

Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımların Lojistik Hizmet Üretim Performansına Etkisinde Esneklik ve Çevikliğin Rolü Üzerine Bir Araştırma

A Research on the Role of Flexibility and Agility in the Effect of Investments in Industry 4.0 on Logistics Service Production Performance

Mehmet ÇAKMAK^a Yıldız ÖZERHAN^b

^aBolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye. mehmet.cakmak@ibu.edu.tr

^bAnkara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Ankara, Türkiye. yildiz.ozerhan@hbv.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

ÖZET

Anahtar Kelimeler:

Lojistik 4.0
Lojistik Hizmet Üretim
Performansı
Lojistik Esneklik
Lojistik Çeviklik

Amaç – Endüstri 4.0 üretimden teslim sonrasına kadar ki tedarik zinciri faaliyetlerinin büyük oranda akıllı nesnelere tarafından yürütüldüğü yeni nesil bir dönüşümdür. Tedarik zincirinin önemli paydaşlarından birisi olan Lojistik Hizmet Sağlayıcılar da yeni nesil teknolojilerden yararlanmalıdır. Bu bakımdan rekabet avantajı için Lojistik Hizmet Sağlayıcılar yeni nesil teknolojilerin desteği ile tedarik zincirlerinin gerçek zamanlı taleplerine göre hızlı, katma değerli ve kaliteli bir hizmet üretimi yapmalıdır. Bu çalışmasının amacı Endüstri 4.0'a dönük yatırımların, lojistik esnekliğe, lojistik çevikliğe, lojistik hizmet üretim performansına olan etkilerini analiz etmektir.

Yöntem – Çalışmada ilişkisel tarama modeli temelinde araştırma hipotezleri oluşturulmuştur. Hizmet İhracatçıları Birliği üyesi olan 158 firmadan anket tekniği ile veri toplanmış ve Yapısal Eşitlik Modellemesi ile hipotezler test edilmiştir.

Gönderilme Tarihi 11 Mart
2023

Revizyon Tarihi 7 Temmuz
2023

Kabul Tarihi 15 Temmuz
2023

Bulgular: Analiz sonucunda Endüstri 4.0'a dönük yatırımların lojistik çevikliği, lojistik esnekliği ve lojistik hizmet üretim performansını olumlu yönde etkilediğine dair araştırma hipotezleri desteklenmiştir. Ayrıca Endüstri 4.0'a dönük yatırımların lojistik hizmet üretim performansına etkisinde lojistik esnekliğin ve lojistik çevikliğin aracılık rolünün olduğunu ifade eden hipotezler de desteklenmiştir.

Tartışma – Araştırmanın amacı doğrultusunda literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması çerçevesinde Endüstri 4.0'a dönük yatırımlara girişmiş Lojistik Hizmet Sağlayıcılar üzerinde genellenebilir bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu çalışmayla araştırmanın amacı çerçevesinde hipotezler desteklenmiştir. Dolayısıyla araştırmanın sonuçları ile literatüre bu açıdan önemli katkılar sağlandığı düşünülmektedir.

Makale Kategorisi:
Araştırma Makalesi

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Logistics 4.0
Logistics Service Production
Performance
Logistics Flexibility
Logistics Agility

Purpose – Industry 4.0 is a new generation transformation in which the supply chain activities from production to post-delivery are largely carried out by smart objects. In this context, supply chain stakeholders need to cooperate with the support of integrated new generation technologies. Logistics Service Providers, one of the important stakeholders of the supply chain, should also benefit from new generation technologies. In this respect, for competitive advantage, Logistics Service Providers should produce fast, value-added and quality service according to the real-time demands of their supply chains with the support of new generation technologies.

Design/methodology/approach – In this study, research hypotheses were formed on basis of the relational screening model. Data were collected from 158 companies that are members of the Service Exporters' Association by survey technique and hypotheses were tested with Structural Equation Modeling.

Received 11 March 2022

Revised 7 July 2023

Accepted 15 July 2023

Findings – As a result of the analysis, the research hypotheses that investments towards Industry 4.0 positively affect logistics agility, logistics flexibility and logistics service production performance were supported. In addition, the hypotheses stating that logistics flexibility and logistics agility have a mediating role in the effect of investments towards Industry 4.0 on logistics service production performance were also supported.

Discussion – In line with the purpose of the research, a literature review was conducted. Within the framework of the literature review, no generalizable study has been found on Logistics Service Providers who have made investments towards Industry 4.0. In this study, hypotheses were supported within the framework of the purpose of the research. Therefore, it is thought that the results of the research make important contributions to the literature in this respect.

Article Classification:
Research Article

*Bu çalışma Mehmet ÇAKMAK'ın "Endüstri 4.0'ın Hizmet Üretim Kalitesine Etkisi: Lojistik Hizmet İhracatçısı Firmalarda Bir Araştırma" başlıklı Doktora Tezinden türetilmiştir.

Önerilen Atıf/Suggested Citation

Çakmak, M., 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.

1. GİRİŞ

Lojistik temel anlamda tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere siparişe dair girdilerin tedarik edilmesi, çıktıların doğru yerde ve doğru zamanda tüketiciye teslimatına dönük taşıma, depolama, stok yönetimi gibi faaliyetler bütünüdür (Winkelhaus ve Grosse, 2020:18). Endüstri 4.0 teknik olarak üreticiler açısından köklü değişiklikler yaratacağı gibi zincirleme reaksiyon ile tedarik zincirinin tüm aşamaları ve paydaşları açısından benzer bir değişimi getirebilecek potansiyele sahiptir (Yavaş ve Özkan-Özen, 2020:2). Bu noktada bireyselleşen üretimlerin kitlesel bir şekilde gerçekleştirilerek zamanında teslim edilmesi sürecinde yeni tip lojistik hizmet üretimi ve yeni tip Lojistik Hizmet Sağlayıcı (Logistics Service Provider-LSP) formatı gerekecektir (Tufano vd., 2020:62; Kamble vd., 2019:156; Mourtzis vd., 2019:6909).

Bu bağlamda Lojistik 4.0, akıllı ağlara bağlı nesnelere ve uzmanlaşmış insan destekli, esnek ve çevik işletme sistemlerine odaklı Endüstri 4.0'ın teknoloji veya uygulamalarıyla lojistik sistemin donatılması ya da lojistik sistemin Endüstri 4.0'a uyarlanmasıdır. Diğer bir ifadeyle Lojistik 4.0, tesis içinde ve dışında tedarik zincirlerinin aksatılmadan, ürünlerin ve işlemlerin akışının daha hızlı ve kârlı bir şekilde yürütülmesine odaklanan ileri teknolojilere dayalı sistemdir. Dolayısıyla Lojistik 4.0, otomatikleştirilmiş bir siber sistem tasarımı çerçevesinde IoT, IoT tabanlı Sensör Ağları ve Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio-Frequency Identification-RFID) Sistemi, Sürücüsüz Araçlar, Büyük Veri Analitiği, Akıllı Konteyner gibi tekniklerin ya da uygulamaların kullanılarak lojistik hizmetin sağlanmasıdır (Cimini vd., 2019:2184; Abdul Rahman vd., 2018:4; Oleśków-Szłapka vd., 2019:1735).

Endüstri 4.0'a geçiş ile birlikte lojistik hizmet üretimi, akıllı ağ tabanlı sistemlere dayanarak değişimlere uyum sağlayabilen ve geleneksel lojistik hizmet üretimlerine göre daha fazla esnek ve akıllı bir çalışmayı gerektirmektedir (Bağ, Yadav vd., 2020:5-6). Bu çalışmanın amacı Endüstri 4.0 teknoloji ve bileşenlerinin lojistik hizmet üretim performansına, lojistik esnekliğe ve lojistik çevikliğe olan etkilerini ele almaktır. Bu noktada çalışmanın birinci kısmında Endüstri 4.0 kavramı ve bileşenleri, lojistik hizmet üretim performansı, lojistik esneklik ve çeviklik kavramları ile Endüstri 4.0 bileşenlerinin lojistik hizmet üretim performansına, lojistik esnekliğe ve çevikliğe olan potansiyel etkileri kavramsal olarak ele alınmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında araştırma yöntemine (araştırma modeli, hipotezler, evren, örneklem, veri toplama tekniği ve analiz yöntemi), üçüncü kısmında ise bulgulara ve analizlere yer verilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Endüstri 4.0 Kavramı ve Bileşenleri

Endüstri 4.0 kavramı ilk defa 1988 yılında "üretim ekipmanlarında yaşanan yenilikçi adımlar" olarak ifade edilmiştir. Daha sonra Almanya'da 2011 yılında "Ulusal İleri Teknoloji Stratejisinin Hayati Bir Parçası" olarak Hannover Ticaret Fuarı'nda "Endüstriyel İnternet", "Dijital Fabrika", "Dijital Üretim", "Akıllı Fabrika", "Birbirine Bağlı Fabrika", "Entegre Sanayi", "Üretim 4.0" ve "İnsan-Makine İşbirliği" gibi kavramlarla birleştirilerek tanımlanmıştır. Endüstri 4.0, otonom (özerk) makinelere, robotlara, yapay zekâya ve nesnelere arası internete dayalı akıllı fabrikasyon şeklinde karakterize edilmektedir. Dolayısıyla Endüstri 4.0, mevcut sanayi düzeninde robotların ve bilgisayarların kullanımının ötesinde katma değer yaratmak için tüketicinin de tasarım aşamasına bizzat katılmasını, kişiselleştirilmiş talep içeriklerini kitlesel ölçekte sunabilecek esnekleşmeyi, üretimde hem otonom kontrol hem de siber açıdan uzaktan kontrolün yapıldığı ve insan unsurunun oldukça az seviyede yer aldığı bir yapıyı ifade eder (Mohelska ve Sokolova, 2018:2226; Pozdnyakova vd., 2019:13; Büchi vd., 2020:2; Manavalan ve Jayakrishna, 2019:934; Gu vd., 2019:1461).

Endüstri 4.0'ın öncüllerinden (Endüstri 1.0, 2.0 ve 3.0'dan) farklılıkları geleneksel merkezi mimari yapılar yerine otonom sistemlerle etkileşime girilmesi, tedarik zincirlerinin yönetilmesine yardımcı olan ve ilgili tüm süreçleri daha geniş bir şekilde yöneten endüstriyel sistemlerinin benimsenmesi, ileri teknolojik gelişmelerin üretim başta olmak üzere diğer işletme alanları ile bütünleşerek kullanılması, içsel ve dışsal açıdan bütünleşik bir şekilde tedarik zincirinin ve akıllı nesnelere akıllı ağlarla bağlanması ve yüksek seviyeli işbirliği içerisinde olunması, işletmede fiziksel ve siber ortamların yakınsanması şeklinde ifade edilebilir (Rossit vd., 2019:3806; Horváth ve Szabó, 2019:120; Zambon vd., 2019:3). Endüstri 4.0'ın teknik anlamda bileşenleri Siber-Fiziksel Sistemler (Cyber-Physical Systems-CPS), Nesnelere İnterneti (Internet of Things-IoT), Büyük Veri Analitiği (Big Data Analytics), Bulut Bilişim (Cloud Computing), Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality-AR),

Otonom (Yapay Zekâ Destekli) Robotlar, 3 Boyutlu (3 Dimensional-3D) Üretim ve Simülasyon şeklinde sıralanabilir (Rüßmann, 2015:3).

Endüstri 4.0 bileşenlerinden olan Siber-Fiziksel Sistemler (Cyber-Physical Systems-CPS), nesnelerin (robot, makine gibi) ve insanların birbiri ile işbirliği içinde olduğu, otonom ve akıllı üretim sisteminin benimsendiği, sanal ve fiziksel ortamın bütünleşik hale getirildiği bir işletme modelini ifade eder (Bayram ve İnce, 2018:188). CPS, bilişim teknolojilerinin ve çeşitli donanımların yardımıyla fiziksel ortamın bir bütün hâlinde sanal ortamda birebir canlandırıldığı, gerçek zamanlı olarak izlendiği, kontrol edildiği, fiziksel ve sanal ortamların birbiri ile karşılıklı iletişime ve etkileşime girebildiği, yapılandırılabilirdiği, uzaktan ve birebir müdahalenin sağlanabildiği, içsel-dışsal paydaşların erişebildiği, "Akıllı" bir fabrika düzeni oluşturmayı hedeflemektedir (Dalmarco vd., 2019:3).

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT), fiziksel dünyada birbirinden ayrı ve uzakta olan makine, ekipman, donanım, tesis ve diğer unsurları bir nesne olarak nitelendiren, bunları akıllı ağlarla bağlayarak ve siber ortamla bütünleştirerek kontrol edilmesini ve yönetilmesi için geliştirilen standartlar, teknikler, yetenekler ve protokoller bütünüdür. IoT, fiziksel işletmeye bir bütün olarak uzaktan ve doğrudan erişim sağlayabilen, kararların, kontrollerin ve müdahalelerin bir merkezde toplandığı ve dağıtıldığı gerçek zamanlı bir şekilde otonom ve akıllı nesnelerin iletişimini ve etkileşimini sağlayabilen akıllı ağ sistemidir (Kamble vd., 2019:155-156; Waibel vd., 2018:777). Dolayısıyla IoT, fiziksel ortam nesnelerini birbirine bağladığı gibi tüm içsel ve dışsal paydaşları akıllı bir ağda bir araya getirmeyi hedefleyen güvenli bir bağlantı sistemidir (Manavalan ve Jayakrishna, 2019:938). IoT'nin yapısı, her bir kullanıcının kendine özgü kullanıcı adı ve şifre kombinasyonları ile erişim sağlayabildiği, her türlü kaynaktan verilerin gerçek zamanlı olarak çekildiği ve aktarıldığı, kontrol mekanizmasının akıllı sistemlere dağıtılmasının desteklendiği, içsel ve dışsal açıdan entegrasyonların hızlandırıldığı çözümsel bir akıllı ağ sistemini ifade eder (Zeng vd., 2019:5; Karakostas, 2013:596).

Büyük Veri Analitiği (Big Data Analytics), bireyselleşen (özelleştirilmiş ve karmaşık) taleplerdeki artışlar, iş hacimlerindeki artışlar, iç ve dış çevre faktörlerin parametrelerindeki değişimlerin sıklığı sonucu işletmelerin ihtiyaç duyabileceği her türlü veriyi çekebilme, depolama ve bunların nitelikli analizlere dönüştürülerek talep tahmini, üretim, kestirimci bakım gibi faaliyetlere dair karar alıcılara sunulmasını sağlayan geniş hacimli ve yüksek işlem hızına sahip veritabanı ve işlemcileri ifade eder (Müller vd., 2019:208). Bulut Bilişim (Cloud Computing), endüstriyel uygulamalar için katılımcıların veri transferi ya da veri depolama ve ihtiyaca göre veri çekme işlemlerini daha etkin ve ucuza yapabilmelerini sağlayan platformları ifade eder (Zhong vd., 2017:621; Salkın vd.,2018:8). Diğer bir ifadeyle Bulut Bilişim, işletme içi ya da dışında kullanılmak üzere içsel ve dışsal kaynaklardan verilerin bir süzgeçten geçirilerek toplandığı ve ihtiyaç duyan kullanıcıların hizmetine sunmak üzere depolandığı dijital platformdur (Müller vd., 2019:208).

Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality-AR), sanal sembollerin fiziksel ortamın görüntülerine bindirildiği bilgisayarlı grafik tekniğidir (Ceruti vd., 2019:518). AR, fiziksel ortamda gerçekleşen olay ya da işlemin akıllı telefon kameraları, başa takılan izleme cihazları, mekânsal ekranlar, yüksek çözünürlüklü mikro kameralar ve projeksiyon cihazlarının yardımıyla insanların 5 duyusu ile algılayabildiklerinden daha fazlasını algılayabilen, bu olay ya da işlemlerinin gerçekliği artırılmış bir şekilde bilgisayar ortamında görüntülenmesini, videolara dönüştürülmesini, 3 Boyutlu görüntülerle modellenmesini sağlayabilen teknolojik işbirliğidir (Esengün ve İnce, 2018:204; Salkın vd., 2018:10; Waibel vd., 2018:777).

Yapay Zekâ desteği ile işlevselliği artırılmış robotlar, Endüstri 4.0 çatısı altında fiziksel ortamı diğer donanımları ile birlikte algılayabilen, kendi kendine öğrenme modeli ile çalışabilen, diğer nesnelere iletişime girebilen, insanlarla birebir etkileşim içerisinde olabilen, akıllı sistemlere ve teknolojilere entegre olabilen bir yapıya sahip olacaktırlar (Dalmarco vd., 2019:3). Dolayısıyla Endüstri 4.0 çatısı altında Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi donatılmış robotlardan bireyselleşen ve içeriği karmaşık hale gelen siparişleri kolaylıkla üretebilme, ilk etapta insan gücünü aşan her türlü işlemde kullanılabilme, iş sürecinde kendisi ile ilgili verilerin yanısıra çevresindeki nesnelere ve fiziksel ortama dair veriler üretmekle aktarabilme, otonom bir şekilde kendi performansını değerlendirebilme, çeşitli sorunların tespiti ve giderilmesi sürecinde aktif görev alabilme gibi potansiyel faydalar beklenmektedir (Salkın vd., 2018:8).

Endüstri 4.0 çatısı altında İlaveli (Eklemeli) veya Katkılı Üretim Teknolojileri olarak da ifade edilen 3 Boyutlu (3 Dimensional-3D) Üretim ile ürünün tasarımı ve üretimi sürecini bilgisayar destekli bir formatta tüketicilerin

de katılımı ile gerçekleştirilerek ürünlere özel tasarımların ve prototiplerin kolayca geliştirilebildiği ve atıkların azaltıldığı katma değerli bir süreç yaşanacaktır (Beyca vd., 2018:217; Salkın vd., 2018:8). Simülasyon, problemlerin tespiti, çözülmesi veya engellenmesi çerçevesinde 3 Boyutlu olarak canlandırmanın yapılabildiği teknoloji paketidir. Endüstri 4.0 çatısı altında Simülasyon, ürün tasarımı, üretim hattının yapılandırılması, aksaklıkların doğru bir şekilde tespit edilmesi, sürecin iyileştirilmesi ve diğer konularda AR için tamamlayıcı ve destekleyici bir katkı sağlayacaktır (Bal ve Satoğlu, 2018:235; Dalmarco vd., 2019:3; Salkın vd., 2018:11; Benotsmane vd., 2019:12; Cavalcante vd., 2019:90). Yukarıda değinilen teknoloji veya bileşenler Endüstri 4.0'a dönük yatırım alanlarını ifade etmektedir.

Bu noktada Endüstri 4.0, fiziksel olarak birbirine bağlı olan üretim sürecinin aynı şekilde dijital katmanda da birbirine uçtan uca bağlanması ve fiziksel-dijital açıdan bütünleşmesini ve yatay-dikey anlamda entegrasyonun olmasını gerektirmektedir (Smit vd., 2016:20). Dolayısıyla tedarik zincirlerinde lojistik operasyonların Endüstri 4.0'a dönük yatırımlarla bütünleşmesi gerekeceğinden, Endüstri 4.0'ın lojistik hizmet üretiminde performansını, lojistik çevikliği ve esnekliği etkilemesi söz konusu olacaktır.

2.2. Lojistik Hizmet Üretim Performansı

Lojistik Hizmet Kalitesi, müşteri memnuniyeti açısından talep edilen ürünün doğru koşullar (fiyat, teslim süresi veya tarihi, doğru bilgi gibi) ile sunulmasında önemli role sahiptir. Dolayısıyla LSP'ler Lojistik Hizmet Kalitesi açısından müşterilerin algılarını tanıyarak, bunları ölçerek, sunulan hizmetin performans açısından içeriğine ve niteliğine katkıda bulunabilirler. (Mentzer vd., 2001:83-85). Lojistik Hizmet Kalitesinde kilit nokta hizmet üretim performansının hem lojistik hizmeti satın alan hem de kendisi açısından farklı şekilde ele alınacağıdır (Harrison vd. 2014:55).

Bu bağlamda lojistik hizmet üretim performansı, alıcıların siparişlerini ihtiyaç duyduğu miktarda ve istediği zamanda teslim almalarına dönük lojistik yeteneklerin sonucudur (Zhang vd., 2019:3). Çözüm odaklı, doğru kayıt tutan, zamanında ve etkin teslimat yapan bir LSP'nin hizmet sunumunda etkin bir tedarik zinciri de önemli bir rol oynayacaktır. Benzer bir şekilde lojistik hizmet üretim performansı ne kadar iyi olursa hem LSP için müşteri değeri yaratma (müşteri sadakati oluşturma), hizmet üretim kalitesi yaratma, hem de tedarik zinciri için performans artışı sağlama konusunda iyi sonuçlar elde edilecektir (Panayides, 2007:72). Endüstri 4.0 tabanlı bir tedarik zinciri, kişiselleştirilmiş siparişlerin tam zamanında ve hızlı bir şekilde teslim edilmesini sağlayacak kalitede lojistik hizmet üretim performansına ihtiyaç duyacaktır (Grabowska vd., 2020:44).

Teknik olarak Lojistik 4.0, LSP'nin içsel açıdan dikey entegrasyonu ve dışsal açıdan katılımcısı olduğu tedarik zincirleri ile yatay entegrasyonu için ileri seviyede bilişim teknolojileri, akıllı ve otonom nesnelere, Büyük Veri setleri, Bulut tabanlı akıllı ağ sistemlerinin (IoT) kullanıldığı bir dönüşümü ifade etmektedir. (Poli vd., 2018:36). Bu açıdan bakıldığında IoT ve IoT'ye entegre edilmiş sensörler, aktüatörler, RFID Sistemi, Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System-GPS) gibi bileşenler, Artırılmış Gerçeklik, 3D Üretim, Siber-Fiziksel Sistemler, Büyük Veri Analitiği, Bulut Bilişim, gibi Endüstri 4.0'ın bileşenlerinin ve Otonom veya Yarı Otonom Araçlar, Robotlar, IoT ve Bulut tabanlı Otomasyonlar, Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekâ gibi destekleyici bileşenlerin temel anlamda lojistik hizmet üretimine etkileri şu şekilde özetlenebilir (Matana vd., 2020:2-3; Bag, Yadav vd., 2020:5-10; Barreto vd., 2017:1246-1247; Manavalan ve Jayakrishna, 2019:926; Winkelhaus ve Grosse, 2020:29-31; Witkowski, 2017:767-768; Strandhagen vd., 2017:348; Nardo vd., 2020:12; Bag vd., 2020:612; Sangeetha ve Amudha, 2022:168; Tellini vd., 2019:968; Barcik, 2019:19; Beham vd., 2020:430; Imran vd., 2018:6; Meudt vd., 2017:414; Lin ve Yang, 2018:4604; Tiwong vd., 2019:2; Jose vd., 2020:3; Vujović ve Milosavljević, 2019:82; Tufano vd., 2020:63; Yavaş ve Özkan-Özen, 2020:7-8; Tang ve Veelenturf, 2019:3):

- Fiziksel açıdan olayların gerçek zamanlı olarak algılanarak yüklerin (siparişlerin) takibi, optimal rota veya güzergâh planlama ve seçimi,
- Güzergâh veya rotaların içsel ve dışsal etkenlere göre analizleri, güzergaha dair trafik, altyapı ve iklimsel gelişmeleri erkenden tespit edilmesi, 3 Boyutlu görüntüleme ve simülasyonlarla gerekli müdahaleler için karar destek sisteminin organize edilmesi ve kararların hızla uygulanması,
- Araçların ekonomik yakıt tüketimi, arızalara karşı kestirimci bakım sürecini başlatma ve uygulama, trafik kurallarına uyumluluğun sağlanması,
- Doğru yerde ve doğru zamanda tesliminin organize edilmesi konularında gerçek zamanlı erişebilirlik ve müdahale edebilme,

- Depo ve rafların optimal ve esnek bir şekilde tasarlanması, depolama ve stok yönetimine dönük olarak sürecin 3 Boyutlu olarak görüntülenmesi ve simülasyonu ile organizasyonu (stokların girişi ve doğru bir şekilde sayılması, yerleştirilmesi, raflanması, elleçlenmesi, stokların fiziksel durumunun izlenmesi, stok çıkışı, firelerin doğru bir şekilde tespiti ve stok çıkışını kapsayıcı bir şekilde teslimat sürecine veri desteği) ve sürecin iyileştirilmesi,
- Tedarik zincirinin tüm paydaşları ile LSP'nin içsel paydaşlarının erişimine açık bir şekilde fiziksel ve siber (veya dijital) ortamların yakınsanması ve karşılıklı etkileşime girmesi,
- Lojistik süreçlerin anlık gelişmeleri (öngörülemeyen olaylar) de kapsayıcı şekilde izlenmesi, kontrolü ve müdahale edilmesi, yanısıra performans değerlemeleri ve olumlu-olumsuz sapmaların analizi ve tüm süreçlere dair geniş veri desteği (mevcut ve geçmiş verileri analize katacak şekilde) ile analizlerin yapılması,

2.3. Lojistik Esneklik

Esneklik değişimlere (tehdit veya fırsatlara) yanıt vererek riskleri yönetme yeteneğini ifade eder (Swafford vd., 2008:290). Lojistik esneklik, gelen-giden gönderilerin düzenlenmesi, üretime ve tüketime dönük lojistik desteğin verilmesi, sürece dair anlık veri desteğinin sağlanması faaliyetlerini koordine etmek üzere değişimlere uyarlanma yeteneğini ifade eder (Zhang vd., 2005:72). Lojistik esneklik, operasyonel maliyetleri minimize etme, teslimat sürelerini kısaltma, teslimatlarda tutarlılık (doğru adrese doğru teslimat) gibi avantajlar kazandırarak LSP'nin müşteri memnuniyeti ile doğru orantılı bir şekilde kaliteli lojistik hizmet üretimine katkıda bulunur (Yu vd., 2017:212-213). Lojistik esneklik, teslimat sürecinin öngörülemeyen ve hızla değişen şartlara uyarlanması; bu şekilde rekabet avantajı elde edilmesi; değişen piyasa ve çevre koşullarına yanıt verecek şekilde çıkış noktasından varış noktasına kadar teslimatların ve verilerin akışını, depolanmasını, kontrol sürecini uyarlamada bir dizi seçenek üretilmesini ve bu seçeneklerden etkin bir şekilde yararlanılmasını sağlar (Swafford vd., 2006b:176).

Endüstri 4.0 ile ilgili beklentiler arasında esnek, seri, bireyselleştirilmiş üretim, gerçek zamanlı koordinasyon, değer zincirlerinin optimizasyonu, maliyetlerin azaltılması, yeni nesil iş ve hizmet modellerinin ortaya çıkarılması sayılabilir (Hofmann ve Rüsçh, 2017:25). Endüstri 4.0 ile daha fazla esneklik, etkinlik, üretkenlik, kalite, kişiselleştirilmiş üretimlerin kitleye yayılması, yeni ürünlerin geliştirilmesi ve hızla sunumu ve daha az maliyete katlanılması hedeflenmektedir (Ślusarczyk vd., 2020:1266). Bu bakımdan Endüstri 4.0 iş sürecini yönetimde; ölçme, analiz etme, modelleme, otomatikleştirme optimize edebilme ve iyileştirme yönleri ile esnekliği sağlayacaktır. Dolayısıyla Endüstri 4.0'ın, değer zinciri unsurları arasında gerçek zamanlı iletişim ve etkileşimi sağlayarak "değerin üretiminde" yeni nesil teknoloji ve uygulamaların esnekliğini de artırıcı bir etkisi olabilecektir (Salam, 2021:1702). Bu açıdan bakıldığında Endüstri 4.0'a geçiş sağlanırsa tedarik zincirine hızlilik, zamanlılık katkısının yanında esnekleşen lojistik sistemin çevik bir formda gerçekleştirilmesine katkıda bulunulabilir (Bag vd., 2020:608-611). Diğer yandan Endüstri 4.0'a dönük olarak lojistik esneklik için stokların özellikle alternatif depolarda ve dağıtım merkezlerinde sevke hazır halde tutulması, teslimat süreçlerinin iyileştirilmesini sağlayabilir (Swafford vd., 2006a:126).

2.4. Lojistik Çeviklik

Çeviklik, rekabet avantajı elde etmek üzere öngörülemeyen ve sürekli değişen şartlara hızlı bir şekilde yanıt vermektir. İşletmecilik açısından çeviklik, farklılaştırılmış üretimler sunmaya, hızlı bir şekilde taleplere ve değişimlere hızla yanıt vermeye, teslimatların süresini azaltarak özellikli hizmet sağlamaya odaklıdır (Um, 2017:11-12). Lojistik çeviklik, LSP'lerin çevresel değişimlere (bireyselleşen talep, piyasa vb.) hızla yanıt verme yeteneğini ve yüksek derecede daha duyarlı olmasını ifade etmektedir. Bu noktada bilgi sistemlerinin gerçek zamanlı veri-bilgi entegrasyonu sağlamada önemli bir etkisi olmaktadır (Zhang vd., 2019:3-4). Endüstri 4.0, değişimlere anlık uyarlanma (esneklik) hızlı cevap verme (çeviklik), kaynakları ve ekipmanları bunlara göre hızlı bir şekilde yapılandırma ve tahsis etme, sürekli iyileştirme, geniş hacimli veri desteği alma gibi avantajların yatay entegrasyon yoluyla tedarik zincirine yayarak lojistik sistemin buna göre yeniden düzenlenmesini, esnek ve çevik hale getirilmesini sağlayacaktır (Grabowska vd., 2020:31).

Endüstri 4.0, LSP'lerin kaynaklarını planlaması ve yönetmesi, tedarik zincirindeki değişimlere hızlı bir şekilde yanıt vermesi, aksaklıkların kaldırılması açısından çevikliğini artıracaktır (Barreto vd., 2017:1248-1249). Endüstri 4.0, lojistik çeviklik bakımından yüksek hacimli veri ve IoT akıllı ağlarla destekli güzergâha dair anlık gelişmeleri izleme, değişimleri ele alma, sürücülerle anlık iletişim kurma, depolama sistemlerini değiştirme,

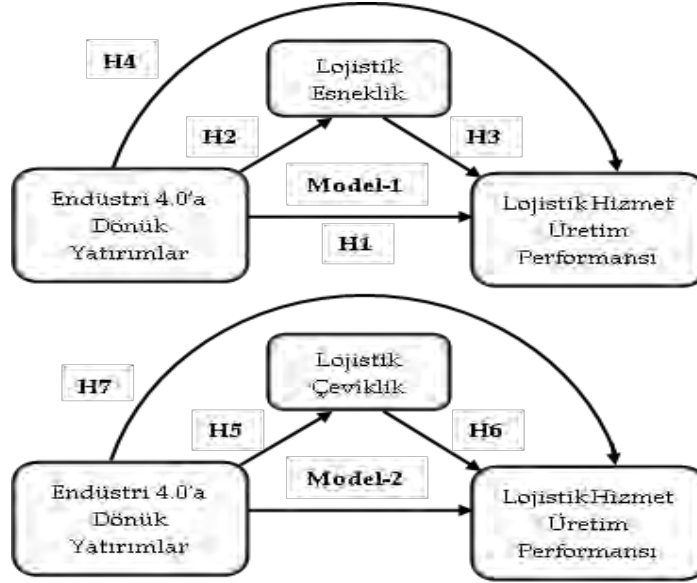
lojistik yetenekleri geliştirme ve böylelikle rekabet gücünü artırma gibi etkilerde bulunacaktır (Chen vd., 2021:25). Diğer yandan Endüstri 4.0 lojistik çeviklik için yeni nesil akıllı teknolojilerin ve sistemlerin kullanılmasını hızlandırarak depolarda elleçleme kapasitesinde artış sağlama, stokların ideal seviyelerde tutulması, hata ve hasarların azaltılması, hatalara karşı eğitimlerin artırılması, enerji tasarrufları sağlanması, teslimat süresini kısaltma, gerçek zamanlı konum takibi, filo yönetimi ve rotalamada yükleri programlama ve denetleme gibi avantajlar elde edilmesini sağlayacaktır (Yavaş ve Özkan-Özen, 2020:15).

Bu kapsamda kavramsal çerçeve dikkate alındığında Endüstri 4.0'a dönük yatırımların lojistik hizmet üretim performansına, lojistik esnekliğe ve lojistik çevikliğe etkileri olacağı ve yine Endüstri 4.0'a dönük yatırımların lojistik hizmet üretim performansına etkisinde lojistik esneklik ve lojistik çevikliğin aracılık rolünün olabileceği söylenebilir.

3. YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Modeli

Teece, Pisano ve Shuen (1997) tarafından geliştirilen Dinamik Yetenekler Yaklaşımı (Dynamic Capabilities View-DCV), işletmelerin teknoloji başta olmak üzere hızla değişen iş ortamlarına göre şekillenmesini, kaynaklarını ve yeteneklerini buna göre entegre etmesini ifade etmektedir (Matarazzo vd., 2021:644; Swanson, vd., 2017:574). Dinamik yetenekler, işletmelere çevresel değişimlere entegre olunarak çeviklik (hızlılık, zamanlılık), esneklik (entegrasyon), performans ve maliyet avantajları sağlayabilmektedir (Chen vd., 2019:1060-1062). Dolayısıyla LSP'lerin çevresel değişimlerden etkilenen ve buna göre uyarlanabilen dinamik bir örgütsel yapıya sahip olması gereklidir. Söz konusu teori, kavramsal çerçeve göz önüne alınarak oluşturulan araştırma modeli ve hipotezler aşağıdaki gibidir:



Şekil 1. Araştırma Modeli

Söz konusu araştırma modelinin bağımsız değişkeni Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımlar (E4DY); bağımlı değişkeni Lojistik Hizmet Üretim Performansı (LHÜP); aracı değişkenleri ise Lojistik Esneklik (LES) ve Lojistik Çeviklik (LÇ)'tir. Buna göre araştırma hipotezleri de şöyledir:

- **H1:** Endüstri 4.0'a dönük yatırımlar, lojistik hizmet üretim performansı üzerinde olumlu yönde etkiye sahiptir.
- **H2:** Endüstri 4.0'a dönük yatırımlar, lojistik esneklik üzerinde olumlu yönde etkiye sahiptir.
- **H3:** Lojistik esneklik, lojistik hizmet üretim performansı üzerinde olumlu yönde etkiye sahiptir.
- **H4:** Endüstri 4.0'a dönük yatırımların, lojistik hizmet üretim performansı üzerindeki etkisinde lojistik esnekliğin aracılık rolü vardır.
- **H5:** Endüstri 4.0'a dönük yatırımlar, lojistik çeviklik üzerinde olumlu yönde etkiye sahiptir.
- **H6:** Lojistik çeviklik, lojistik hizmet üretim performansı üzerinde olumlu yönde etkiye sahiptir.
- **H7:** Endüstri 4.0'a dönük yatırımların, lojistik hizmet üretim performansı üzerindeki etkisinde lojistik çevikliğin aracılık rolü vardır.

Ayrıca bu çalışmada Nicel Araştırma Modeli çatısı altında “ilişkisel tarama modeli” tercih edilmiştir. İlişkisel tarama modeli, temel anlamda iki veya daha fazla sayıdaki değişken arasında değişimin varlığı ve söz konusu değişimin derecesini belirleme amacı taşımaktadır (Karasar, 2018:114).

3.2. Evren ve Örneklem

Bu çalışma için araştırma evreni Hizmet İhracatçıları Birliği'nin “Yük Taşımacılığı ve Lojistik Hizmetleri” listesinde yer alan 251 adet firmadır. Salant ve Dillman (1994)'e göre 0,95 güven aralığında araştırma evreni 250 ise örneklem büyüklüğününün 152 olması gerekmektedir. Her ne kadar ulaşılabilir olsa da tüm firmaların (251 firmanın) araştırmaya katılması noktasında yaşanabilecek olumsuzluklar dikkate alınarak örneklemeye gidilmiş ve bu noktada olasılıklı örnekleme yöntemlerinden rastgele örnekleme tercih edilmiştir. Araştırma öncesi Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Etik Komisyonu'nun 23 Şubat 2022 tarihli ve E-11054618-302.08.01-80570 sayılı kararı (Araştırma Kod No: 2022/54) doğrultusunda Etik Komisyon izni alınmıştır.

3.3. Veri Seti

Araştırma kapsamında veri toplama aracı olarak anket tekniği tercih edilmiştir. Bu noktada katılımcılara Endüstri 4.0'a dönük yatırım türleri ve kullanım yerlerini işaretlemeleri ve 5'li Likert tipindeki önermelere “1: Kesinlikle Katılmıyorum” ile 5: Kesinlikle Katılıyorum” arasında puan vermeleri istenmiştir. “Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımlar” ölçeği ile ilgili olarak Bag ve diğerleri (2020)'nin çalışmasında yer alan “Lojistik 4.0 Yetenekleri” ölçeğindeki (söz konusu ölçeğin Cronbach Alfa değeri=0,907) 11 ifade Türkçeye uyarlanmıştır. Katılımcıların anketteki ifadeleri açık bir şekilde anlayabilmesi ve yanıt verebilmesi açısından “Lojistik 4.0 Yetenekleri” yerine “Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımlar” şeklinde uyarlama yapılmıştır. Söz konusu ölçekteki 1 ifade anlam bakımından 3 ayrı ifadeyi içerdiği için bölünmesi gerektiğine karar verilerek 3 ayrı ifadeye dönüştürülmüştür. Böylelikle söz konusu ölçek 13 ifadeli olarak Türkçeye uyarlanmış ve araştırmada kullanılmıştır.

“Lojistik Hizmet Üretim Performansı” ölçeği ile ilgili olarak Hsiao ve diğerleri (2010)'nin çalışmasında yer alan 6 ifadeli ölçek (söz konusu ölçeğin Cronbach Alfa değeri 0,810) Türkçeye uyarlanmıştır. “Lojistik Esneklik” ölçeği için Liu ve Luo (2012)'nin çalışmasında yer alan 6 ifadeli ölçek (söz konusu ölçeğin Cronbach Alfa değeri 0,855) Türkçeye çevrilmiştir. Söz konusu ölçekteki 2 ifade anlam bakımından 2 ayrı ifadeyi içerdiği için her 2 ifade de 2'ye ayrılarak 4 ifadeye dönüştürülmüştür. Böylelikle söz konusu ölçek 8 ifadeli olarak Türkçeye uyarlanmış ve araştırmada kullanılmıştır. Lojistik Çeviklik” ölçeği için Zhang ve diğerleri (2019)'nin çalışmasında yer alan 4 ifadeli ölçek (söz konusu ölçeğin Cronbach Alfa değeri 0,925) Türkçeye uyarlanmış ve araştırmada kullanılmıştır. Tüm ölçekler için ifadelerin katılımcılar tarafından açık bir şekilde anlaşılabilmesi ve katılımcıların yanıt verebilmesi açısından Türkçeye uyarlama sürecinde uzman görüşüne başvurularak gerekli düzeltmeler sonrası ankette yer verilmiştir.

Etik Komisyon iznine istinaden araştırma kapsamında Mart-2022 ile Ekim-2022 arasında yeterli örneklem büyüklüğüne ulaşmak için evrenden rastgele 200 firma seçilerek araştırmaya katılmaları teklif edilmiştir. Bu noktada 162 firma araştırmaya katılmayı kabul etmiş ve anketi doldurarak iletmiştir. Gelen 162 anketin verileri incelendiğinde 4 katılımcının tüm ölçek ifadelerine doğrudan “Kesinlikle Katılmıyorum” veya “Katılmıyorum” şeklinde yanıtlar verdikleri tespit edilmiştir. Bu noktada uç değere neden olan 4 anket, mekanik ve okunmadan yanıt verildiği ve bu uç değerlerin Yapısal Eşitlik Modellemesi açısından ölçüm sorunları oluşturacağı düşünülerak analiz dışı bırakılmış ve 158 anket üzerinden analizler yapılmıştır. Diğer yandan araştırma için sadece bu evrenle sınırlı kaldığından analiz sonuçları da buna göre yorumlanmıştır.

3.4. Verilerin Analizi

Araştırma kapsamında firmalara, Endüstri 4.0'a dönük yatırımlara ve bunların kullanım yerlerine dair veriler frekans analizine tabi tutulmuştur. Araştırma hipotezlerinin testleri için Yapısal Eşitlik Modellemesi (doğrulamalı faktör analizi ve güvenilirlik analizi, yapısal model analizi yapılarak) tercih edilmiştir. Yapısal Eşitlik Modellemesi (Structural Equation Modeling-SEM), çoklu doğrusal regresyon, faktör analizi gibi testleri içeren, nedenselliği inceleyen ve birden çok göstergeye odaklanan istatistiksel analiz biçimidir (Mayers, 2013:602). SEM açısından hem Doğrulamalı Faktör Analizi hem de Yapısal Model analizlerinde uyum iyiliğinin değerlendirilmesinde Kline (2016), Hair ve diğerleri (2019) ve Babin ve Zikmund (2016) önerileri doğrultusunda χ^2/df (Ki Kare/Serbestlik Derecesi), RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation-Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü), SRMR (Standardized Root Mean Square Residuals-

Standartlaştırılmış Artık Ortalamaların Karekökü) ve CFI (Comparative Fit Index-Karşılaştırmalı Uyum İndeksi) indeksleri seçilmiştir. “ χ^2/df ” değeri, 3 ve 3’ten düşük ise “iyi uyum” 3 ve 5 arasında ise “kabul edilebilir uyum” şeklinde yorumlanabilir (Çokluk vd., 2021:268). RMSEA değeri, 0 ile 0,05 aralığındaysa “mükemmel uyum” 0,05 ile 0,08 aralığında ise “kabul edilebilir uyum” 0,08 ile 0,10 aralığındaysa “orta seviyede uyum” 0,10 ve üzerindeyse “zayıf uyum” şeklinde yorumlanabilir (MacCallum vd., 1996:134). SRMR değeri, 0 ile 0,05 aralığındaysa “iyi uyum”, 0,05 ile 0,09 aralığındaysa “kabul edilebilir uyum” 0,10’dan büyük ise “zayıf uyum” şeklinde yorumlanabilir (Collier, 2020:67; Kline, 2016:278). Son olarak CFI değeri 0,90 ve üzeri ise “kabul edilebilir uyum” 0,90’dan düşükse “zayıf uyum” şeklinde yorumlanabilir (Byrne, 2016:96). Analiz için SPSS (Versiyon 26) ve SPSS AMOS (Versiyon 22) programından yararlanılacaktır.

4. BULGULAR

4.1. Firmalara Dair Genel Bulgular

Daha önce de ifade edildiği üzere araştırma kapsamında 4 uç değer çıkarıldığında faaliyet süresi, çalışan sayısına dair sorulara verilen yanıtlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Tablo 1. Firmalara Dair Genel Bulgular

Firmalara Dair Genel Bulgular (N=158)					
Faaliyet Süresi	Frekans	Yüzde	Çalışan Sayısı	Frekans	Yüzde
5 yıldan az	10	6,3	100'den az	34	21,5
6-10 yıl arası	13	8,2	101-200 arası	31	19,6
11-15 yıl arası	11	7	201-300 arası	37	23,4
16-20 yıl arası	14	8,9	301-400 arası	16	10,1
20 yıldan fazla	110	69,6	400'den fazla	40	25,3
Toplam	158	100	Toplam	158	100

Tablo 1'e bakıldığında faaliyet süresine ilişkin soruya katılımcıların %69,6'sı “20 yıldan fazla”; %8,9'u “16-20 yıl arası”; %8,2'si “6-10 yıl arası”; %7'si “11-15 yıl arası” ve %6,3'ü “5 yıldan az” şeklinde yanıt vermiştir. Diğer yandan çalışan sayısı sorusuna katılımcıların %25,3'ü “400'den fazla”; %23,4'ü 201-300 arası”; %21,5'i “100'den az” %19,6'sı “101-200 arası”; %10,1'i “301-400 arası” şeklinde yanıt vermiştir.

4.2. Endüstri 4.0 Yatırımlara Dair Bulgular

Endüstri 4.0'ın bileşen sayısı ve bunların lojistik faaliyetlerde kullanım potansiyelleri göz önüne alınarak yatırım türleri ve bu yatırımların lojistik faaliyetlerde kullanım yerlerine ilişkin birden fazla yanıt verilebilecek şekilde sorulmuş ve verilen yanıtlar aşağıda özetlenmiştir:

Tablo 2. Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımlara Dair Bulgular

Endüstri 4.0'a Dönük Yatırım Tipi	Firma Sayısı
Nesnelerin İnterneti (IoT)	43
Sensörler (Nesnelerin İnternetine, Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı)	70
RFID Sistemi (Nesnelerin İnternetine, Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı)	66
GPS Sistemi (Nesnelerin İnternetine, Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı)	126
Robotlar (Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı)	32
Otomasyon (İnternet Tabanlı, Çevrimiçi Akıllı Ağ Destekli, Bulut Tabanlı)	143
Bulut Bilişim	93
Artırılmış Gerçeklik	10
3D (3 Dimensional-3 Boyutlu) Üretim Tekniği	7
Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekâ	36
Otonom Araçlar (Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı)	10
Yarı Otonom Araçlar (Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı)	19
Büyük Veri Analitiği	52
Siber-Fiziksel Sistemler	38
Akıllı Konteyner	16
Diğer	4

Tablo 2, katılımcıların çoklu yanıtlarını içermektedir. Bu açıdan Tablo 2'ye bakıldığında firmalar tarafından Otomasyon (İnternet Tabanlı, Çevrimiçi Akıllı Ağ Destekli, Bulut Tabanlı), GPS Sistemi (Nesnelerin İnternetine, Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı), RFID Sistemi (Nesnelerin İnternetine, Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı), Sensörler (Nesnelerin İnternetine, Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı), Bulut Bilişim gibi Endüstri 4.0'a dönük yatırımlar yüksek sayılarda işaretlenmiştir. IoT ve IoT'ye ya da Çevrimiçi Akıllı Ağ'a bağlı yatırımların seçilme sayısı göz önüne alındığında Endüstri 4.0'a dönük olarak yatırımların bu alanlarda yoğunlaştığı söylenebilir. Diğer yandan firmaların 3D, Artırılmış Gerçeklik, Akıllı Konteyner ve Siber-Fiziksel Sistemler, Makine Öğrenmesi, Otonom-Yarı Otonom Araçlar gibi alanlarda da yatırımlara giriştikleri söylenebilir. Diğer yandan katılımcıların birden fazla seçenek işaretleyerek Endüstri 4.0'a dönük yatırımların lojistik faaliyetlerdeki kullanım alanlarına dair verilen yanıtlar aşağıdaki gibi bir tablo ile özetlenmiştir:

Tablo 3. Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımların Lojistik Faaliyetlerdeki Kullanım Alanlarına Dair Bulgular

Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımların Taşıma Faaliyetindeki Kullanım Alanları	Firma Sayısı
Siparişin İşlenmesi	112
Siparişin Teslim Alınması ve Yüklenmesi	117
Siparişin Ulaştırılması	116
Siparişin Boşaltılması	91
Taşıma Sürecinin Gerçek Zamanlı İzlenmesi, Kontrolü ve Yönetimi	133
Diğer	2
Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımların Depolama ve Stok Yönetimi Faaliyetindeki Kullanım Alanları	Firma Sayısı
Stokların Depoya Girişi ve Kontrolü	129
Stokların İstiflenmesi, Yerleştirilmesi ve Raflanması	93
Elleçleme Prosedürlerinin Gerçekleştirilmesi	93
Sevkiyatların Hazırlanması ve Stokların Depodan Çıkarılması	97
Depolama ve Stok Yönetim Sürecinin Gerçek Zamanlı İzlenmesi, Kontrolü ve Yönetimi	110
Diğer	2

Tablo 3, katılımcıların çoklu yanıtlarını içermektedir. Tablo 3'e bakıldığında katılımcılar tarafından Siparişin İşlenmesi aşamasına verilen yanıt sayısı 112, Siparişin Teslim Alınması ve Yüklenmesi aşamasına verilen yanıt sayısı 117, Siparişin Ulaştırılması aşamasına verilen yanıt sayısı 116, Siparişin Boşaltılması aşamasına verilen yanıt sayısı 91, Taşıma Sürecinin Gerçek Zamanlı İzlenmesi, Kontrolü ve Yönetimi aşamasına verilen yanıt sayısı 133 şeklindedir. Diğer seçeneği ise "evrak hazırlama ve evrak saklama güvenliği, dijital dokümantasyonun imzalanması ve paylaşılması" yanıtlarından oluşmaktadır. Depolama (Elleçleme dâhil) ve Stok Yönetimi açısından bakıldığında firmalar tarafından Stokların Depoya Girişi ve Kontrolü aşamasına verilen yanıt sayısı 129, Stokların İstiflenmesi, Yerleştirilmesi ve Raflanması aşamasına verilen yanıt sayısı 93, Elleçleme Prosedürlerinin Gerçekleştirilmesi aşamasına verilen yanıt sayısı 93, Sevkiyatların Hazırlanması ve Stokların Depodan Çıkarılması aşamasına verilen yanıt sayısı 97, Depolama ve Stok Yönetim Sürecinin Gerçek Zamanlı İzlenmesi, Kontrolü ve Yönetimi aşamasına verilen yanıt sayısı 110 şeklindedir. Diğer seçeneği ise dokümantasyon, arşivleme, katma değerli hizmetler yanıtlarından oluşmaktadır. Bu durum Endüstri 4.0'a dönük yatırımlara girişen firmaların bunları Taşıma, Depolama ve Stok Yönetimi faaliyetlerin birçok aşamasında kullandıkları ve yararlandıklarını göstermektedir.

4.3. Doğrulayıcı Faktör Analizi Sonuçları

Doğrulayıcı Faktör Analizi (Confirmatory Factor Analysis-CFA) yapı geçerliğini test etmede araştırmacının faktör yapısı hakkındaki "teorisinin" gerçek gözlemlere ne kadar iyi uyduğunun analizidir (Babin ve Zikmund, 2016:552). CFA'da faktör yükleri (göstergelerin standartlaştırılmış regresyon ağırlıkları) en az 0,50 ve üzerinde olmalıdır (Hair vd., 2019:674). Bu çalışmada CFA öncesi tüm ölçekler için Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Tablo 4. Ölçeklere İlişkin Açımlayıcı Faktör Analiz Sonuçları

Ölçek	KMO Değeri	Bartlett Küresellik Testi p Değeri	Faktör Yük Aralığı
Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımlar (E4DY)	0,890	0,000	0,485-0,814
Lojistik Hizmet Üretim Performansı (LHÜP)	0,798	0,000	0,667-0,815
Lojistik Esneklik (LES)	0,901	0,000	0,654-0,864
Lojistik Çeviklik (LÇ)	0,826	0,000	0,876-0,915

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) değeri 0,70 ve üzeri, Bartlett Küresellik Testi için anlamlılık değeri 0,05'ten küçük ($p<0,05$) ise veri setinin faktör analizine uygun olduğu söylenebilir (George ve Mallery, 2019:268). Diğer yandan AFA'da 0,05 anlamlılık seviyesinde örneklem büyüklüğü 150 ve 200 arasında ise faktör yükü en az 0,45 olması gerekmektedir (Hair vd., 2019:152). Buna göre Tablo 4'teki sonuçlar incelendiğinde tüm ölçekler için KMO değeri 0,70'in üzerinde, Bartlett Küresellik Testi bakımından anlamlılık seviyesi 0,000 çıktığından örneklem büyüklüğünün faktör analizi için yeterli olduğu söylenebilir. Diğer yandan faktör yükleri de tüm ölçek maddeleri için 0,45'in üzerinde yeterli seviyede çıkmıştır. E4DY ölçeği dışındaki tüm ölçekler için ifadeler tek faktörde toplanmıştır. AFA için ilk analiz sonuçlarına bakıldığında 13 ifadeli E4DY ölçeğinin 2 faktöre (alt boyuta) ayrıldığı gözlenmiştir. E4DY ölçeğindeki 1 ifade çok yakın değerlerle 2 faktör altında yer aldığı için analiz dışı bırakılmıştır. Kalan 12 ifade için AFA analizi yeniden çalıştırıldığında 12 ifade için yakın değerlerde yüklenme söz konusu olmamıştır. Bu 12 ifadeden ilk 7'si "Kalite" faktöründe diğer 5'i de "Katma Değer" faktöründe toplanmıştır. Tüm değişkenler CFA sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo 5. Ölçek veya Yapılara İlişkin Doğrulamalı Faktör Analizi Sonuçları

Ölçek veya Yapı	Gösterge/ Ölçek İfadesi	Modifikasyon Öncesi Faktör Yükleri ($p<0,001$)	Modifikasyon Sonrası Faktör Yükleri ($p<0,001$)	Modifikasyon Öncesi Model Uyum Değerleri	Modifikasyon Sonrası Model Uyum Değerleri
Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımlar (E4DY)	Endustri_1	0,521	0,525	$\chi^2/df=3,019$ RMSEA=0,113 CFI=0,893 SRMR=0,057	$\chi^2/df=2,219$ RMSEA=0,088 CFI=0,936 SRMR=0,0506
	Endustri_2	0,727	0,737		
	Endustri_3	0,818	0,837		
	Endustri_4	0,818	0,830		
	Endustri_5	0,669	0,658		
	Endustri_6	0,658	0,608		
	Endustri_7	0,678	0,629		
	Endustri_9	0,620	0,617		
	Endustri_10	0,736	0,735		
	Endustri_11	0,780	0,782		
	Endustri_12	0,807	0,807		
	Endustri_13	0,804	0,805		
	Lojistik Hizmet Üretim Performansı (LHÜP)	LojPerform_1	0,697		
LojPerform_2		0,751	0,680		
LojPerform_3		0,788	0,844		
LojPerform_4		0,650	0,679		
LojPerform_5		0,550	0,536		
LojPerform_6		0,561	0,524		
Lojistik Esneklik (LES)	LojEsneklik_1	0,722	0,778	$\chi^2/df=5,215$ RMSEA=0,164 CFI=0,898 SRMR=0,0582	$\chi^2/df=2,252$ RMSEA=0,089 CFI=0,973 SRMR=0,0433
	LojEsneklik_2	0,742	0,758		
	LojEsneklik_3	0,616	0,602		
	LojEsneklik_4	0,714	0,742		
	LojEsneklik_5	0,861	0,786		
	LojEsneklik_6	0,868	0,796		
	LojEsneklik_7	0,835	0,853		
	LojEsneklik_8	0,737	0,768		

Lojistik	LojCeviklik_1	0,842	-	$\chi^2/df=2,168$	-
Çeviklik (LÇ)	LojCeviklik_2	0,883	-	RMSEA=0,086	
	LojCeviklik_3	0,833	-	CFI=0,96	
	LojCeviklik_4	0,916	-	SRMR=0,0327	

Tablo 5 incelendiğinde tüm ölçekler (veya yapılar) için faktör yükleri (standartlaştırılmış regresyon ağırlıkları) 0,50'den yüksek çıkmıştır. Bu noktada ölçekten madde ya da ifade çıkarılmasına gerek kalmamıştır. Model uyum iyiliği değerleri açısından E4DY ölçeği için model çalıştırıldığında ilk değerler " $\chi^2/df=3,019$, RMSEA=0,113, CFI=0,893, SRMR=0,057" şeklinde çıkmıştır. Bu noktada χ^2/df ve SRMR değerleri açısından model uyum iyiliği sınırlarında çıkarken RMSEA ve CFI değerleri kabul edilebilir sınırlara yakın çıkmıştır. Model modifikasyon önerilerine bakılarak önerilen 1 adet ölçüm hatası birleştirme işlemi yapılmış ve ölçüm modeli yeniden çalıştırılmıştır. Buna göre modifikasyon sonrası uyum değerleri " $\chi^2/df=2,219$, RMSEA=0,088, CFI=0,936, SRMR=0,0506" şeklinde kabul edilebilir sınırlar içinde çıkmıştır. LHÜP ölçeği için model çalıştırıldığında ilk değerler " $\chi^2/df=5,297$, RMSEA=0,165, CFI=0,882, SRMR=0,0685" şeklinde çıkmıştır. Diğer yandan LES ölçeği için model çalıştırıldığında ilk değerler $\chi^2/df=5,215$, RMSEA=0,164, CFI=0,898, SRMR=0,0582" şeklindedir. Bu noktada LHÜP ve LES ölçekleri için SRMR değeri kabul edilebilir sınırlarda yer alırken χ^2/df , RMSEA ve CFI değerleri kabul edilebilir sınırlara yakın çıkmıştır. Her iki ölçek için modifikasyon önerilerine bakılmış ve 2 tane ölçüm hatası birleştirme önerisi uygulanarak model yeniden çalıştırılmıştır. Buna göre LHÜP ölçeği için modifikasyon sonrası uyum değerleri " $\chi^2/df=2,011$, RMSEA=0,08, CFI=0,978, SRMR=0,0349" şeklinde kabul edilebilir sınırlar içinde çıkmıştır. Diğer yandan LES ölçeği için modifikasyon sonrası uyum değerleri " $\chi^2/df=2,252$, RMSEA=0,089, CFI=0,973, SRMR=0,0433" şeklinde kabul edilebilir sınırlar içinde çıkmıştır. LÇ ölçeği için ölçüm modeli çalıştırıldığında " $\chi^2/df=2,168$, RMSEA=0,086, CFI=0,96, SRMR=0,0327" şeklinde kabul edilebilir sınırlar içinde çıkmıştır. Bu bağlamda LÇ ölçeği için model uyum değerleri 4 uyum indeksi açısından kabul edilebilir sınırlar içinde yer aldığı için modifikasyon önerileri uygulanmamıştır. Bu bakımdan tüm ölçekler için ölçüm modelinin verilerle uyumlu olduğu söylenebilir.

4.4. Güvenilirlik ve Yakınsak Geçerlilik Analiz Sonuçları

SEM'de Cronbach Alfa Katsayısı yerine Kompozit ya da Bileşik Güvenilirlik (Composite Reliability-CR) katsayısı ile güvenilirlik analizi yapılmaktadır. CFA faktör yüklerine dayanarak hesaplanan bu değer en az 0,70 olması gerekmektedir. Bu değer 0,70 ve üzeri ise içsel tutarlığının olduğu ve bu durum ölçümlerin hepsinin tutarlı bir şekilde aynı gizli yapıyı temsil ettiği anlamına gelir (Hair vd., 2019:676). Yakınsak geçerlilik, göstergelerin (ölçek ifadelerinin) tek bir kavramı ölçmek için birleşip birleşmeyeceğini test etmektedir. Diğer yandan yakınsak geçerliliği değerlendirmek için her bir değişken (yapı) için Çıkarılan Ortalama Varyans (Average Variance Extracted-AVE)'in hesaplanması gerekmektedir. Göstergelerin yapı üzerinde yakınsak geçerliliğe sahip olduğunu belirtmek için AVE'nin 0,50 ve üzerinde olması gereklidir (Collier, 2020:83). Buna göre tüm ölçekler için güvenilirlik katsayıları ve yakınsak geçerlilik için AVE katsayıları aşağıdaki gibidir:

Tablo 6. Ölçek veya Yapılar İçin Güvenilirlik ve Yakınsak Geçerlilik Sonuçları

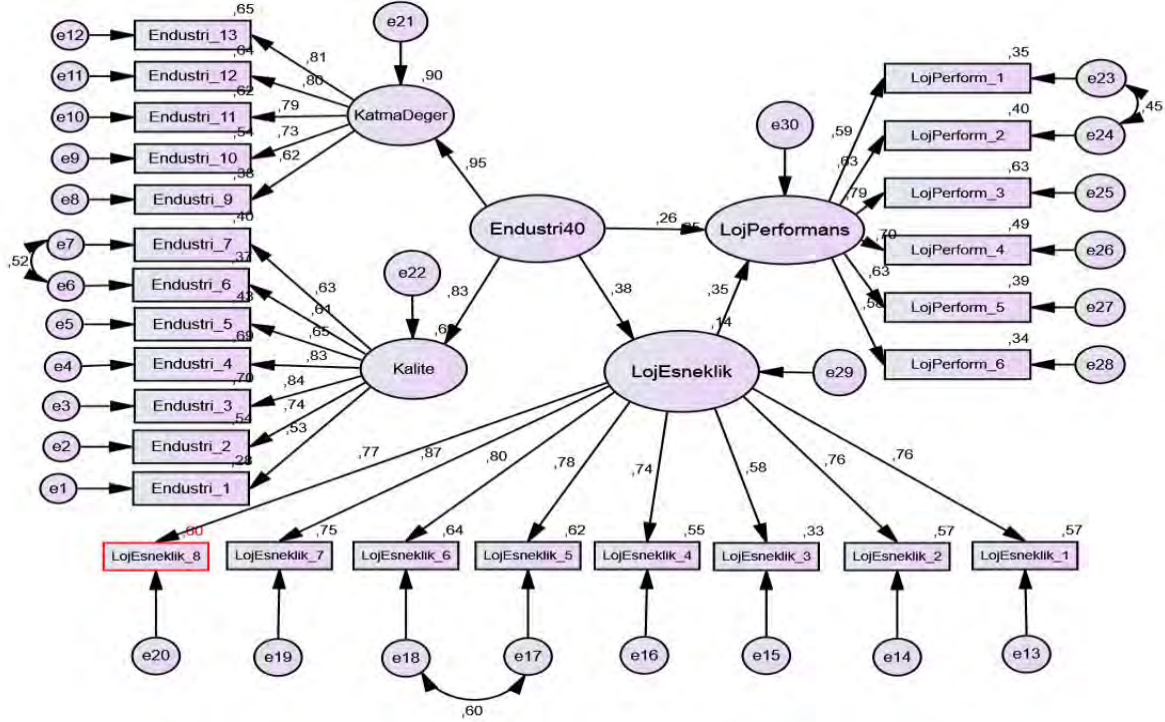
Ölçek veya Yapı	Bileşik Güvenilirlik Değeri (CR)	Çıkarılan Ortalama Varyans (AVE)
Endüstri 4.0'a Dönük Yatırımlar (E4DY)	0,957	0,655
*Kalite	0,924	
*Katma Değer	0,910	
Lojistik Hizmet Üretim Performansı (LHÜP)	0,874	0,544
Lojistik Esneklik (LES)	0,952	0,718
Lojistik Çeviklik (LÇ)	0,969	0,886

Daha önce de değinildiği üzere AFA analizi sırasında E4DY ölçeğindeki 1 ifade her iki faktöre (alt boyuta) yakın değerde yüklendiği için analizden çıkarılmış ve kalan 12 ifade ile analizlere devam edilmiştir. Tablo 6'ya bakıldığında CR değerleri genel anlamda tüm ölçekler ve alt boyutlar (Kalite ve Katma Değer) için 0,70'nin üzerinde olduğundan ölçüm tutarlı çıkmıştır. Diğer yandan her bir ölçek ya da yapı için AVE değerleri de 0,50'nin üzerindedir. Bu bağlamda tüm ölçek veya yapılar için Yakınsak Geçerliliğin olduğu ve

göstergelerin (ölçek ifadelerinin) birleşecek şekilde yakınlaşmadığı aksine ayrıştığı (çoklu bağlantı sorunu olmadığı) söylenebilir.

4.5. Hipotez Testleri

Yapısal Model, yapılar arasındaki ilişkileri, söz konusu yapılardaki değişkenlere ait göstergeleri ve ölçüm hatalarını analize katmaktadır. Her bir gösterge ayrı ayrı hesaba katılarak göstergeler ve yapılar arası ilişkiler birlikte modellenmektedir (Collier, 2020:138). Model-1 için Yapısal Model çalıştırıldığında ilk değerler “ $\chi^2/df=2,17$, RMSEA=0,086, CFI=0,851, SRMR=0,0752” şeklinde çıkmıştır. Bu noktada χ^2/df , RMSEA ve SRMR değerleri açısından kabul edilebilir sınırlar içinde çıkarken CFI açısından kabul edilebilir sınıra yakın çıkmıştır. Model modifikasyon önerileri incelendiğinde önerilen 3 tane ölçüm hatası birleştirme işlemi sırasıyla uygulanmış ve aşağıdaki gibi model ortaya çıkmıştır:



Şekil 2. Model-1 için Yapısal Model

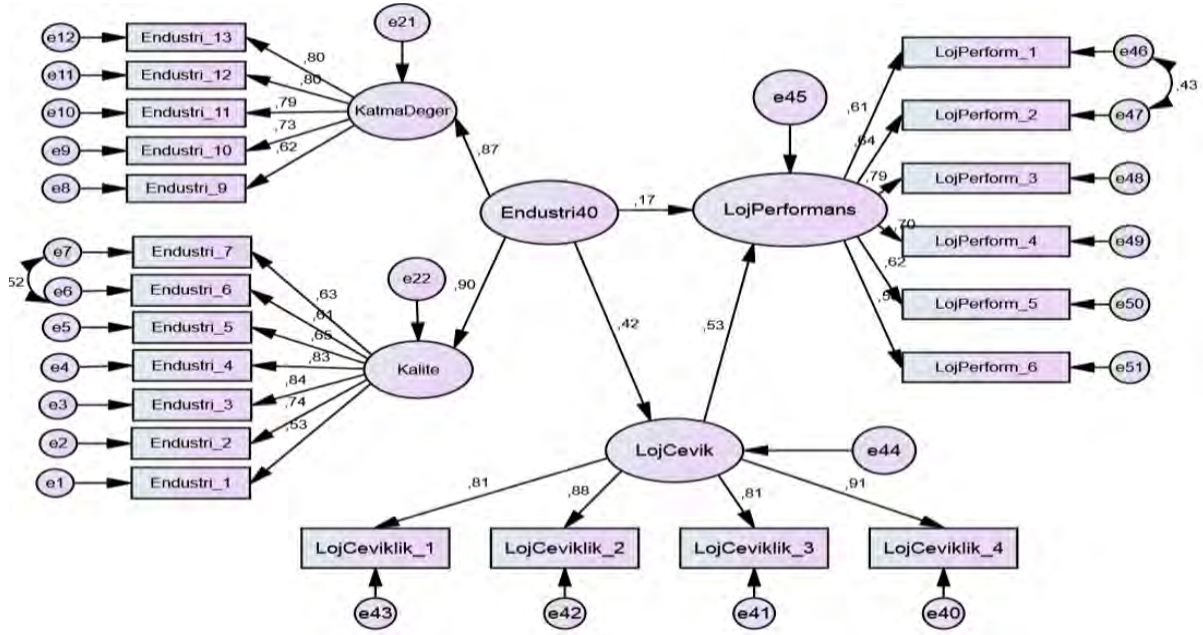
Bu noktada her bir öneri uygulanırken model uyum değerleri yeniden incelenmiştir. Şekil 2’de de görüldüğü üzere söz konusu 3 öneri uygulandıktan sonra uyum değerleri “ $\chi^2/df=1,767$, RMSEA=0,07, CFI=0,903, SRMR=0,0701” şeklinde kabul edilebilir sınırlar içinde çıkmıştır. Buna göre Model-1 için uyum değerlerinin kabul edilebilir sınırlarda yer aldığı söylenebilir. Dolayısıyla değişkenler arasında kurulan regresif ilişkiyi içeren yapısal modelin verilere uyumlu olduğu ve istatistiki açıdan geçerli olduğu söylenebilir. Model-1 için hipotez test sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo 7. Model-1 için Yol Analizi Sonuçları

Yol	Etki	Yol Değeri	p Değeri	Sonuç
E4DY → LHÜP	Doğrudan Etki	0,367	p<0,001	H1 desteklenmiştir.
E4DY → LES	Doğrudan Etki	0,375	p<0,001	H2 desteklenmiştir.
LES → LHÜP	Doğrudan Etki	0,346	p<0,001	H3 desteklenmiştir.
E4DY → LHÜP Aracılık için anlamlılık “p=0,013”	Dolaylı Etki	0,255	p<0,05 (p=0,019)	H4 desteklenmiştir.

Tablo 7’de de görüleceği gibi ilk etapta aracı değişken olmadan model çalıştırıldığında E4DY’nin LHÜP üzerinde doğrudan pozitif yönde (Regresyon Yol Değeri=0,367) anlamlı bir etkiye (p<0,001) sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu noktada H1 hipotezi desteklenmiştir. Model-1 için aracı değişken dâhil edildiğinde ise E4DY’nin LES üzerinde doğrudan pozitif yönde (Regresyon Yol Değeri=0,375) anlamlı bir etkiye (p<0,001) sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre H2 hipotezi desteklenmiştir. Diğer yandan LES’nin LHÜP üzerinde

doğrudan pozitif yönde (Regresyon Yol Değeri=0,346) anlamlı bir etkiye ($p<0,001$) sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre H3 hipotezi desteklenmiştir. Aracı değişken ile birlikte ele alındığında ise E4DY'nin LHÜP üzerinde dolaylı olarak pozitif yönde (Regresyon Yol Değeri=0,255) anlamlı bir etkiye ($p<0,05$) sahip olduğu tespit edilmiştir. Son satırdaki " $p=0,013$ " değeri aracılık etkisi testinin anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Bu noktada LES aracı değişkeni E4DY'nin LHÜP'ye olan etki değerinde azalmaya yol açsa da p değeri ($p=0,019$) anlamlı kalmaktadır. Bağımsız ve bağımlı değişken arasındaki ilişki aracı değişkenin varlığına rağmen p değeri anlamlı kalıyorsa kısmî aracılık etkisi; eğer ki anlamsızlaşıyorsa tam aracılık etkisi söz konusudur (Babin ve Zikmund, 2016:517-518). Dolayısıyla LES aracı değişkeninin E4DY ile LHÜP arasındaki regresyon yol değerini düşürse de p değerini ($p=0,019$) anlamsızlaştırmadığından kısmî aracılık rolüne sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Böylece H4 hipotezi de desteklenmiştir. Model-2 için Yapısal Model çalıştırıldığında ilk etapta " $\chi^2/df=2,191$, RMSEA=0,087, CFI=0,874, SRMR=0,0714" çıkmıştır. Buna göre CFI dışındaki diğer değerler kabul edilebilir sınırlar içindedir. Kabul edilebilir sınırlara yakın olan CFI değeri için model modifikasyon önerilerine bakılarak önerilen 2 tane ölçüm hatası birleştirme işlemi uygulanmış ve aşağıdaki gibi model ortaya çıkmıştır:



Şekil 3. Model-2 İçin Yapısal Model

Her bir modifikasyon önerisi uygulanırken uyum değerleri yeniden incelenmiş ve Şekil 3'te de görüldüğü üzere 2 öneri uygulandıktan sonra model uyum değerleri " $\chi^2/df=1,869$, RMSEA=0,074, CFI=0,909, SRMR=0,0659" şeklinde kabul edilebilir sınırlar içinde çıkmıştır. Buna göre Model-2 için uyum değerlerinin kabul edilebilir sınırlarda yer aldığı söylenebilir. Dolayısıyla değişkenler arasındaki çok sayıda regresyonu içeren yapısal model için modelin verilere uyumlu olduğu ve istatistiki açıdan geçerli olduğu söylenebilir. Model-2 için hipotez test sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo 8. Model-2 İçin Yol Analizi Sonuçları

Yol	Etki	Yol Değeri	p Değeri	Sonuç
E4DY → LHÜP	Doğrudan Etki	0,367	$p<0,001$	H1 desteklenmiştir.
E4DY → LÇ	Doğrudan Etki	0,425	$p<0,001$	H5 desteklenmiştir.
LÇ → LHÜP	Doğrudan Etki	0,534	$p<0,001$	H6 desteklenmiştir.
E4DY → LHÜP Aracılık için anlamlılık " $p=0,012$ "	Dolaylı Etki	0,169	$p>0,05$ ($p=0,08$)	H7 desteklenmiştir.

Tablo 8'e bakıldığında H1 hipotezi için sonuçlar, Model-1'deki ile aynı çıkmaktadır. Model-2 için aracı değişken dâhil edildiğinde E4DY'nin LÇ üzerinde doğrudan pozitif yönde (Regresyon Yol Değeri=0,425) anlamlı bir etkiye ($p<0,001$) sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre H5 hipotezi desteklenmiştir. Diğer yandan LÇ'nin LHÜP üzerinde doğrudan pozitif yönde (Regresyon Yol Değeri=0,534) anlamlı bir etkiye

($p < 0,001$) sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre H6 hipotezi desteklenmiştir. Aracı değişken ile birlikte ele alındığında ise E4DY'nin LHÜP üzerinde dolaylı olarak pozitif yönde (Regresyon Yol Değeri=0,169) etkisi olsa da bu etki anlamlı ($p > 0,08$) değildir. Son satırdaki " $p = 0,012$ " değeri aracılık etkisi testinin anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Bu noktada LÇ aracı değişkeni E4DY'nin LHÜP'ye etki değerinde azalmaya yol açmakta ve p değeri ise ($p = 0,08$) anlamsız kalmaktadır. Daha önce de vurgulandığı üzere bağımsız ve bağımlı değişken arasındaki ilişki aracı değişkenin dahil edilmesiyle anlamsızlaşıyorsa tam aracılık etkisinden söz edilebilir. Dolayısıyla LÇ aracı değişkeninin E4DY ile LHÜP arasındaki regresyon yol değerini düşürdüğünden ve p değerini ($p = 0,08$) anlamsızlaştırdığından dolayı tam aracılık rolüne sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Böylece H7 hipotezi de desteklenmiştir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Endüstri 4.0'a dönük yatırımlara girişmiş LSP'lerin oluşturduğu bir araştırma evreni üzerinde Endüstri 4.0'a dönük yatırımların lojistik hizmet üretim performansına, lojistik esnekliğe ve lojistik çevikliğe etkileri araştırılarak hipotez testleri yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Endüstri 4.0'a dönük yatırımların lojistik esnekliğe, lojistik çevikliğe ve lojistik hizmet üretim performansına etkilerini içeren hipotezler ile Endüstri 4.0'a dönük yatırımların lojistik hizmet üretim performansına etkisinde lojistik esneklik ve lojistik çevikliğin aracılık rollerinin olduğu hipotezler desteklenmiştir.

Diğer yandan yapılan çalışmada LSP'lerin Endüstri 4.0'a dönük yatırım yoğunluklarının Nesnelerin İnterneti odaklı olduğu gözlemlenmiştir. İlgili LSP'lerin yatırım yoğunluğu Nesnelerin İnterneti tabanlı veya destekli Sensör, RFID Sistemi, GPS Sistemi, Otomasyon şeklindedir. Endüstri 4.0'a dönük olarak Bulut Bilişim, Büyük Veri Analitiği, 3D Üretim, Artırılmış Gerçeklik, Siber-Fiziksel Sistemler, Akıllı Konteyner, Robot, Otonom-Yarı Otonom Araçlar, Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekâ gibi teknoloji ya da bileşenlere de yatırımlar yapıldığı tespit edilmiştir. Buna göre araştırma yapılan evren göz önüne alındığında lojistik sektöründe Endüstri 4.0'a dair bir potansiyelin var olduğu söylenebilir. Diğer yandan anket verileri incelendiğinde ilgili LSP'lerin Endüstri 4.0'a dönük yatırımlarını taşıma faaliyeti özelinde siparişlerin alınması, yüklenmesi, boşaltılması gibi temel aşamaların yanısıra sürecin izlenmesi ve kontrolü işlemlerinde de kullandıkları tespit edilmiştir. Ayrıca depolama ve stok yönetimi açısından ele alındığında ise bu yatırımların stokların depoya girişi, yerleştirilmesi, stok çıkışı gibi temel aşamalara ek olarak sürecin izlenmesi ve kontrolünde de kullanıldığı tespit edilmiştir. Buna göre çalışmaya katılan LSP'lerin Endüstri 4.0'a dönük yatırımlarını lojistik faaliyetlerinin birçok alt aşamasında kullandıkları ve yararlandıkları söylenebilir.

Hipotez testleri göz önüne alındığında lojistik firmalar açısından Endüstri 4.0'a dönük yatırımlar artırıldıkça hizmet üretim kalitesi bağlamında firmaların lojistik çevikliğinin, lojistik esnekliğinin lojistik hizmet üretim performanslarının olumlu yönde etkileneceği ifade edilebilir. Bu durumda LSP'ler açısından Endüstri 4.0 ile rakiplerden farklı olarak taklit edilmesi zor lojistik çeviklik, lojistik esneklik gibi dinamik yetenekler edinmek ve buna bağlı olarak verimlilik, minimize edilmiş hata düzeyi, etkinlik, katma değer, müşteri memnuniyeti boyutlarında rakiplere göre farklılaştırılmış kaliteli hizmet üretimi sağlayacak performanslar sergilenebileceği söylenebilir. LSP'lerin katma değerli, kaliteli ve rakiplerden farklılaştırılmış bir lojistik hizmet üretme performansına sahip olarak, rekabette avantajlı hale gelebilecekleri ifade edilebilir.

Araştırma kapsamında yapılan literatür taraması sonucu önceki çalışmalarla karşılaştırma yapıldığında ise Grawe ve diğerleri (2011) tarafından operasyonel esneklik ile lojistik performans arasında pozitif bir ilişkinin var olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Diğer yandan Zhang ve diğerleri (2019) tarafından dijital platformun bilgilendirici desteği ile lojistik çevikliğinin pozitif ilişkili olduğu ve lojistik çeviklik ile lojistik performansın pozitif ilişkili olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Ayrıca yazarlar tarafından lojistik çevikliğin, dijital platformun bilgilendirici desteği ile lojistik performans arasındaki ilişkiye aracılık ettiği sonucuna da ulaşılmıştır. Acar (2010)'un çalışmasında yeni teknoloji ediniminin ve teknolojilerin içselleştirilmesinin lojistik performansı olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşırlırken Karagöz ve Akgün (2015)'ünün çalışmasında ise bilgi teknoloji yeteneği ile lojistik performans arasında pozitif ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Diğer yandan Kamble ve diğerleri (2020) tarafından Endüstri 4.0 teknolojilerinin stratejik örgütsel performansa pozitif yönde etkisinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Son olarak Bag ve diğerleri (2020) tarafından Lojistik 4.0 yetenekleri ile firma performansı arasında pozitif bir ilişki olduğu; Türkcan (2022) tarafından Büyük Veri ile firma performansı arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda araştırma kapsamında yapılan hipotez testi sonuçlarından bazıları ile önceki çalışmalar arasında benzer sonuçlar elde edildiği söylenebilir. Ancak bu

çalışma ile literatür taraması çerçevesinde önceki çalışmalardan farklı olarak Endüstri 4.0'a dönük yatırımlara girişmiş LSP'lerden oluşan araştırma evreninde, saha araştırması yapılarak Endüstri 4.0'a dönük yatırımların lojistik hizmet üretim performansına, lojistik esneklik ve lojistik çevikliğe etkileri birlikte test edilerek literatüre önemli katkılar sunulduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma Hizmet İhracatçıları Birliği üyesi LSP'lerden oluşan bir araştırma evreniyle sınırlıdır. Dolayısıyla Hizmet İhracatçıları Birliği üyesi olmayan LSP'ler araştırma kapsamına alınmamıştır. Ayrıca bu çalışmada lojistik hizmeti üreten taraf açısından konu ele alınmıştır. Gelecekte Endüstri 4.0'a dönük yatırımlara girişmiş LSP'lerin sundukları hizmete dair tedarik zincirlerinin algılarını keşfetmek ve analiz etmek üzere çalışmalar yapılarak literatüre önemli katkılar sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abdul Rahman, A., Rashid, S. and Hamid, N. R. (2018). Agility and digitalization competency in logistics 4.0 in military setting: the challenge, risks and opportunities. *Asian Journal of Social Science Research*, 1(2), 1-29.
- Acar, Z. (2010). Teknolojik yetenek yatırımlarının işletmelerin lojistik hizmet performansı üzerine etkileri. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, (20), 121-140.
- Babin, B. J. and Zikmund, W. G. (2016). *Exploring Marketing Research*, Boston, Cengage Learning.
- Bag, S., Gupta, S. and Luo, Z. (2020). Examining the role of logistics 4.0 enabled dynamic capabilities on firm performance. *The International Journal of Logistics Management*, 31(3), 607-628.
- Bag, S., Yadav, G., Wood, L. C., Dhamija, P. and Joshi, S. (2020). Industry 4.0 and the circular economy: Resource melioration in logistics. *Resources Policy, Elsevier*, 68, 1-16.
- Bal, A. and Satoğlu, S. (2018). Advances in Virtual Factory Research and Applications, Üstündağ, A. and E. Çevikcan, E. (Eds.), *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Switzerland, Springer International Publishing, 235-249.
- Barcik, R. (2019). The importance of RFID technology in logistics 4.0 in the automotive company. *Scientific Quarterly Organization and Management*, 3(47), 13-21.
- Barreto, L., Amaral, A. and Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: An overview, *Procedia Manufacturing, Elsevier*, 13, 1245-1252.
- Bayram, B. and İnce, G. (2018). Advances in Robotics in the Era of Industry 4.0, Üstündağ, A. and E. Çevikcan, E. (Eds.), *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Switzerland, Springer International Publishing, 187-200.
- Beham, A., Raggl, S., Hauder, V. A., Karder, J., Wagner, S. and Affenzeller, M. (2020). Performance, quality and control in steel logistics 4.0. *Procedia Manufacturing, Elsevier*, 42, 429-433.
- Benotmane, R., Kovács, G. and Dudás, L. (2019). Economic, social impacts and operation of smart factories in industry 4.0 focusing on simulation and artificial intelligence of collaborating robots. *Social Sciences, MPDI*, 8(5), 1-20.
- Beyca, O. F., Hançerlioğulları, G., Yazıcı, I. (2018). Additive Manufacturing Technologies and Applications, Üstündağ, A. and E. Çevikcan, E. (Eds.), *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Switzerland, Springer International Publishing, 217-234.
- Büchi, G., Cugno, M. and Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and industry 4.0. *Technological Forecasting & Social Change, Elsevier*, 150, 1-10.
- Byrne, B. M. (2016). *Structural Equation Modeling with Amos*, New York, Routledge.
- Cavalcante, I. M., Frazzon, E. M., Forcellini, F. A. and Ivanov, D. (2019). A supervised machine learning approach to data-driven simulation of resilient supplier selection in digital manufacturing. *International Journal of Information Management, Elsevier*, 49, 86-97.

- Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A. and Bil, C. (2019). Maintenance in aeronautics in an industry 4.0 context: the role of augmented reality and additive manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering, Elsevier*, 6, 516-526.
- Chen, I. S. N., Fung, P. K. O. and Yuen, S. S. M. (2019). Dynamic capabilities of logistics service providers: antecedents and performance implications. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 31(4), 1058-1075.
- Chen, Y-T., Sun, E. W., Chang, M-F. and Lin, Y-B. (2021). Pragmatic real-time logistics management with traffic IoT infrastructure: Big data predictive analytics of freight travel time for logistics 4.0. *International Journal of Production Economics*, (238), 1-27.
- Cimini, C., Lagorio, A., Pirola, F. and Pinto, R. (2019). Exploring human factors in logistics 4.0: Empirical evidence from a case study. *IFAC Papers OnLine, Elsevier*, 52(13), 2183-2188.
- Collier, J. E. (2020). *Applied Structural Equation Modeling Using AMOS*, New York, Routledge.
- Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G. ve Büyüköztürk, Ş. (2021). *Sosyal Bilimler İçin Çok Değişkenli İstatistik: SPSS ve LISREL Uygulamaları*, Ankara, Pegem Akademi.
- Dalmarco, G., Ramalho, F. R., Barrosa, A. C. and Soares, A. L. (2019). Providing industry 4.0 technologies: the Case of a production technology cluster. *Journal of High Technology Management Research, Elsevier*, 30, 1-9.
- Esengün, M. and İnce, G. (2018). The Role of Augmented Reality in the Age of Industry 4.0, Üstündağ, A. and E. Çevikcan, E. (Eds.), *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Switzerland, Springer International Publishing, 201-215.
- George, D. and Mallery, P. (2019). *IBM SPSS Statistics 25 Step by Step: A Simple Guide and Reference*, New York, Routledge Taylor & Francis.
- Grabowska, S., Gajdzik, B. and Saniuk, S. (2020). The Role and Impact of Industry 4.0 on Business Models, Grzybowska, K., Awasthi, A. and Sawhney R. (Eds.), *Sustainable Logistics and Production in Industry 4.0 New Opportunities and Challenges*, Switzerland, Springer Nature, 31-49.
- Grawe, S. J., Daugherty, P. J. and Roath, A. S. (2011). Knowledge synthesis and innovative logistics processes: Enhancing operational flexibility and performance. *Journal of Business Logistics*, 32(1), 69-80.
- Gu, F., Guo, J., Hall, P. and Gu, X. (2019). An integrated architecture for implementing extended producer responsibility in the context of industry 4.0, *International Journal of Production Research*, 57(5), 1458-1477.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J. and Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis*, Hampshire, Cengage Learning EMEA.
- Harrison, A., Hoek, R. and Skipworth, H. (2014). *Logistics Management and Strategy*, Harlow, Pearson Education Limited.
- Hofmann, E. and Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry, Elsevier*, 89, 23-34.
- Horváth, D. and 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 & Social Change, Elsevier*, 146, 119-132.
- Hsiao, H. I., Kemp, R. G., Van Der Vorst, J. G. and (Onno) Omta, S. W. (2010). A classification of logistic outsourcing levels and their impact on service performance: Evidence from the food processing industry. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 75-86.
- Imran, M., Hameed, W. and Haque, A. (2018). Influence of industry 4.0 on the production and service sectors in pakistan: Evidence from textile and logistics industries. *Social Sciences, MPDI*, 7(12), 1-21.

- Jose, R. N. C., Antonio, P. P. R. and Astrid, S. M. J. (2020). Evaluation of the feasibility of implementing 4.0 industry technologies in the Last Mile processes case: Logistic Operators of the Department of Atlántico, *15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, Seville, Spain, 24-27 June 2020.
- Kamble, S., Gunasekaran, A., Dhone, C., N. (2020). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1319-1337.
- Kamble, S., Gunasekaran, A., Parekh, H. and Joshi, H. (2019). Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 48, 154-168.
- Karagöz, İ. B. and Akgün, A. E. (2015). The roles of it capability and organizational culture on logistics capability and firm performance. *Journal of Business Studies Quarterly*, 7(2), 23-45.
- Karakostas, B. (2013). A DNS architecture for the internet of things: A case study in transport logistics. *Procedia Computer Science, Elsevier*, 19, 594-601.
- Karasar, N. (2018). *Bilimsel Araştırma Yöntemleri: Kavramlar, İlkeler ve Teknikler*, Ankara, Nobel Yayın Dağıtım.
- Kline, R. B. (2016). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*, New York, The Guilford Press.
- Lin, C. and Yang, J. (2018). Cost-efficient deployment of fog computing systems at logistics centers in industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(10), 4603-4611.
- Liu, L. and Luo, D. (2012). Effects of logistics capabilities on performance in manufacturing firms. *Contemporary Logistics*, (9), 8-14.
- MacCallum, R. C., Browne, M. W. and Sugawara, H. M. (1996). Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling. *Psychological Methods*, 1(2), 130-149.
- Manavalan, E. and Jayakrishna, K. (2019). A review of internet of things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements, *Computers & Industrial Engineering, Elsevier*, 127, 925-953.
- Matana, G., Simon, A., Filho, M. G. and Helleno, A. (2020). Method to assess the adherence of internal logistics equipment to the concept of CPS for industry 4.0. *International Journal of Production Economics, Elsevier*, 228, 1-17.
- Matarazzo, M., Penco, L., Profumo, G. and Quaglia, R. (2021). Digital transformation and customer value creation in made in Italy SMEs: A dynamic capabilities perspective. *Journal of Business Research*, 123, 642-656.
- Mayers, A. (2013). *Introduction to Statistics and SPSS in Psychology*, Harlow, Pearson Education.
- Mentzer, J. T., Flint, D. J. and Hult, G. T. M. (2001). Logistics service quality as a segment-customized process. *Journal of Marketing*, 65(4), 82-104.
- Meudt, T., Metternich, J. and Abele, E. (2017). Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production. *CIRP Annuals - Manufacturing Technology, Elsevier*, 66, 413-416.
- Mohelska, H. and Sokolova, M. (2018). Management approaches for industry 4.0 - the organizational culture perspective, *Technological and Economic Development of Economy*, 24(6), 2225-2240.
- Mourtzis, D. Fotia, S. Boli, N. and Vlachou, E. (2019). Modelling and quantification of industry 4.0 manufacturing complexity based on information theory: A robotics case study. *International Journal of Production Research*, 57(22), 6908-6921.
- Müller, F., Jaeger, D. and Hanewinkel, M. (2019). Digitization in wood supply – a review on how industry 4.0 will change the forest value chain. *Computers and Electronics in Agriculture, Elsevier*, 162, 206-218.
- Nardo, M. D., Clericuzio, M., Murino, T. and Sepe, C. (2020). An economic order quantity stochastic dynamic optimization model in a logistic 4.0 environment. *Sustainability, MPDI*, 12(10), 1-25.
- Oleśków-Szłapka, J., Wojciechowski, H., Domański, R. and Pawłowski, G. (2019). Logistics 4.0 maturity levels assessed based on GDM (grey decision model) and artificial intelligence in logistics 4.0-trends and future perspective. *Procedia Manufacturing, Elsevier*, 39, 1734-1742.

- Panayides, P. M. (2007). The impact of organizational learning on relationship orientation, logistics service effectiveness and performance. *Industrial Marketing Management, Elsevier*, 36, 68-80.
- Poli, G. A., Saviani, T. N. and Júnior, I. G. (2018). Logistics 4.0: A systematic review. *Iberoamerican Journal of Project Management (IJoPM)*, 9(2), 32-47.
- Pozdnyakova, U. A., Golikov, V. V., Peters, I. A. and Morozova, I. A. (2019). Genesis of the Revolutionary Transition to Industry 4.0 in the 21st Century and Overview of Previous Industrial Revolutions, Popkova, E. G., Ragulina, Y. V. and Bogoviz, A. V. (Eds.), *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*, Switzerland, Springer International Publishing, 11-19.
- Rossit, D. A., Tohmé, F. and Frutos, M. (2019a). Industry 4.0: Smart scheduling. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3802-3813.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Engel, P., Harnisch, M. and Justus, J. (2015). Industry 4.0: the Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, *Boston Consulting Group (BCG)*.
- Salam, M. A. (2021). Analyzing manufacturing strategies and industry 4.0 supplier performance relationships from a resource-based perspective. *Benchmarking: An International*, 28(5), 1697-1716.
- Salant, P. and Dillman, D. (1994). *How to Conduct Your Own Survey*, Newyork, John Wiley & Sons.
- Salkin, C., Öner, M., Üstündağ, A. and Çevikcan, E. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0, Üstündağ, A. and E. Çevikcan, E. (Eds.), *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Switzerland, Springer International Publishing, 3-23.
- Sangeetha, A. and Amudha, T. (2022). Artificial Intelligence and Internet of Things: the Smart City Perspective, Kaliraj, P. and Devi, T. (Eds.), *Securing IoT in Industry 4.0 Applications with Blockchain*, Florida, CRC Press, Taylor & Francis Group, 161-194.
- Smit, J., Kreutzer, S., Moeller, C. and Carlberg, M. (2016). Directorate General for Internal Policies Policy Department A: Economic and Scientific Policy, Industry 4.0. *European Parliament*.
- Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O. and Vallandingham, L. R. (2017). The fit of industry 4.0 applications in manufacturing logistics: A multiple case study. *Advances in Manufacturing*, 5, 344-358.
- Swafford, P. M., Ghosh, S. and Murthy, N. (2008). Achieving supply chain agility through it integration and flexibility. *International Journal of Production Economics*, (116), 288-297.
- Swafford, P. M., Ghosh, S. and Murthy, N. (2006a). A framework for assessing value chain agility. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(2), 118-140.
- Swafford, P. M., Ghosh, S. and Murthy, N. (2006b). The antecedents of supply chain agility of a firm: Scale development and model testing. *Journal of Operations Management*, (24), 170-188.
- Swanson, D., Jin, Y. H., Fawcett, A. M. and Fawcett, S. E. (2017). Collaborative process design a dynamic capabilities view of mitigating the barriers to working together. *The International Journal of Logistics Management*, 28(2), 571-599.
- Ślusarczyk, B., Tvaronavičienė, M., Ul Haque, A. and Oláh, J. (2020). Predictors of industry 4.0 technologies affecting logistic enterprises' performance: International perspective from economic lens. *Technological and Economic Development of Economy*, 26(6), 1263-1283.
- Tang, C. S. and Veelenturf, L. P. (2019). The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. *Transportation Research Part E, Elsevier*, 129, 1-11.
- Teece, D. J., Pisano, G. and Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509-533.
- Tellini, T., Silva, F. J. G., Pereira, T., Morgado, L., Campilho, R. D. S. G. and Ferreira, L. P. (2019). Improving in-plant logistics flow by physical and digital pathways. *Procedia Manufacturing, Elsevier*, 38, 965-974.

- Tiwong, S., Rauch, E., Šoltysová, Z. and Ramingwong, S. (2019). Industry 4.0 for Managing Logistic Service Providers Lifecycle. *13th International Conference on Axiomatic Design (ICAD 2019)*, Sydney, Australia, 02 December 2019.
- Tufano, A., Accorsi, R. and Manzini, R. (2020). Machine learning methods to improve the operations of 3pl logistics. *Procedia Manufacturing, Elsevier*, 42, 62-69.
- Türkcan, H. (2022). *Endüstri 4.0 Bileşenlerinin Firma Performansı ve Rekabet Avantajı İle İlişkisi*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.
- Um, J. (2017). The impact of supply chain agility on business performance in a high level customization environment. *Operations Management Research*, 10(1-2), 10-19.
- Vujović, S. and Milosavljević, S. (2019). The fate of marketing logistics in the conditions of the 4.0. Revolution. *Novi Ekonomist*, 13(2), 76-83.
- Waibel, M. W., Oosthuizen, G. A. and Toit, D. W. (2018). Investigating current smart production innovations in the machine building industry on sustainability aspects. *Procedia Manufacturing, Elsevier*, 21, 774-781.
- Winkelhaus, S. and Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18-43.
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0 - innovative solutions in logistics and supply chains management, *Procedia Engineering, Elsevier*, 182, 763-769.
- Yavaş, V. and Özkan-Özen, Y. D. (2020). Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. *Transportation Research Part E*, 135, 1-18.
- Yu, K., Cadeaux, J. and Song, H. (2017). Flexibility and quality in logistics and relationships. *Industrial Marketing Management*, 62, 211-225.
- Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M. G. and Colantoni, A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a future development for SMEs. *Processes, MPDI*, 7(1), 1-16.
- Zeng, P., Wang, Z., Jia, Z., Kong, L. and Jin, X. (2019). Time-slotted software-defined industrial ethernet for real-time quality of service in industry 4.0. *Future Generation Computer Systems, Elsevier*, 99, 1-10.
- Zhang, M., Xia, Y., Li, S., Wu, W. and Wang, S. (2019). Crowd logistics platform's informative support to logistics performance: Scale development and empirical examination. *Sustainability*, 11, 1-19.
- Zhang, Q., Vonderembse, M. A. and Lim, J-S. (2005). Logistics flexibility and its impact on customer satisfaction. *The International Journal of Logistics Management*, 16(1), 71-95.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E. and Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A review, *Engineering, Elsevier*, 3, 616-630.