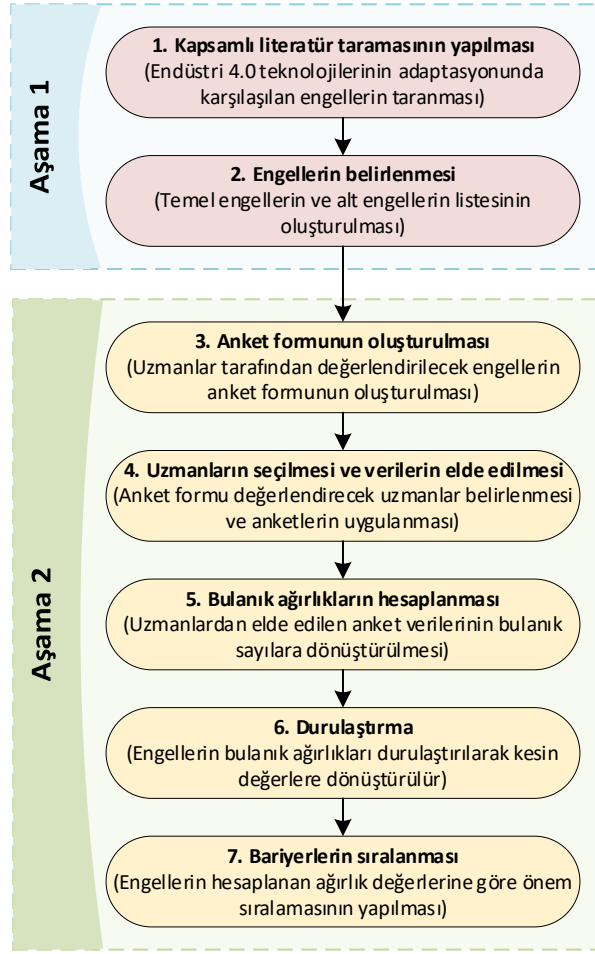
engelleri belirlemeye ve karakterize etmeye çalışmışlardır. Polonya'daki 400 üretim işletmesinden elde edilen anket verileri Ki-kare istatistikleri ve Kruskal-Wallis testi ile analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları en önemli engellerin, Endüstri 4.0 çözümlerinin uygulanmasıyla ilişkili idari süreçler ve sermaye harcamaları olduğunu göstermiştir.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların tümü ankete dayalı verilerin analizine dayana ampirik çalışmalar olduğu görülmektedir. Diğer yandan çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Mahmood vd. (2021) imalat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki psikolojik engelleri belirlenmesi, sıralanması ve aralarındaki ilişkilerin analizi için AHP, TOPSIS ve ISM yöntemlerine başvurmuşlardır. Karadayi-Usta (2019) çalışmasında, Endüstri 4.0'ın benimsenmesindeki engelleri belirlemek ve bu engellerin birbiriyle ilişkilerini analiz etmek amacıyla Bosch firmasında uzmanlarla görüşerek elde ettiği verileri ISM ve MICMAC yöntemlerinde yararlanarak analiz etmiştir. Raj vd. (2020) gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler bağlamında imalat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasının önündeki engelleri ve aralarındaki ilişkiyi gri-DEMATEL yöntemi aracılığıyla değerlendirmiştir. Çalışmanın bulguları kaynak yetersizliği ve dijital strateji eksikliğini hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ekonomilerde en belirgin engeller olarak ortaya çıkarmıştır. Senna vd. (2022), Portekiz imalat endüstrisi bağlamında Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki engelleri tanımlamak ve birbirleriyle olan ilişkileri ortaya koymak için ISM yöntemini başvurmuşlardır. Ardından kök engelleri belirlemek için MICMAC analizini kullanmışlardır. Standartlaşma ve hazır çözümlerin eksikliği ile ilgili engellerin temel engeller olduğu görülmüştür.

Literatürde, Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki engellerin incelendiği çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. Daha önce yapılan bu çalışmalarda anket yönteminin yoğun olarak kullanıldığı söylenebilir. Ayrıca araştırmalar sıklıkla üretim/imalat sektörüne yönelik yürütülmüştür. Diğer taraftan, tedarik zincirinin tüm unsurlarını kapsayan lojistik sektörü Endüstri 4.0 teknolojilerinden etkilenmesi kaçınılmazdır. Ancak, literatürde lojistik sektörü bağlamında engellerin incelendiği bir çalışmayla karşılaşılmaştır. Bununla birlikte çalışmada, belirsizliğin olduğu ve farklı görüşlerin bulunduğu bir konuda uzmanların fikirlerini etkin bir şekilde yansıtabildiği bulanık Delphi yönteminin kullanımı literatürdeki boşluğun doldurulmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. Araştırmanın Metodolojisi

Araştırma iki temel aşamadan oluşmaktadır. Şekil 1'de araştırmanın bu iki temel aşaması ve alt adımları gösterilmektedir. İlk olarak lojistik alanında Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki engellerle ilgili kapsamlı literatür taraması yürütülmüştür. Literatürde çok sayıda engelle karşılaşılması ve bu engellerin doğrudan lojistik sektörünü ilgilendirmemesi nedeniyle tedarik zinciri ve lojistik faaliyetleri konusunda tecrübeli iki uzmanla mülakat yapılmıştır. Uzmanlardan ilki otomotiv sektöründe yer alan ve 11 ülkede faaliyet gösteren bir işletmenin lojistik ve tedarik zinciri direktörü olarak görev yapmaktadır. Diğer uzman ise, lojistik ve depo yönetimi alanında faaliyet gösteren bir işletmede iş geliştirme ve pazarla direktörü pozisyonunda olup ve lojistik sektöründe 27 yıllık tecrübesi bulunmaktadır. Her bir uzmanla yapılan görüşme 50 dakikadan fazla sürmüştür. Uzmanlarla yapılan görüşmeler sonrasında lojistik sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımının önündeki temel engeller ve alt engellerin listesi Tablo 1'de gösterilen son şeklini almıştır. Ardından engellerin önem derecelerinin belirlenmesi amacıyla uzman yargılarının kullanıldığı bulanık Delphi yöntemi uygulanmıştır.



Şekil 1. Araştırmanın uygulama adımları

Geleneksel Delphi yöntemiyle karşılaştırıldığında bulanık Delphi yöntemi daha az sayıda örnek gerektirmektedir (Ma vd., 2011, s.1510). Noorderhaven (1995), bulanık Delphi yönteminin grup kararlarında uygulanmasının, uzman görüşlerine ilişkin ortak anlayışın belirsizliğini çözebileceğini belirtmiştir (Bui vd., 2020, s.4). Araştırmanın ikinci aşamasında bulanık Delphi yönteminin adımları uygulanarak Endüstri 4.0 teknolojilerinin önündeki engellerin önem sıralaması ortaya koyulmuştur.

3.1. Bulanık Delphi Yöntemi

Geleneksel Delphi yöntemi ilk olarak, Rand Corporation'da Dalkey ve Helmer tarafından 1950'lerde geliştirilmiştir (Hsu ve Sandford, 2007). Bir çeşit sistematik karar verme yöntemi olan geleneksel Delphi yönteminde, araştırma yapılan konuyla ilgili uzmanların görüşleri ve değerlendirmelerini alabilmek amacıyla, uzmanlara birbirinin devamı niteliğinde yöneltilen anket turlarıyla yürütülerek karmaşık konular hakkında ortak akıl oluşturmak amaçlanır (Linstone ve Turoff 1975; Hsu ve Sandford 2007). Delphi tekniği, üç temel özelliği olan uzman görüşüne dayalı bir araştırma yöntemidir. Bu özellikler: katılımda gizlilik, yinelemeli ve kontrollü geri bildirim ve grup tepkisinin istatistiksel analizidir (Hsu vd., 2010, s.419). Ancak, gerçek durumlarda, uzman yargılarını kesin nicel değerlere dönüştürmek mümkün değildir (Hsu vd., 2010, s.419). Ayrıca geleneksel Delphi yönteminin, uzman görüşlerinin tutarlılığını sağlamak için birden fazla ardışık anketlerin uygulanması ve uzmanlar arasında uzlaşmanın sağlanması için uzmanların görüşlerinin değiştirilmeye zorlanması gibi olumsuz yönleri bulunmaktadır (Ma vd., 2011, s.1509). Karar vermede insan düşüncesinin ve ifadesinin belirsizliğinin üstesinden gelmek için Zadeh tarafından Bulanık küme teorisi

geliştirilmiştir (Bouzon vd., 2016, s.188). Belirsizliğin yansıtılabilmesine izin veren ve nitel özellikleri korunabilmesini mümkün kılabilen bulanık küme teorisi, uzmanların dilsel tercihlerini insan tercihlerine dayalı nicel değerlere dönüştürmek için kullanılır (Bui vd., 2020, s.2). Ishikawa vd. (1993), geleneksel Delphi tekniği ve bulanık küme teorisinden türetilen bulanık Delphi yöntemini önermiştir. Bulanık küme teorisinin Delphi yöntemine entegrasyonu, uzmanlarla yapılacak görüşme sayısı ve araştırma süresi azalmıştır. Ayrıca uzmanların araştırma konusuyla ilgili değerlendirmeleri daha eksiksiz bir şekilde aktarılabilir (Bui vd., 2020, s.4). Uzmanların ortak anlayışındaki bulanıklık, bulanık küme teorisinden yararlanarak daha esnek bir ölçekte değerlendirilerek anketlerin etkinliği ve kalitesi artırılabilir. Böylece istatistiksel sonuçlar üzerinden daha objektif değerlendirme faktörleri elde edilir (Hsu vd., 2010, s.420).

Bahsedilen bu özellikler doğrultusunda çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinin önündeki engellerin önem sıralamasının belirlenebilmesi için uzman yargılarına dayalı bulanık Delphi yönteminden yararlanılmıştır. Bulanık Delphi yönteminin uygulama adımları aşağıda açıklanmaktadır (Hsu vd., 2010; Karam vd., 2021):

Adım 1. Engellerin belirlenmesi ve anketin oluşturulması: Yürütülen kapsamlı literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda lojistik sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasının önündeki engeller belirlenmiştir (Tablo 1). Daha sonra, uzmanların her bir engelin etki düzeyini değerlendirecekleri anket formu oluşturulmuştur. Bu anketin tasarımında Tablo 2’de gösterilen dilsel değişkenlerden yararlanılmıştır.

Tablo 2. Dilsel Değişkenler ve Bulanık Karşılıkları

Derece	Dilsel değişkenler	Bulanık sayılar
1	Çok az önemli	(0,0,0.1)
2	Az önemli	(0,0.1,0.3)
3	Biraz önemli	(0.1,0.3,0.5)
4	Çok önemli	(0.3,0.5,0.7)
5	Fazla önemli	(0.5,0.7,0.9)
6	Çok fazla önemli	(0.7,0.9,1.0)
7	Aşırı önemli	(0.9,1.0,1.0)

Adım 2. Anketlerle uzman görüşlerinin elde edilmesi: Hazırlanan anketi değerlendirmek üzere lojistik sektörden ve ilgili alan yazından n sayıda uzman davet edilmiştir. Ardından, her bir uzmandan elde edilen dilsel değerlendirme verisi Tablo 2’den yararlanılarak üçgensel bulanık sayıya dönüştürülmüştür. Bir üçgensel bulanık sayı, $\tilde{w}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ olarak tanımlanır. Burada, $i = 1, 2, \dots, n$ uzman sayısını, $j = 1, 2, \dots, m$ ise engel sayısını göstermektedir. Her bir \tilde{w}_{ij} ’nin, minimum değer (a_{ij}), en olası değer (b_{ij}) ve maksimum değer (c_{ij}) olmak üzere üç değeri bulunur. Engel j ’nin bulanık ağırlığı \tilde{w}_j aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tilde{w}_j = (a_j, b_j, c_j), \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Burada;

$$a_j = \text{Min}_i \{a_{ij}\}, \quad b_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ij}, \quad c_j = \text{Max}_i \{c_{ij}\} \quad (2)$$

Adım 3. Durulaştırma işleminin yapılması: Her bir engelin nihai ağırlığını (S_j) elde etmek için Hsu vd. (2010) tarafından önerilen basit ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak durulaştırma işlemi yapılır. Aşağıda gösterilen üyelik fonksiyonunun ağırlıklı ortalamasının hesaplanarak durulaştırmanın yapıldığı basit ağırlık merkezi yöntemi ölçülebilir bir sonuç

oluşturmada kullanılan en yaygın yöntemdir (Padilla-Rivera vd., 2021):

$$S_j = \frac{a_j + b_j + c_j}{3}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Adım 4. Önemli engellerin belirlenmesi: Bulanık Delphi yönteminin son aşamasında, her bir engelin ağırlık değeri belirlenen eşik değere (α) göre karşılaştırma yapılarak önemli engeller belirlenmiştir. Eşik değeri (α), tüm engellerin ağırlıklarının ortalaması ile hesaplanır:

$$\alpha = \frac{1}{m} \sum_j^m S_j \quad (4)$$

Ardından, aşağıdaki kurallar uygulanır:

- Eğer $S_j > \alpha$, ise j engeli önemli bir engel olarak nitelendirilebilir
- Eğer $S_j < \alpha$, ise j engeli önemsiz bir engel olarak nitelendirilebilir.

4. Uygulama

Endüstri 4.0 teknolojilerine adapte olmaya çalışan bir fabrikanın lojistik faaliyetlerinin de değişime uyum sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle, neredeyse tüm sektörlerde kritik rolü bulunan ve dinamik bir yapıya sahip olan lojistik sektörünün dijital değişime uyum sağlaması kaçınılmazdır. Lojistik sektöründeki firmalar taşımacılık, depolama, filo yönetimi, sipariş işleme, talep planlama gibi lojistik faaliyetlere Endüstri 4.0 teknolojilerini entegre ederek rekabet avantajı elde edeceklerdir. Literatüre göre, blokzinciri, simülasyon, siber-fiziksel sistemler, robotik, algılama, tanımlama, işleme ve iletişim sensör yeteneklerine sahip endüstriyel kablosuz ağlar (IWN) dahil nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim, büyük veri analitiği, artırılmış gerçeklik, yapay zekâ, makine öğrenimi, dijital ikizler, katmanlı üretim ve akıllı ürünler yakın gelecekte Endüstri 4.0 girişimlerinde önemli rol oynayacak teknolojilerdir (Efthymiou ve Ponis 2021, s.27). Ancak tüm dünyada uygulamaları olan ve aynı zamanda gelişim aşamaları devam eden bu teknolojilere adapte olmanın çeşitli zorlukları bulunmaktadır.

Tablo 3. Araştırmaya Katılan Uzmanların Bilgileri

Unvan	Deneyim	Sektör/Alan
Lojistik Uzmanı	13 yıl	Lojistik
Ürün Bölge Müdürü	6 yıl	Entegre Lojistik
Operasyon Uzmanı	4 yıl	Lojistik
Fiyatlandırma Uzmanı	4 yıl	Lojistik
Operasyon Uzmanı	4 yıl	Lojistik
Lojistik Uzmanı	5 yıl	Lojistik
Dr. Öğr. Üyesi	14 yıl	Ulaştırma ve Lojistik
Öğr. Gör. Dr.	9 yıl	Lojistik ve Tedarik Zinciri
İş Geliştirme ve Pazarlama Direktörü	27 yıl	Lojistik
Tedarik Zinciri Direktörü	19 yıl	Otomotiv sanayi
Muhasebe Uzmanı	5 yıl	Lojistik
Finansal Raporlama Süpervizörü	6 yıl	Lojistik
Fabrika Müdürü	9 yıl	Makine Yedek Parça
Lojistik Müdürü	17 yıl	Makine Yedek Parça

Bu engelleri tanımlamak, daha sonrasında uygun Endüstri 4.0 dönüşüm stratejilerinin geliştirilebilmesinde kritik öneme sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada, belirlenen Endüstri 4.0 teknolojilerinin önündeki kritik engellerin önem derecelerinin belirlenebilmesi için hazırlanan anket formu aracılığıyla lojistik faaliyetleri konusunda Tablo 3'te bilgileri verilen 14 uzman değerlendirilmelerine başvurulmuştur. Bulanık Delphi yönteminde ankete katılan uzman

sayısıyla ilgili bir sınırlama olamamakla birlikte birçok makalede daha az katılımcıyla uygulama yapılmıştır (Karam vd., 2021, s.8). Bu nedenle, mevcut çalışma için uzman sayısı ihtiyatlı bir şekilde yeterlidir. Uzman görüşlerine başvuru yöntemlerinde en önemli unsurlardan biri nitelikli uzmanların seçimidir (Padilla-Rivera vd., 2021, s.103). Ankete katılım sağlayan uzmanları 9'u lojistik sektöründe faaliyet gösteren kurumsal işletmelerde çeşitli pozisyonlarda beyaz yaka çalışanlar ve yöneticilerdir. Katılımcıların 2'si lojistik yönetimi bölümlerinde akademisyen olup, Endüstri 4.0 ve lojistik konularında akademik çalışmaları bulunmaktadır. Son olarak 3 uzman, otomotiv ve makine yedek parça sektörlerinde faaliyet gösteren işletmelerde lojistik ve tedarik zinciri konularında bilgi ve tecrübeye sahip orta kademe yöneticileridir. Uzmanlara yöneltilen ankette Tablo 1'de tanımlanan Endüstri 4.0 teknolojilerinin lojistik sektöründe uygulanmasının önündeki engellerin önem derecesi Tablo 2'de gösterilen dilsel değişkenlere karşılık gelecek derecelere göre puanlamaları istenmiştir. Elde edilen anket verilerine bulanık Delphi yönteminin uygulama adımları uygulanarak tüm engellerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Son olarak hesaplanan " α " eşik değerine göre engeller önem kategorisine ayrılmıştır. Bulanık Delphi yönteminin sonuçları Tablo 4'te ve Şekil 2'de gösterilmektedir.

Tablo 4. Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanımının Önündeki Engellerin Analiz Sonuçları

Engel Kategorileri	Kategori Ağırlıkları	Engeller	Bulanık Ağırlıklar			Durulaştırılmış Ağırlıklar (S_j)	Sıralama
			Min. (a_j)	Ort. (b_j)	Max. (c_j)		
Tepe yönetim kaynaklı engeller	0,6726	TYÖ1	0.1	0.72143	1.0	0.6071	7
		TYÖ2	0.3	0.82857	1.0	0.7095	1
		TYÖ3	0.0	0.72857	1.0	0.5762	16
		TYÖ4	0.3	0.73571	1.0	0.6786	3
		TYÖ5	0.0	0.65714	1.0	0.5524	24
		TYÖ6	0.3	0.78571	1.0	0.6952	2
Ekonomik engeller	0,6380	EKO1	0.1	0.78571	1.0	0.6286	5
		EKO2	0.1	0.72143	1.0	0.6071	7
		EKO3	0.0	0.66429	1.0	0.5548	22
		EKO4	0.3	0.73571	1.0	0.6786	3
		TEK1	0.1	0.67857	1.0	0.5929	13
		TEK2	0.0	0.67143	1.0	0.5571	20
Teknolojik engeller	0,6041	TEK3	0.0	0.59286	1.0	0.5310	29
		TEK4	0.0	0.60714	1.0	0.5357	28
		TEK5	0.1	0.70000	1.0	0.6000	11
		TEK6	0.1	0.72143	1.0	0.6071	7
		TEK7	0.1	0.75000	1.0	0.6167	6
		TEK8	0.0	0.68571	1.0	0.5619	19
Organizasyonel engeller	0,5916	ORG1	0.0	0.62857	1.0	0.5429	27
		ORG2	0.0	0.80000	1.0	0.6000	11
		ORG3	0.0	0.73571	1.0	0.5786	15
		ORG4	0.0	0.75000	1.0	0.5833	14
		ORG5	0.0	0.66429	1.0	0.5548	22
		ORG6	0.0	0.37857	0.9	0.4262	32
Yasalar, Güvenlik ve Gizlilik Engelleri	0,6048	ORG7	0.0	0.49286	1.0	0.4976	31
		ORG8	0.0	0.70000	1.0	0.5667	17
		YGG1	0.0	0.64286	1.0	0.5476	25
		YGG2	0.0	0.57143	1.0	0.5238	30
		YGG3	0.1	0.71429	1.0	0.6048	10
		YGG4	0.0	0.67143	1.0	0.5571	20
YGG5	0.1	0.60000	1.0	0.5667	17		
YGG6	0.0	0.63571	1.0	0.5452	26		

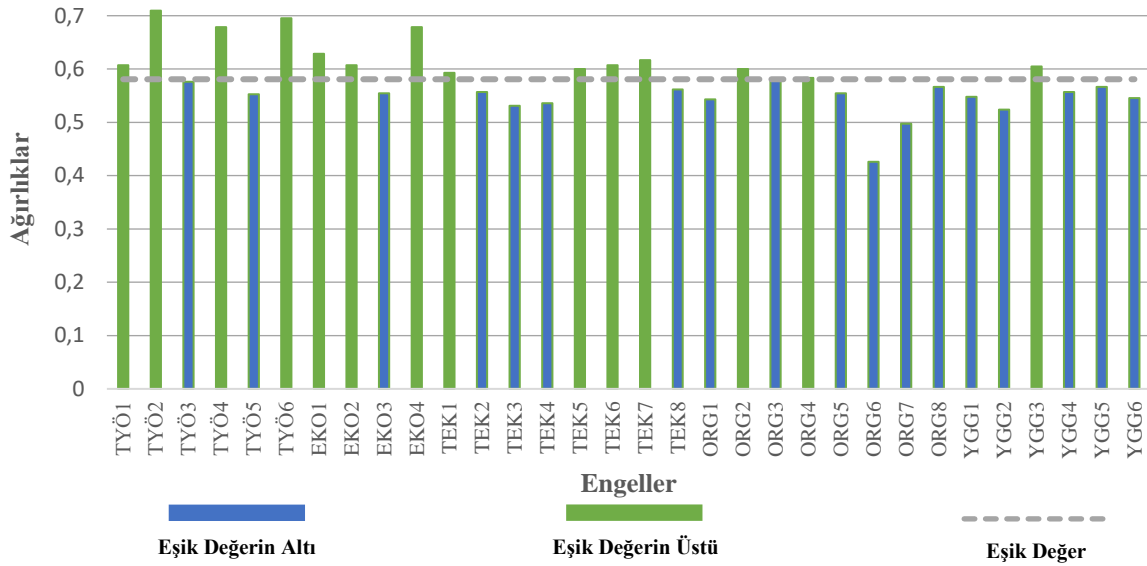
Eşik Değerler

0.0656

0.67991

0.9969

0.5808



Şekil 2. Eşik Değere Göre Engellerin Görünümü

5. Bulgular ve Tartışma

Araştırma kapsamında Endüstri 4.0 teknolojilerinin lojistik sektöründe uygulanmasının önündeki engeller incelenmiştir. Bulgulara bakıldığında 32 engelden Tablo 5.'de gösterildiği üzere eşik değerin (0.5808) üzerinde 14 öncelikli engelin olduğu görülmüştür. Bu engeller incelendiğinde, en önemli engelin (0.7095) ağırlık ortalaması ile “Üst yönetim desteğinin eksikliği” olduğu ve en düşük engelin ise (0,5833) ağırlık ortalaması ile “Yeniliğe karşı örgütsel isteksizlik ve direnç” olduğu görülmüştür. Bu 14 engelin ait olduğu üst kategoride, Tablo 4.’te gösterildiği gibi ağırlıkların ortalamaları alındığında sırası ile 1. Tepe yönetim kaynaklı engelleri (0,6726), 2. Ekonomik engeller (0,6380), 3. Yasalar, güvenlik ve gizlilik engelleri (0,6048), 4. Teknolojik engeller (0,6041) ve 5. Organizasyonel engeller (0,5916) olarak sıralanmıştır. Burada son üç ana engelin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Aşağıda Tablo 5.’te görüleceği üzere 7 ile 14 arası engeller birbirine çok yakın sonuçlar almıştır. Bu nedenle tartışmada üst kategorideki engellerin kıyaslanmasına da bakılacaktır.

Tablo 5. Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kullanımının Önündeki Öncelikli Engeller

Kısaltma	Engeller	Ağırlıklar	Sıralama
TYÖ2	Üst yönetim desteğinin eksikliği	0,7095	1
TYÖ6	Dijital strateji eksikliği (Stratejik bir yol haritasının olmaması)	0,6952	2
EKO4	Yüksek işletim maliyeti	0,6786	3
TYÖ4	Uygulamada metodoloji eksikliği	0,6786	3
EKO1	Endüstri 4.0 teknolojilerinin yatırım maliyetinin yüksek olması	0,6286	5
TEK7	Nesnelerin interneti için güçlü bilgi teknolojileri ve altyapılarının olmaması	0,6167	6
EKO2	Yatırımın geri kazanımının belirsiz/uzun olması	0,6071	7
TEK6	Endüstri 4.0 teknolojilerini üreten firmalar arasında standartların olmaması	0,6071	7
TYÖ1	Tepe yönetimin Endüstri 4.0 hakkında farkındalığının olmaması	0,6071	7
YGG3	Endüstri 4.0 için vergi indirimi, eğitim ve finans gibi konularda devlet desteğinin/teşviğinin yetersizliği	0,6048	10

ORG2	Değişimi yönetecek uzman yönetici ve nitelikli işgücü eksikliği	0,6000	11
TEK5	İç ve dış bilgi teknolojilerinin entegrasyon sorunları	0,6000	11
TEK1	Dijital teknolojilerin operasyonel süreçlere uyum problemlerinin olması	0,5929	13
ORG4	Yeniliğe karşı örgütsel isteksizlik ve direnç	0,5833	14

5.1. Tepe Yönetim Kaynaklı Engeller

Araştırma sonuçları, en önemli engelin üst yönetim desteğinin eksikliği olduğunu göstermektedir. Araştırma bulgularımıza benzer olarak Hindistan’da Sağlık 4.0 önündeki engelleri araştıran Ajmera ve Jain, (2019, s.140), birinci önemli engelin üst yönetim desteğinin eksikliği, ikinci önemli engelin ise ekonomik engeller olduğunu göstermiştir. İkisi beraber ele alındığında; Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamak ve sürdürülebilmek için kapsamlı bir başlangıç yatırımı lazımdır. Ayrıca, iş gücünün eğitimi ve destek sistemlerinin bakımı için de ek maliyetler gerekmektedir. Tüm bu önemli kararlar üst yönetim tarafından alınır. Üst yönetim destekleyici değilse, Endüstri 4.0’ın uygulanması başarılı olmayacaktır. Bu nedenle, lojistik işletmelerde öncelikle üst yönetimin Endüstri 4.0 teknolojilerinin önemini anlaması esastır. Ayrıca tepe yönetim kaynaklı engellerden “Tepe yönetimin Endüstri 4.0 hakkında farkındalığının olmaması” engeli analizlerde 7. sırada görülmüştür. Tepe yönetim Endüstri 4.0 uygulamaları ile lojistik sektöründe daha iyi konuma geleceğinin farkında olması ilk aşamada düşünülmelidir. Sonrasında ise stratejik bir yol haritası ortaya çıkarılarak yatırım kararı alınacaktır. Üst yönetimin yatırım kararı ile beraber uygulamada sürekli değişimin arkasında durması gerekecektir. Benzer şekilde Raj vd. (2020) “İmalat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki engeller” isimli çalışmasında en önemli engelin dijital strateji eksikliği olduğunu gözlemlemiştir. Yöneticilerin, Endüstri 4.0’a geçişi kolaylaştırmak ve kaynaklara yapılan yatırıma rehberlik etmek için yol haritaları oluşturmaları ve stratejik planlama yapmaları daha başarılı sonuçlar almalarını sağlayacaktır.

Eğilmez ve Koca (2018, s.1533) sürdürülebilir tedarik zinciri için Endüstri 4.0 engellerinin sıralamasında en önemli ana engelin örgütsel güçlükler olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca bulgularda engeller; örgütsel, teknolojik, yasal ve etik, stratejik güçlükler şeklinde sıralanmıştır. Örgütsel Güçlükler boyutunun altındaki engellere bakıldığında “yetersiz yönetim desteğinin varlığı” bulgularımızdaki birincil engel olan “tepe yönetim engeli” ile paralellik göstermektedir. Khan vd. (2022, s.10) ise lojistik alanında Endüstri 4.0 uygulamalarının önündeki ilk iki engelin tepe yönetimin desteği ve Lojistik 4.0’ın işletme stratejisi ile uyumlaştırılması olduğunu belirtmişlerdir.

5.2. Ekonomik Engeller

Endüstri 4.0 teknolojilerinin yatırım maliyetinin yüksek olması ve yüksek işletim maliyeti bulgularımızda üst sıralarda görülmüştür. Bunlar ile beraber yatırımın geri kazanımının belirsiz ve uzun olması engeli, lojistik işletmelerin bu yatırımlardan uzak durmasına neden olmaktadır. Kamble vd. (2018, s.116) tarafından yapılan Endüstri 4.0’ı benimsemeye yönelik engeller isimli çalışmada, ekonomik engellerden olan yüksek uygulama maliyeti engeli ikinci sırada bulunmuştur. Birinci sırada ise üst yönetimin Endüstri 4.0’ın faydaları hakkında net bilgi eksikliği gösterilmiştir. Özçelik ve Çankaya (2022) çalışmalarında Türkiye’deki işletmelerde nesnelerin interneti uygulamalarının önündeki engelleri araştırmış ve birinci neden olarak ekonomik engeller olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Karagöz ve Doyduk (2020, s.48), Türkiye’deki lojistik firmaların, Endüstri 4.0 yatırımlarını büyük bir maliyet kalemi olarak görmekte olduklarını göstermişlerdir. Ayrıca Orzes vd. (2018) belirsiz pazar potansiyeli ve uzun uygulama süreci nedeniyle, Endüstri 4.0’ın (ekonomik-finansal kategoride) yüksek maliyetleri ve belirsiz yatırım getirisi engeli birincil engel olarak gözlemlenmişlerdir.

Taş (2023, s.23), Lojistik 4.0 ile maliyetleri azaltma ve verimlilik artışı sağlanabileceğini göstermiştir. Lojistik 4.0 teknolojileri ile hızlı teslimat, iş güvenliğinde artış, işgücü maliyetlerinde azalma, doğru stok takip ve tedarik zinciri görünürlüğü, müşteri hizmet seviyesinde iyileşmeler sağlanabilir (Cimini vd., 2019). Ekonomik engellere rağmen Endüstri 4.0 yatırımları firmalara ilk başta maliyet avantajları sonra ise diğer işletme hedeflerinde kazanımlar sağlayacaktır. Bu nedenle lojistik işletmelerin bu yatırımların kazanımları hakkında daha net araştırma yapmaları ekonomik engelleri aşmalarını kolaylaştıracaktır. Bununla beraber firmaların finansal sermayeye erişimi, algılanan yatırım getirisi yeni Endüstri 4.0 teknolojilerine yönelik yatırım yapma ve bu teknolojileri uygulama kararlarını büyük ölçüde etkileyen faktörlerdir (Bosman vd., 2020).

5.3. Yasalar, Güvenlik ve Gizlilik Engelleri

Araştırmada uzmanlar tarafından verilen cevaplara göre 6 alt engel ile ifade edilen Yasalar, Güvenlik ve Gizlilik Engellerinden sadece bir engel eşik değer (0.5808) üzerinde gözlemlenmiştir. Bu engel "Endüstri 4.0 için vergi indirimi, eğitim ve finans gibi konularda devlet desteğinin/teşviğinin yetersizliği" engelidir. Lojistik işletmelerinin Endüstri 4.0 teknolojilerine geçişinde devletin kararları firmalar için yol açıcı olacaktır. Luthra vd. (2020) araştırmalarında, hükümetin destekleyici politikaları ve tedarik zinciri üyeleri arasında işbirliği, Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması için oldukça önemli itici güçler olduğunu göstermişlerdir. Benzer şekilde Luthra ve Mangla (2018) "Gelişmekte olan ekonomilerde tedarik zinciri sürdürülebilirliği için Endüstri 4.0 girişimlerinin önündeki engellerin değerlendirilmesi" isimli çalışmada hükümet desteği ve politikalarının eksikliğini ikinci engel olarak gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Pourmehdi vd., (2022, s.11) araştırmalarında Hükümet politikalarının ve desteğinin olmamasını dördüncü en önemli zorluk olarak gözlemlenmiştir. Bu engel yüksek etki gücüne sahip olması nedeniyle diğer bazı engelleri etkileyen bağımsız bir engeldir. Çoğu gelişmekte olan ülkelerde, endüstriler hükümetin doğrudan veya dolaylı politikaları ve destekleri ile büyümektedir. Bu nedenle hükümet politikaları ve destekleri endüstriler üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği anlamına gelir.

Yöneticiler ve politika yapıcılar, zorluklarla başa çıkmak için engellerden "kritik birkaçına" odaklanmalı ve bunları ortadan kaldırmalıdır. Eğitimli personel eksikliği, üst yönetimin anlayış ve taahhüt eksikliği, Endüstri 4.0 için devlet desteği ve politikalarının eksikliği ve yetersiz araştırma ve geliştirme önemli kritik engeller olarak gözlemlenmektedir (Majumdar vd., 2021, s.9). Son yıllarda Avrupa Birliği ve Tayland Hükümeti, Endüstri 4.0'ın uygulanması için özellikle KOBİ'ler özelinde mali destekli politikalar uygulamaya başlamıştır (Rauch vd., 2019). Hindistan Hükümeti ise sübvansiyon veya vergi indirimleri gibi farklı girişimleriyle birlikte Endüstri 4.0'ı teşvik etmeye çalışmaktadır (Majumdar vd., 2021, s.7).

5.4. Teknolojik Engeller

Teknolojik engeller 8 alt değişken ile analiz edilmiş ve dört değişken eşik değer (0.5808) üzerinde gözlemlenmiştir. Bu engellere bakıldığında "Nesnelerin interneti için güçlü bilgi teknolojileri ve altyapılarının olmaması" engeli en önemli alt engel olarak gözükmektedir. Kumar vd. (2021b) üretim işletmelerinde Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin önündeki engelleri araştırmış ve bilgi teknolojileri altyapısının yeterli olmaması engelini bulgularında öne çıkan engel olduğunu göstermiştir. İşletmelerdeki mevcut sistemler gerçek zamanlı verileri işleyemez, bu nedenle daha güçlü bilgi yönetim sistemlerinin uygulanması gerekir. Bu gömülü sistemler bilgiyi depolar ve yönetir, veri madenciliği yoluyla bilgi kaynaklarını bulabilir, bilgi yönetimi süreçlerini geliştirebilir ve IoT bileşenleriyle bütünleşme yeteneğine sahiptir (Senna vd., 2022, s.3). Barros vd. (2017, s.6-7) araştırmalarında teknolojik engellerden olan siber fiziksel sistemlerin uygulanmasındaki engelleri üç başlıkta incelemiştir. Bunlar verilerin toplanması, anlamlandırılması ve hazır çözüm eksikliğidir. Verilerin üretim hattının her bir

aşamasındaki robotlardan toplanması ve bu dataaların analiz edilip performans, üretim yönetimi ve bakım yönetimi için kullanışlı hale getirilmesi önemli engelleridir. Her işletmenin süreçleri farklı olacağından her firma için siber fiziksel sistemlerin ayrıca firmaya özel geliştirilmesi gerekecektir.

Javaid vd. (2022) araştırmalarında teknolojik engelleri ikinci ana engel olarak göstermişlerdir. Bu engelin alt faktörlerinden yüksek düzeyde teknoloji, buna uygun sofistike ekipman ve altyapı önemli alt engeller olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca araştırmamızda eşik değerin (0.5808) üzerinde görülen “İç ve dış bilgi teknolojilerinin entegrasyon sorunları” engeli, Javaid vd. (2022)’nin bulguları ile paralellik göstermektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulayacak lojistik işletmeler hizmet verecekleri firmalar ile bilgi teknolojilerinin entegrasyon sorunlarının üstesinden gelmeleri gerekecektir (Senna vd., 2022, s.4). Süreç entegrasyonu, dahil olan her kuruluştaki çeşitli teknolojiler, arayüzler, standartlar, yöntemler ve benzersiz özellikler nedeniyle oldukça zordur. Kuruluş genelindeki entegre süreçler, gerçek zamanlı olarak optimizasyona ve karar vermeye olanak tanır. Lojistik iyi bir şekilde optimize edilebilir ve stok eksikliği veya fazla üretim durumları gibi gelir kayıpları ortadan kaldırılabilir. Tedarikçiler, atölye düzeyinde canlı verilere erişebilir ve daha iyi kaynak planlaması için gerekli malzemeyi ne zaman sağlayacaklarını bilirler ve plansız kesinti veya fazla stok durumlarını azaltırlar (Khan ve Turowski, 2016, s.21). Glass vd., (2018, s.987) Endüstri 4.0’ın önündeki en büyük engeli, standartların olmaması yani uluslararası normların olmaması, ara yüzlerin uyumsuzluğu ve standartlaştırılmış veri formatlarının eksikliği olarak nitelendirmişlerdir. Benzer şekilde araştırmamızda 7. sırada çıkan “Endüstri 4.0 teknolojilerini üreten firmalar arasında standartların olmaması” engeli uluslararası standartlardan bir kısmını ifade etmektedir.

5.5. Organizasyonel Engeller

Organizasyonel engeller 8 alt engel ile analiz edilmiş ve iki alt engel eşik değerin (0.5808) üzerinde gözlemlenmiştir. Bu engellere bakıldığında “Değişimi yönetecek uzman yönetici ve nitelikli işgücü eksikliği” engeli en önemli alt engel olarak gözükmektedir. Kumar vd. (2021c), Endüstri 4.0 uygulamalarının önündeki engelleri incelediği araştırmalarında uygun vasıflara sahip eğitimli ve nitelikli insan gücü eksikliğini öncelikli engel olarak bulmuştur. Bu zorluk araştırmamızdaki engel ile benzerlik göstermektedir. Endüstri 4.0 teknolojileri operasyonel süreçlerde köklü bir değişime neden olacağından bu değişimi yönetecek ve değişime uyum sağlayacak nitelikli işgücüne ihtiyaç olacaktır. Ayrıca organizasyonun değişime istekli ve değişimi kolaylaştırıcı rolü de yok sayılamaz derece önemlidir. Kumar vd., (2021b), değişime karşı direnci yani çalışanların yeni teknolojileri benimseme konusunda isteksizlik göstermesini Endüstri 4.0’ın önemli engellerinden göstermişlerdir. Bulgularımızla paralel olarak “Yeniliğe karşı örgütsel isteksizlik ve direnç” engeli araştırma sonuçlarında eşik değerin üstünde 14. sırada görülmektedir. Benzer şekilde Taş ve Alagöz (2021) araştırmasında, lojistik işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında en büyük engelinin firma kültüründen kaynaklanabileceğini gözlemlemiştir.

6. Sonuç ve Öneriler

Endüstri 4.0 teknolojilerine adapte olmaya çalışan bir işletmenin lojistik faaliyetlerinin de değişime uyum sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle, neredeyse tüm sektörlerde kritik rolü bulunan ve dinamik bir yapıya sahip olan lojistik sektörünün dijital değişime uyum sağlaması kaçınılmazdır. Ancak tüm dünyada uygulamaları olan ve aynı zamanda gelişim aşamaları devam eden bu teknolojilere adapte olmanın çeşitli engelleri bulunmaktadır. Bu engelleri tanımlamak, bu engellere uygun Endüstri 4.0 dönüşüm stratejilerinin geliştirilebilmesinde kritik öneme sahiptir.

Modern lojistik, bir ürün veya hizmetin yaşam döngüsündeki tüm faaliyetleri ve aşamaları kapsar; ham maddelerden başlayarak çeşitli üretim aşamalarında, nakliyyede, depolamada, ürünlerin nihai tüketim yerine teslimatta ve son olarak geri dönüşüm veya uygun imha için belirli tesislere geri dönüşüm süreçlerini içerir (Efthymiou ve Ponis 2021, s.18). Diğer bir deyişle lojistik, dijital tedarik zincirleri bağlamında esneklik, küresel bağlanabilirlik, gerçek zamanlı iletişim, şeffaflık, zeka ve yenilikçilik gibi özellikleri içeren tüm tedarik zincirinin etkin bir şekilde işlemesi için gerekli can damarı faaliyetlerini sağlamaktan sorumludur (Büyüközkan ve Göçer, 2018, s.165). Lojistik sektörünün tüm sektörlerle ilişkili olması nedeniyle hemen her sektör için yıkıcı etkisi olan Endüstri 4.0 kavramının lojistik sektörü kapsamında ele alınması kaçınılmazdır. Ancak, lojistik süreçlerin dijitalleşmesine ve otomasyonuna sorunsuz bir geçiş için neler yapılabileceği ve daha da önemlisi, hızlı ve sert endüstriyel dönüşümün olduğu bu yeni çağda lojistiği bekleyen sorunların neler olduğu sorusu gündeme gelmektedir (Efthymiou ve Ponis 2021, s.2). Lojistik sektörü bağlamında Endüstri 4.0 teknolojilerine uyum engelleri belirlenmedikçe bunları aşmak için uygun politika ve stratejiler geliştirilemeyecektir. Ve lojistik sektörü Endüstri 4.0 teknolojilerinin sağlayacağı avantajlardan ve faydalardan yararlanamayacaktır. Bu nedenle, lojistik sektöründe Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ve uygulanmasının önündeki engellerin araştırılması ve bu engellerin üstesinden gelmek için bir çerçeve geliştirilmesi son derece önemlidir.

Bu çalışmada, lojistik sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasının önündeki engellerin belirlenmesi ve önem derecelerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amacın gerçekleştirilmesi için öncelikle literatürdeki Endüstri 4.0 teknolojilerine uyum bariyerleri/engelleri incelenmiştir. Ardından, bulanık Delphi yöntemi kullanılarak lojistik sektörü için önemli olan başlıca engeller ortaya çıkarılmıştır. Çalışmanın metodolojisi nitel bir yöntem olan Delphi metodu ile matematiksel bir araç olan bulanık küme teorisini birleştiren hibrit bir yöntemde dayanmaktadır. Giriş bölümünde belirtildiği gibi, literatürde Endüstri 4.0 teknolojilerinin lojistik sektörüne adaptasyonunda karşılaşılan engellerle ilgili uzman görüşüne dayalı bir çalışma yürütülmemiştir. Yürütülen bu araştırma, Endüstri 4.0 teknolojilerine uyum engellerini lojistik sektörü bağlamında ele alıyor olması nedeniyle özgün bir çalışmadır. Araştırma konusunun oldukça güncel olması ve Endüstri 4.0 teknolojilerine adaptasyonun halen gelişim aşamasında olması çalışmayı önemli kılan bir başka motivasyon faktörü olmuştur. Ayrıca daha önce kullanılmayan bulanık temelli Delphi yöntemine başvurulması çalışmaya orijinallik sağlayan başka bir özelliktir.

Araştırma bulgularına bakıldığında tepe yönetim kaynaklı engeller en önemli zorluklar olarak ön plana çıkmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojilerine yönelik tepe yönetimin belirgin ve stratejik bir yaklaşımının olmaması engeli üst sıralarda bulgularda gözlemlenmiştir. Endüstri 4.0 teknolojileri yüksek maliyetli yatırımlar olduğundan bu konuda alınacak kararlar tepe yönetim tarafından değerlendirilir. Üst yönetimin stratejik bir yol haritası ile bu teknolojileri ele alması, Endüstri 4.0'ın benimsenmesinde ki başarıyı artıracaktır. Ayrıca tepe yönetim kaynaklı engellerin hemen ardından ekonomik engeller bulgularda görülmüştür. Bu iki ana engel beraber düşünüldüğünde, tepe yönetimin Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmamasında; yatırımın geri dönüşünün belirsiz veya uzun olması, net bir maliyet fayda analizinin yapılamamasının etkili olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, lojistik işletmelerde tepe yönetimler, Endüstri 4.0 teknolojilerine stratejik bir rekabet aracı olarak bakmalı, gerekli finansal analizleri iyi bir şekilde yapmalı ve öncelikli olarak akıllı depo dönüşümlerini ele almaları daha faydalı olacaktır.

Katılımcılar tarafından öncelikli engel olarak gösterilen Endüstri 4.0 için vergi indirimi, eğitim ve finans gibi konularda devlet desteğinin ve teşviğinin yetersizliği engeli, firmaların devletten öncü adımları beklediklerini göstermektedir. Ayrıca eğitilmiş personellerin yetiştirilmesi için üniversite sanayi işbirliklerinin önemi ön plana çıkmaktadır. Bu alanda faklı

ülkelerde teşvikler ve mali destekler giderek arttığı görülmektedir. Türkiye’de ise Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2018)’nin “Türkiye'nin Sanayi Devrimi: Dijital Türkiye Yol Haritası” kapsamında dijital sanayi devrimi hakkında farkındalık ve eğitim, yeni Ar-Ge merkezlerinin kurulması, veri iletişim altyapısının iyileştirilmesi ve güvenliğinin sağlanması, bu altyapıya yönelik mevzuat ve standartların geliştirilmesi, verilerin yurt içinde güvenli bir şekilde depolanmasını ve kullanılmasını mümkün kılacak şekilde bulut altyapısının geliştirilmesi, dönüşümü sağlayacak teknolojileri yerli imkânlarla üretecek tedarikçilere vergi indirimleri ve teşviklerinin verilmesi gibi birtakım destekler ve icraatlar hedeflenmiştir.

Endüstri 4.0 teknolojileri ileri düzeyde dijital dönüşümü gerektirdiğinden organizasyonun bu değişime ayak uydurması gerekecektir. Bunun için yeterli altyapı ve nitelikli personel ihtiyacı ön plana çıkmaktadır. Araştırma bulgularında dijital teknolojilerin operasyonel süreçlere uyum problemleri olarak ifade edilen bu engel her organizasyon için özel ve ona has bir engeli ifade etmektedir. Yani her işletmeye özel, birebir örneği olmayan Endüstri 4.0 dönüşümünü iş süreçlerine uyarlamak, uyum problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu uyum sürecini başarı ile uygulamış, örnek lojistik işletmelerden aktarılabilecek metodoloji ve süreç yönetimi tecrübesine ihtiyaç vardır. Ayrıca katılımcılar tarafından 4. sırada gösterilen metodoloji eksikliği bu tecrübe aktarımını ifade ettiği düşünülmektedir. Bu nedenle uygulamada başarılı olmuş firmaların diğer firmalara gerektiğinde uzmanlık desteğini sağlamaları dijital dönüşümü kolaylaştıracaktır.

Bu araştırmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinin önündeki engellerin önem sıralamasının belirlenebilmesi için uzman yargılarına dayalı bulanık Delphi yönteminden yararlanılmıştır. Gelecekte yürütülecek araştırmalarda belirli bir işletme üzerine yoğunlaşan ve birden fazla yöntemin kullanıldığı vaka analizleri yapılabilir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda engellerin üstesinden gelinmesinde işletmelere yön verecek stratejilerinde yer alacağı modeller geliştirilebilir. Ayrıca farklı sektörler kapsamında yürütülecek araştırmaların yapılması alana katkı sağlayacaktır. Bu çalışma, uygulayıcılar, politika yapıcılar, düzenleyici kurumlar ve yöneticiler tarafından Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması önündeki engeller hakkında derinlemesine bir anlayış geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu araştırma, Lojistik sektörü için Endüstri 4.0 teknolojilerini benimsemedeki potansiyel zorlukları ayrıntılı bir şekilde ele alarak öncelikli hangi engellere odaklanılması gerektiğini de göstermektedir.

Kaynakça

- Ajmera, P., & Jain, V. (2019). Modelling the barriers of Health 4.0—the fourth healthcare industrial revolution in India by TISM. *Operations Management Research*, 12(3-4), 129-145.
- Alan, A. K., Kabadayı, E. T., & Cavdar, N. (2018). Yeni nesil “Bağlantı”, yeni nesil “İletişim”: Nesnelerin interneti üzerine bir inceleme. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 294-320.
- Aygün, D., & Satı, Z. E. (2022). Evaluation of Industry 4.0 transformation barriers for SMEs in Turkey. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(1), 239-255.
- Barretto, L., Amaral, A. & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: An overview. *Procedia Manufacturing*, 13,1245-1252.
- Barros, A. C., Simões, A. C., Toscano, C., Marques, A., Rodrigues, J. C., & Azevedo, A. (2017). Implementing cyber-physical systems in manufacturing. İçinde *CIE47 Proceeding*. Lizbon, Portekiz

- Basl, J. (2017). Pilot study of readiness of Czech companies to implement the principles of Industry 4.0. *Management and Production Engineering Review*, 3-8
- Bigliardi, B., Casella, G., & Bottani, E. (2021). Industry 4.0 in the logistics field: A bibliometric analysis. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 3(1), 4-12.
- Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2018). *Türkiye'nin Sanayi Devrimi Dijital Türkiye Yol Haritası*. https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2023_Dijital-Turkiye-Yol-Haritasi.pdf, Erişim Tarihi: 05.03.2023
- Bosman, L., Hartman, N., & Sutherland, J. (2020). How manufacturing firm characteristics can influence decision making for investing in Industry 4.0 technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 1117-1141.
- Bouzon, M., Govindan, K., Rodriguez, C. M. T., & Campos, L. M. (2016). Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. *Resources, conservation and recycling*, 108, 182-197.
- Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng, M. L., & Ali, M. H. (2020). Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104625.
- Büyüközkan, G., & Göçer, F. (2018). Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157-177.
- Chauhan, C., Singh, A. & Luthra, S., (2021). Barriers to Industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 285, 1-15.
- Cimini, C., Lagorio, A., Pirola, F., & Pinto, R. (2019). Exploring human factors in Logistics 4.0: Empirical evidence from a case study. *Ifac-Papersonline*, 52(13), 2183-2188.
- Efthymiou, O. K., & Ponis, S. T. (2021). Industry 4.0 technologies and their impact in contemporary logistics: A systematic literature review. *Sustainability*, 13(21), 11643.
- Eğilmez, Ö., & Gözde, K. O. C. A. (2018). Gelişmekte olan ekonomilerde sürdürülebilir tedarik zinciri için Endüstri 4.0 girişimlerine yönelik güçlüklerin değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı), 1521-1536
- Facchini, F., OleśKow-szŁapka, J., Ranieri, L., & Urbinati, A. (2020). A maturity model for logistics 4.0: An empirical analysis and a roadmap for future research. *Sustainability*, 12(1), 86
- Fernando, Y., Wahyuni-TD, I. S., Gui, A., Ikhsan, R. B., Mergeresa, F., & Ganesan, Y. (2022). A mixed-method study on the barriers of industry 4.0 adoption in the Indonesian SMEs manufacturing supply chains. *Journal of Science and Technology Policy Management*.
- Frank, A., Dalenogare, L., & Ayala, N. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
- Gabriel, M., & Pessl, E. (2016). Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 14(2), 131.
- Gedik, Y. (2021). Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve endüstri 4.0'ın üretim ve tedarik zinciri kapsamındaki etkileri: Teorik bir çerçeve. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 6(1), 248-264.

- Geissbauer R, Vedso J, Schrauf S (2016). *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>, Erişim Tarihi: 03.02.2023.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936.
- Glass, R., Meissner, A., Gebauer, C., Stürmer, S. & Metternich, J. (2018). Identifying the barriers to Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 72, 985–988.
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119-132.
- Hsu, C.-C., & Sandford, B. A. (2007). The Delphi technique: making sense of consensus. *Practical assessment, research & evaluation*, 12(10), 1-8.
- Hsu, Y. L., Lee, C. H., & Kreng, V. B. (2010). The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 419-425.
- Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tomizawa, G., Tatsuta, R., & Mieno, H. (1993). The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy sets and systems*, 55(3), 241-253.
- Jabbour de Sousa, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., & Godinho Filho, M. (2018). When titans meet—Can industry 4.0 revolutionize the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 18-25.
- Jankowska, B., Mińska-Struzik, E., Bartosik-Purgat, M., Götz, M., & Olejnik, I. (2023). Industry 4.0 technologies adoption: barriers and their impact on Polish companies' innovation performance. *European Planning Studies*, 31(5), 1029-1049.
- Javid, M., Khan, S., Haleem, A., & Rab, S. (2022). Adoption of modern technologies for implementing industry 4.0: an integrated MCDM approach. *Benchmarking: An International Journal*, (ahead-of-print).
- Kagermann, H., Lukas, W. D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI Nachrichten*, 13(1), 2-3.
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A. & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101,107-119.
- Karayayi-Usta, S. (2019). An interpretive structural analysis for industry 4.0 adoption challenges. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(3), 973-978.
- Karagöz, B., & Doyduk, H. B. B. (2020), Lojistik 4.0 Uygulamaları ve Lojistik Firmalarının Bakış Açısı. *İnsan ve İnsan*, 7(23), 37-51.
- Karam, A., Hussein, M., & Reinau, K. H. (2021). Analysis of the barriers to implementing horizontal collaborative transport using a hybrid fuzzy Delphi-AHP approach. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128943
- Khan, A., & Turowski, K. (2016). A survey of current challenges in manufacturing industry and preparation for industry 4.0. İçinde *Proceedings of the First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry"(IITI'16)*, Cilt 1 (ss. 15-26). Springer International Publishing.

- Khan, S., Singh, R., Haleem, A., Dsilva, J., & Ali, S. S. (2022). Exploration of critical success factors of logistics 4.0: A DEMATEL approach. *Logistics*, 6(1), 1-14.
- Kumar, P., Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2021b). Analysis of barriers to Industry 4.0 adoption in manufacturing organizations: An ISM approach. *Procedia CIRP*, 98, 85–90.
- Kumar, S., Suhaib, M., & Asjad, M. (2021c). Narrowing the barriers to Industry 4.0 practices through PCA-Fuzzy AHP-K means. *Journal of Advances in Management Research*, 18(2), 200-226.
- Kumar, V., Vrat, P. & Shankar, R. (2021a). Prioritization of strategies to overcome the barriers in Industry 4.0: A hybrid MCDM approach. *OPSEARCH*, 58, 711-750.
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (1975). *The Delphi Method*, MA: Addison-Wesley.
- Luthra, S., & 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.
- Luthra, S., Garg, D., Mangla, S.K. & Berwal, Y.P.S. (2018). Analyzing challenges to internet of things (IoT) adoption and diffusion: An Indian context. *Procedia Computer Science*, 125, 733-739.
- Luthra, S., Kumar, A., Zavadskas, E. K., Mangla, S. K., & Garza-Reyes, J. A. (2020). Industry 4.0 as an enabler of sustainability diffusion in supply chain: An analysis of influential strength of drivers in an emerging economy. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1505-1521.
- Ma, Z., Shao, C., Ma, S., & Ye, Z. (2011). Constructing road safety performance indicators using fuzzy Delphi method and grey Delphi method. *Expert systems with applications*, 38(3), 1509-1514.
- Mahmood, A., Arshad Ali, A., Nazam, M., & Nazim, M. (2021). Developing an interplay among the psychological barriers for the adoption of industry 4.0 phenomenon. *PloS one*, 16(8), e0255115.
- Majumdar, A., Garg, H. & Jain, R. (2021). Managing the barriers of Industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework. *Computers in Industry*, 125, 1-10.
- Nimawat, D., & Das Gidwani, B. (2022). Challenges facing by manufacturing industries towards implementation of industry 4.0: An Empirical research. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 16(4), 1371-1383.
- Noorderhaben, N. G. (1995). *Strategic decision making*. UK: Addison-Wesley.
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in industry*, 83, 121-139.
- Orzes, G., Rauch, E., Bednar, S., & Poklemba, R. (2018). Industry 4.0 implementation barriers in small and medium sized enterprises: A focus group study. In *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. 1348-1352
- Ozkan-Ozen, Y. D., Kazancoglu, Y., & Mangla, S. K. (2020). Synchronized barriers for circular supply chains in industry 3.5/industry 4.0 transition for sustainable resource management. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104986.

- Özçelik H. & Çankaya S.Y., (2022), Türkiye'deki İşletmelerde Nesnelerin İnterneti: Uygulamadaki Engeller Üzerine Bir Araştırma, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25(47), 127-151.
- Padilla-Rivera, A., do Carmo, B. B. T., Arcese, G., & Merveille, N. (2021). Social circular economy indicators: Selection through fuzzy Delphi method. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 101-110
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214.
- Perotti S., Santacruz R.F.B., Bremer P. & Beer J.E. (2022). Logistics 4.0 in warehousing: a conceptual framework of influencing factors, benefits and barriers, *The International Journal of Logistics Management*, 33(5), 193-220.
- Pourmehdi, M., Paydar, M. M., Ghadimi, P., & Azadnia, A. H. (2022). Analysis and evaluation of challenges in the integration of Industry 4.0 and sustainable steel reverse logistics network. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107808.
- Prause, M. (2019). Challenges of industry 4.0 technology adoption for SMEs: The case of Japan. *Sustainability*, 11(20), 5807.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546.
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2021). Industry 4.0– challenges to implement circular economy. *Benchmarking: An International Journal*, 28(5), 1717-1739.
- Rauch, E., Dallasega, P., & Unterhofer, M. (2019). Requirements and barriers for introducing smart manufacturing in small and medium-sized enterprises. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 87-94.
- Sah, B., Gupta, R., & Bani-Hani, D. (2021). Analysis of barriers to implement drone logistics. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24(6), 531-550.
- Senna, P. P., Ferreira, L. M. D., Barros, A. C., Roca, J. B., & Magalhães, V. (2022). Prioritizing barriers for the adoption of Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108428.
- Sharma, M., Joshi, S., Kannan, D., Govindan, K., Singh, R., & Purohit, H. C. (2020). Internet of Things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122047.
- Stentoft, J., Adsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K., & Haug, A. (2021). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: Empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning & Control*, 32(10), 811-828.
- Taş, A., & Alagöz, S.B. (2021). Lojistik Sektörü Özelinde Endüstri 4.0 Farkındalık Düzeyleri Üzerine Bir Araştırma. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi (KMUSEKAD)*, 23(41). 404.417.
- Taş, Ü., (2023). Case Study of Intralogistics in The Framework of Logistics 4.0. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 7(1), 18-24.
- Winkelhaus S. & Grosse E. H. (2019): Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics system, *International Journal of Production Research*, 58(1), 18-43.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.