



## Türkiye’deki İhracatçı Sanayicilerin Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi Uygulamalarına Yönelik Bir Ölçek Geliştirme Çalışması



### A Scale Development Study for Turkish Exporting Industries Oriented to the Industry 4.0 and Circular Economy Implementations

DOI: <https://doi.org/10.25204/iktisad.1210107>

İbrahim Sarper KARAKADILAR\*

#### Öz

#### Makale Bilgileri

#### Makale Türü:

Araştırma  
Makalesi

#### Geliş Tarihi:

25.11.2022

#### Kabul Tarihi:

08.03.2023

© 2023 İKTİSAD

Tüm hakları  
saklıdır.



Bu çalışma sanayicilerin lojistik ve üretim süreçleriyle ilgili dijital teknolojilere dayalı yeni bir iş modeli tasarımının kurumsal performans üzerindeki beklenen etkilerinin incelenmesine yönelik bir araştırma modeli önermektedir. Çalışmanın temel amacı hem Endüstri 4.0 hem de döngüsel ekonomi kavramlarını birlikte ele alan özgün bir ölçek geliştirilmesidir. Bu araştırma her iki güncel yaklaşımın benimsenmesinin önündeki engellerin ve uygulamaya geçmesinde etkili olan itici güçlerin belirlenmesini hedeflemektedir. Literatürdeki mevcut bilgi birikiminin uyarlanmasıyla geniş kapsamlı bir anket formu oluşturulmuştur. Önerilen ölçeğin içerik geçerliliği uzmanlardan oluşan bir ekip tarafından değerlendirilmiştir. Ardından ise sektörde görev alan otuz altı profesyonel uygulayıcı tarafından anket soruları yanıtlanarak veri temin edilme süreci tamamlanmıştır. Yürütülen pilot çalışma verilerine dayanılarak yapılan keşifsel faktör analizi sonucunda ise Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi ölçeği araştırma modelinin öngördüğü gibi üç alt boyuta yüklendiği gözlenmiştir. Böylece “sürdürülebilir lojistik”, “akıllı üretim operasyonları” ve “dönüşümün önündeki engellerden” oluşmakta olan bu ölçek yapısıyla ileride yapılacak daha geniş kapsamlı araştırmalar için bilimsel birikime katkı veren bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, yeşil tedarik zinciri, pilot çalışma.

#### Abstract

#### Article Info

#### Paper Type:

Research Paper

#### Received:

25.11.2022

#### Accepted:

08.03.2023

© 2023 JEBUPOR

All rights  
reserved.



This study proposes a research model for investigating the expected effects of new business model design based on digital technologies related to logistics and production processes in manufacturing enterprises on corporate performance. The study's main goal is to create a unique evaluation scale that addresses the concepts of Industry 4.0 and the circular economy. The research aims to identify the barriers to adopting both approaches and the triggering factors in their implementation. A wide-scoped generic questionnaire was created by adapting the existing knowledge in the literature. A team of experts assessed the content validity of the proposed scale. The 36 industry practitioners who replied to the survey contributed to the end of the pilot data collection procedure. Based on the exploratory factor analysis results, the three proposed sub-dimensions of Industry 4.0 and the circular economy scale were loaded as expected. This scale development, which is based on “sustainable logistics”, “smart manufacturing operations”, and “obstacles to transformation”, has been the subject of a preliminary study. On the basis of the knowledge obtained from this exploratory research, it may be possible to conduct large-scale surveys in the future based on the novel scale presented in this study.

**Keywords:** Sustainability, green supply chain, pilot study.

**Atıf/ to Cite (APA):** Karakadılar, İ. S. (2023). Türkiye’deki ihracatçı sanayicilerin Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi uygulamalarına yönelik bir ölçek geliştirme çalışması. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 8(21), 403-420. <https://doi.org/10.25204/iktisad.1210107>

\* ORCID Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkoğlu Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, [iskarakadilar@ksu.edu.tr](mailto:iskarakadilar@ksu.edu.tr)

## Extended Abstract

### Introduction and Research Questions & Purpose:

Nowadays, two modern business concepts that define the industrial world are the circular economy and Industry 4.0. (Awan et al., 2021; Khan et al., 2021). Emerging countries often face challenges in implementing these paradigms, particularly in SMEs (Masood and Sonntag, 2020; Nguyen and Luu, 2020). This paper intends to guide how Turkish manufacturing companies should manage digitalization and become more environmentally conscious while producing during this transformation process. Increased competition in international markets requires the development of a structured evaluation scale for Turkish firms regarding these two concepts. With this scale, Turkish manufacturers might assess how they practice Industry 4.0 and circular economy. An attempt is made in this paper to identify any obstacles that Turkish manufacturing firms may encounter in adopting these approaches in their operations. Therefore, this study aims to make some recommendations for overcoming resistance to organizational change. This study analyses industry professionals' perspectives on how Turkish manufacturing firms might affect corporate performance. SMEs might succeed if they conduct their businesses in accordance with these two modern concepts.

### Literature Review:

A number of studies in the literature have reported that digital technology makes it possible for autonomous manufacturing systems to operate more efficiently and sustainably (Cousins et al., 2019; Jain et al., 2020). Digital technology also improves management integration in organizations' internal and external activities, which raises company performance (Horváth and Szabó, 2019). As a result, Industry 4.0 techniques could lead to the most efficient environmental performance (Moktadir et al., 2018; Nascimento et al., 2019). Significant barriers need to be considered for this organizational digital technology transition to succeed, especially for SME-sized firms in emerging countries (Bag and Pretorius, 2020; Lopes de Sousa Jabbour et al., 2018). The literature on this subject has looked at the general concept in great detail. However, there is a lack of research into manufacturing firms' production and logistical operations (Dalenogare et al., 2018). In the meantime, previous studies have focused only on a few specific aspects of the subject (Khan et al., 2021; Sun and Wang, 2022). Creating a novel framework that addresses the research issue holistically, which differs this study from the previous literature, for filling the research gap. All in all, this proposed structure was created by representing three sub-variables: "Green and Digital Focused Logistics Operations", "Sustainable and Intelligent System Oriented Manufacturing Operations" and "Barriers to the Corporate Transformation Strategy".

### Methodology:

This research is a pilot study for the development of a measurement scale. Similar to previous research on this subject, this study followed both qualitative and quantitative approaches in the scale-development process (Castelo-Branco et al., 2022; Mishra et al., 2022; Nguyen and Luu, 2020). Export-oriented industrial firms operating throughout Turkish industrial cities constitute the research population. A random selection from firms on the ISO-500 first and second lists located in different cities was made while deciding the research sampling. Data were obtained by sending questionnaires to the related representatives (such as senior executives, department managers, etc.) of the sampling firms via online platforms (such as corporate e-mail or LinkedIn). Using "Cronbach's alpha" test based on the 36 observations collected, it was demonstrated that the proposed scale has internal consistency. In the next step, by using exploratory factor analysis (EFA), survey items represent the variables of the research model, enabling the determination of whether they were loaded as expected.

### Results and Conclusions:

It is imperative that Turkish manufacturing firms use digital technology to redesign their production processes and supply networks if they are to achieve environmental performance and operational excellence. This paper provides a guide for adopting Industry 4.0 and the circular economy in SME-type businesses with limited organizational (i.e., capital and human) resources. As outlined here, Turkish manufacturing firms can reach their institutional goals for these two paradigms by applying the procedure outlined in this study. This survey explores the perspectives of sector executives regarding potential challenges in this transformation process. Furthermore, the potential benefits of Industry 4.0 and the circular economy for Turkish SMEs have been stated, according to industry experts. As such, firms wishing to transform can take advantage of the approach presented in this paper. Firm executives can develop an action plan for their organizations in this direction.

## 1. Giriş

2011 yılında Güney Afrika'nın Durban şehrinde gerçekleştirilen müzakerelerle Kyoto Protokolüne taraf olan ülkeler küresel ısınmanın 2 derecenin altında tutulması hedefi için sera gazı emisyonlarının düşürülmesine yönelik olarak küresel iklim eylem planı oluşturmuşlardır (CPS, 2012). Bu yıldan itibaren üretim firmalarının mevcut iş yapış tarzlarını devam ettiremeyeceği ve tabiatı korumanın birinci öncelik olduğu yeni bir dünya düzeni gündeme gelmiştir. Endüstriyel üretim yapan firmalar operasyonel faaliyetlerini bu yeni düzene uygun bir şekilde sürdürmek zorunda olduklarının farkına varmıştır. Bu sebepten ötürü pek çok sanayi firması günümüzde dördüncü endüstri devriminin sunduğu imkânlar ile sürdürülebilir büyümeyi nasıl verimli bir şekilde gerçekleştirebilecekleri sorusuna yanıt aramaya başlamıştır (Awan vd., 2021). Bu doğrultuda literatürde Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve döngüsel ekonomi prensiplerinin uygulanmasını ele alan araştırmalar sıklıkla yapılmıştır. Bu maksatla gelişmiş teknolojilerin yardımıyla sürdürülebilir operasyon yönetiminin sağlanmasına yönelik sanayi firmalarına ve tedarik zinciri üyelerine katkı sağlayan pek çok akademik makale yayınlanmıştır (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018).

Geniş perspektiften bakıldığında Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi kavramları sadece iş dünyasını ilgilendiren değil toplumun tamamı üzerinde önemli etkisi olan iki güncel yaklaşımdır. Bu bağlamda literatürde Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi kavramını ayrı ayrı ele alan on binlerce ve birlikte inceleyen ise yaklaşık binlerce akademik çalışma bulunmaktadır. Bu iki kavram mikro perspektiften ele alındığında ise operasyonel verimliliği ve sürdürülebilirliği iyileştirmek adına organizasyonel ve teknolojik ilerlemeleri ele alan çağdaş yönetim anlayışları olarak görülmektedirler (Khan vd., 2021).

Üretim firmalarının geleneksel üretim sistemine ve doğrusal ekonomi anlayışına uygun olarak tasarlanmış oldukları mevcut iş düzenlerini değiştirerek döngüsel ekonomi prensiplerini benimseyip uygulamaya geçirebilmeleriye sanılanın aksine hiç de kolay değildir. Bundan dolayı döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0 uygulamalarının benimsenmesinin sanayi firmaları üzerinde yaratacağı olası etkilerin nasıl olacağını derlenerek yorumlanması önemlidir. Literatürde yapılmış olan çalışmaların sentezlenerek bu dönüşüm sürecine yeni başlamak isteyen firmalara yol gösterici olması bu nedenle önemlidir. Bu bağlamda literatür bilgi birikimi titizlikle incelenerek Türkiye'nin kendine has koşullarına uygun sistematik bir şekilde hazırlanmış orijinal bir araştırma yapısı oluşturulmasına gereksinim vardır.

Bundan ötürü, Türkiye'deki sanayicilerin içinde yer aldıkları kendine has iş hayatı koşullarına ilişkin bir bilimsel araştırma modelinin ve buna ilişkin ölçüm sorularının (enstrümanlarının-araçlarının-maddelerinin) özgün bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi konularını birlikte ele alan bir araştırma çerçevesi geliştirilmektedir. Böylece söz konusu iki çağdaş yaklaşım ile tedarik zinciri yönetimi bağlamında entegre bir bütüncül yapının ortaya konulması mümkün olabilecektir. Bu sayede uluslararası pazarlara yüksek düzeyde ihracat yapan Türk sanayicisinin "döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0" paradigmasına hazırlık derecesi tespit edilerek ölçümlenmesi imkânı ortaya çıkacaktır.

Bu çalışma ile Türk üretim firmalarının söz konusu iki çağdaş yaklaşımı benimseyip uygulamaya geçirmeye yönelik olarak karşılaşmaları muhtemel engelleri tanımlayıp değişime karşı olan direnç ile nasıl baş edebileceklerine dair yol gösterici olunmaya çalışılmaktadır. Böylelikle bu prensiplere uygun faaliyetlerin yürütülmesinin üretim firmalarının performansı üzerinde nasıl bir etki göstereceğine dair üst yönetim algısının incelenmesi bu araştırmada hedeflenmektedir.

Bu makalenin içeriği üretim firmalarının sürdürülebilir operasyon yönetimi bağlamında üretim ve lojistik faaliyetlerine odaklanılmasıyla birlikte firmalar arası tedarik zinciri ilişkilerinin ele alınması şeklinde sınırlandırılmaktadır. Bu doğrultuda incelenen değişkenler arasındaki teorik ilişkiyi bütüncül bir çerçevede kapsayan orijinal bir çalışma olarak bu makalenin değer yaratması ve sektördeki uygulayıcılara yol gösterip, akademik birikime katkı vermesi beklenmektedir.

## 2. Literatür

Bu araştırma, gelişmekte olan ülkelerdeki küçük-orta ölçekli işletmelere (KOBİ) hem Endüstri 4.0 hem de döngüsel ekonomi yaklaşımlarının uygulanması konusunu ele almaktadır. Yapılan literatür taraması bu doğrultuda dar bir çerçevede gerçekleştirilmektedir. Böylece geliştirilmek istenen kavramsal model için gerekli bakış açısı ve faydalı bilgi net bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu çalışmada gelişmekte olan ülkelerde ve özellikle KOBİ tipi firmalarda Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesini etkileyen unsurların sistematik ve kapsamlı bir şekilde ele alınmasına odaklanılmaktadır. Böylesi bir yaklaşımla literatüre katkı verilmesi önemlidir, çünkü KOBİ tipi firmalar stratejik öncelik olarak tamamen maliyetlere ve kısa vadeli hedeflere yöneldikleri için uluslararası çalışan büyük ölçekli firmalardan temelde farklılaşmaktadırlar (Masood ve Sonntag, 2020). Böylesi bir stratejik bakış açısı farklılığı dönüşüm sürecine ilişkin yaklaşımların da açıkça ayrışmasına neden olmaktadır. Bundan ötürü kısıtlı kurumsal kaynakları olan firmaların temel kaygılarını dikkate alarak dönüşüm stratejilerini şekillendirecek özgün bir değerlendirme yapısının oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde üretim ve lojistik gibi operasyonel faaliyetler devam ederken, Endüstri 4.0 teknolojilerinin adaptasyonuna ilişkin değişim sürecinin de eş zamanlı olarak yönetilmeye çalışılması da ayrıca önemli bir sorun teşkil etmektedir. Böylesi bir sürecin yönetilmesi esnasında dijital teknolojilerden verimli bir şekilde faydalanmak için gerekli kurumsal kaynakların ve becerilerin geliştirilmesine ilişkin yenilikler de takip edilebilmelidir (Nguyen ve Luu, 2020). Üstesinden gelmesi gereken bir başka zorluk ise gerekli yatırımları yapmak için finansal fon kaynaklarına erişim sorunu yaşanmasıdır. Önceki yapılmış olan çalışmalar finansal fon kaynaklarına erişim imkânı kısıtlı olan firmaların sadece üretim atölyelerindeki makine-ekipman teknolojilerine yatırım yapmayı tercih ettiklerini belirtmektedir (Horváth ve Szabó, 2019). Hâlbuki modern yönetim anlayışına göre ideal olan operasyonel sistemi bir bütün olarak kapsayan her türlü teknolojiye yatırım yapılabilmesidir. Fakat iş süreçlerinin bütünsel olarak dijitalleşmesi için yatırım yapabilme imkânına genellikle finansal fon kaynaklarına daha kolay erişebilen firmalar sahip olabilmektedirler (Bag ve Pretorius, 2020). Bu nedenle gelişmekte olan ülkelerdeki firmalar iş yapış sistemini değiştiren dijital teknolojilere yatırım yapmaktan ziyade, sadece üretim operasyonlarında verimliliği artırmaya yönelik olarak üretim makine teknolojisine yatırım yapmayı daha çok tercih etmektedirler (Dalenogare vd., 2018). Literatürden tespit edilen bu bulguların ışığı altında, bu çalışmada üretim ve lojistik ile ilgili operasyonel performansın üzerinde dijital teknolojilerin etkisini araştırmak maksadıyla Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi kavramlarını bir arada ele alan bir araştırma modeli tasarlanmaktadır.

Göz ardı edilmemesi gereken bir başka husus ise firmaların geleneksel olarak benimsedikleri doğrusal ekonomi anlayışını devam ettirmeleri halinde, dijital teknolojilere yatırım yapılmasının çevresel sorunlara çözüm sağlamada etkisiz kalmasıdır (Dalenogare vd., 2018). Bundan dolayı Endüstri 4.0 teknolojilerinin çevreyle ilişkili sorunlara etkili bir şekilde çözüm üretebilmesi adına üretim firmalarının aynı zamanda döngüsel ekonomi prensiplerini etkin bir şekilde uygulayabiliyor olması da önemlidir (Sun ve Wang, 2022). Bu bağlamda makalenin yanıtlamaya çalıştığı araştırma sorusu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

*“Araştırma Sorusu: Günümüz iş dünyasında, gelişmekte olan ülkelerdeki KOBİ ölçekli üretim firmalarının Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi prensiplerini benimsemelerinin nedenlerini incelemek için nasıl bir araştırma modeli ve ölçüm enstrümanları oluşturulmalıdır?”*

Böylesi bir araştırma sorusuna yanıt verecek araştırma modelinin ve ölçüm enstrümanlarının (sorularının) geliştirilmesi hem sektörel uygulamalar hem de akademik bilgi birikimi açısından kritik katkılar sağlayacaktır. Bu çalışma yaratıcı bir araştırma tasarımı gerçekleştirerek iki güncel kavramı bütünsel bir yapı altında birleştirmesinden dolayı bir öncü çalışma hüviyetindedir. Bu çalışma kapsamında üzerine odaklanılan üç temel boyut bulunmaktadır. Bunlar: (i) üretim ve lojistik faaliyetlerinde operasyonel performansın iyileştirilmesi için Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu dijital otomasyon imkanlarından faydalanma seviyesi; (ii) daha düşük karbon salınımı yapılarak çevre

performansının iyileştirilmesi ve (iii) yeşil tedarik zinciri yönetimi (G-SCM) bağlamında paydaşların rolünün kavramsallaştırılmasıdır. Araştırma neticesinde, özellikle KOBİ tipi firmaların şüpheli ve isteksiz yaklaştığı bu meşakkatli yolculuğun nasıl gerçekleştirilmesi gerektiğine dair güvenilir bir yol haritasının çizilmesi sağlanabilir.

Türkiye’deki ihracat yapan sanayicilerin uluslararası arenada rekabetçi olabilmelerinin her iki yaklaşımı da benimseyip etkili bir şekilde uygulayabilmelerine bağlı olduğu söylenebilir. Dolayısıyla Türkiye’deki iş hayatının kendi iç dinamikleriyle ilgili olarak bu yaklaşımların benimsemesinin ve uygulamaya geçirilmesinin önündeki engellerin ve motive eden itici güçlerin neler olduğunun araştırılarak keşfedilmesi önemlidir. Bu nedenle araştırmanın analiz biriminin Türkiye’deki ihracatçı sanayi firmalarının olmasına karar verilmiş ve anket örneklem çerçevesi bu şekilde sınırlandırılmıştır.

### 3. Kavramsal Çerçeve

#### 3.1. Endüstri 4.0 Kavramı

Endüstri 4.0 teknolojilerinin üreticiler tarafından benimsenmesinin operasyonel süreçler üzerindeki beklenen faydalarının ve uygulamada karşılaşılmaması muhtemel zorlukların tespit edilmesi önemlidir. Bu doğrultuda daha önce literatürde model geliştirme önerisi bağlamında yapılmış olan teorik çalışmalar ve model geçerliliği test edilmiş ampirik araştırmalar incelenerek özgün bir araştırma çerçevesinin ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinin etkisini inceleyen akademik çalışmalarda temelde vurgulanan öncelikli konu üretim firmalarının operasyonel performansının iyileştirilmesi beklentisidir. Üretim süreçlerinde dijital teknolojilerden faydalanılması, işçilik ile girdi malzeme maliyetlerinin azaltılması ve işlem sürelerinin kısaltılması sayesinde daha yüksek operasyonel performans ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Dalenogare vd., 2018). Endüstri 4.0 teknolojilerinin etkisini gösterdiği kurumsal performans iyileştirme unsurları Tablo 1’de madde madde özetlenmektedir.

**Tablo 1.** Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Kurumsal Performans Üzerinde Beklenen Etkileri

Kurumsal Performans Unsurları	Literatür Dayanak
-Üretim sürecindeki hatalı çıktı oranını ve gereksiz girdi sarfiyatını azaltmak.	Awan vd., 2021; Bag ve Pretorius, 2020; Horváth ve Szabó, 2019.
-Verimliliği artırmak.	Horváth ve Szabó, 2019; Khan vd., 2021; Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018; Masood ve Sonntag, 2020.
-Pazar koşullarına daha iyi uyum sağlayarak sipariş teslim sürelerini iyileştirmek.	Awan vd., 2021; Horváth ve Szabó, 2019.
-Nakliye süreçlerinin etkinleştirilmesiyle maliyetleri düşürmek.	Awan vd., 2021; Sun ve Wang, 2022
-Güvenli çalışma ortamı sağlayarak iş kazalarını azaltmak.	Dalenogare vd., 2018; Moktadir vd., 2018; Sun ve Wang, 2022.
-Çevresel atık performansını iyileştirmek.	Cousins vd., 2019; Jain vd., 2020.
-Ürün kalitesini iyileştirerek müşteri memnuniyeti sağlayıp satışların artmasına neden olmak.	Awan vd., 2021; Dalenogare vd., 2018.

Endüstri 4.0 teknolojilerinin firma performansı üzerindeki etkileriyle ilişkili olarak literatürde vurgulanan ikinci önemli husus ise üst yönetimin operasyonel faaliyetler üzerindeki kontrolünün artması ve tam zamanlı olarak gerçek performans ölçümü yapılabilmesine olanak tanınmasıdır (Horváth ve Szabó, 2019). Endüstri 4.0 teknolojileriyle bilginin dijital teknolojiler tarafından işlenmesi, faaliyetlerin ise insan müdahalesini en düşük seviyeye indirecek şekilde otonom gerçekleşmesi söz konusu olmaktadır (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018). Bu doğrultuda ön plana çıkan teknolojik araçlar siber fiziksel sistemler olarak adlandırılan, “Nesnelerin İnterneti (IoT), Büyük Veri Analitiği, Bulut Bilişim ve Yapay Zekâ” gibi temel uygulamalardır (Moktadir vd., 2018). Bu tür yenilikçi teknolojilerden faydalanılması hem stratejik hem de operasyonel süreçlere ilişkin olarak alınan kararların kalitesinin iyileştirilmesinde büyük rol oynamaktadır. Bu kapsamda

literatürde ifade edildiği şekliyle Endüstri 4.0 teknolojilerinin yönetsel kararların alınışına ve sürecin işleyişine vermiş olduğu destek Tablo 2’de sunulmaktadır.

**Tablo 2.** Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Yönetsel Kararlara ve İş Süreçlerinin İşleyişine Etkileri

Yönetsel Destek Unsurları	Literatür Dayanak
-Üretim tesisinde yer alan makine-ekipman ile üretim sürecinde gerçekleşen tüm faaliyetlerin anlık olarak durum bilgisinin izlenmesi ve kritik performans göstergesi değerlerinin kontrol edilmesine olanak sağlaması.	Dalenogare vd., 2018.
-Dijital teknolojiden faydalanılmadığı koşullarda elde edilmesi ya da değerlendirilmesi mümkün olmayan büyük miktardaki verinin gerçek zamanlı olarak analiz edilerek karar verme süreçlerinde kullanıma hazır halde sunulması.	Horváth ve Szabó, 2019.
-Tedarik zinciri üzerinde yer alan tüm paydaşların iş süreçlerinin dijital ortamda birbirine bağlanmasıyla tedarik zinciri entegrasyonunun güçlendirilmesi sayesinde sahip olunan kaynakların etkin kullanılması.	Benešová vd., 2021.
-Zincir üyeleri arasındaki iletişimin artması ve risklerin adil dağıtılmasıyla pazara ilişkin yeni fırsatlar yakalanarak müşteriler için gerçek anlamda değer zinciri yaratılması.	Awan vd., 2021.
-Üretim ve lojistik operasyonlarının planlanıp programlanmasında optimizasyonun dijital teknolojilerin desteğiyle sağlanmasıyla birlikte olası insan hatalarından arındırılarak sistemin iyileştirilmesinin mümkün olması.	Bag ve Pretorius, 2020.
-Üretim tesisinde yer alan her türlü makine-teçhizat arızalarının tespit edilerek otonom bir şekilde tamir-onarım sürecinin gerçekleştirilmesi.	Awan vd., 2021.

Endüstri 4.0 teknolojilerine dayanılarak tasarlanan sistemin yarattığı bu tür avantajlar sayesinde üst yönetim orta kademe yöneticilere ihtiyaç duymadan doğrudan operasyonel faaliyetlerin işleyişini takip ederek gerekli kararları etkili bir şekilde alabilmektedir (Masood ve Sonntag, 2020). Üretim hattı arızaları gibi beklenmedik olaylarla karşılaşıldığında ise siber fiziksel sistemler sayesinde bu koşullara daha hızlı uyum sağlanmaktadır. Otonom teknolojilerden faydalanılarak sorunlar etkili biçimde çözüme kavuşturulabilmektedir (Dalenogare vd., 2018).

Endüstri 4.0 yaklaşımının bir diğer önemli etkisi ise dijital teknolojilerle üretim kalitesi ve verimliliğin artması neticesinde harcanan enerji ve süreç sonunda ortaya çıkan atık miktarının azaltılarak çevre performansının iyileştirilmesine katkı vermesidir (Moktadir vd., 2018). Bu kapsamda sanayi üretiminde çevre performansının iyileşmesine yönelik Endüstri 4.0 teknolojilerinin ortaya çıkardığı etkiler Tablo 3’te gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

**Tablo 3.** Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Çevre Performansı Üzerine Etkileri

Çevre Performansına Katkı Unsurları	Literatür Dayanak
-Tedarik zincirinde oluşturulan akıllı şebeke sistemiyle üretim faaliyetlerinin entegre edilmesi kaynakların daha verimli kullanılmasına ve üretim sürecinde girdi olarak kullanılan enerji ve diğer tüm malzemelerde tasarruf sağlanmasına neden olmaktadır.	Dalenogare vd., 2018.
-Üretim ile lojistik operasyonlarda zamanın verimli kullanılması sayesinde atıl bekleme süresi ve ıskarta oranları düşürülmektedir. Böylece gereksiz zaman, enerji ve kaynak harcaması önlenerek israfın ve doğaya verilen zararın ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır.	Horváth ve Szabó, 2019.
-Çevreyi olumsuz etkileyen atıkların azaltılması veya gereksiz atıkların ekonomik değere dönüştürülerek kullanılması ve tersine lojistik organizasyonlarının etkinleştirilmesi sayesinde kurumun çevre performansı önemli ölçüde iyileştirilebilmektedir.	Nascimento vd., 2019.

Ancak bahsi geçen bütün bu avantajlarına rağmen üretim firmaları tarafından Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önünde bazı ciddi engeller de yer almaktadır. Bu doğrultuda açık fikirli vizyon sahibi örgüt üst yönetim liderlik becerisine sahip olunması öncelikli temel şarttır. Bu sayede Endüstri 4.0 teknolojilerinin üst yönetim kararlarının kalitesini ve kurumsal çevre performansını arttırabilmesi mümkün olmaktadır (Bag ve Pretorius, 2020). Bu temel şartın sağlanmasının dışında literatürde vurgulandığı şekliyle aşılması gereken diğer önemli hususlar aşağıda maddeler halinde sayılmaktadır:

- Firmaların sahip olduğu mali kaynakların yetersizliği ve finansal fon kaynaklarına erişimde yaşanan güçlük (Bag ve Pretorius, 2020; Horváth ve Szabó, 2019).
- Dijital teknolojilerden faydalanılması neticesinde değişen yeni iş modeline uygun kalifiye işgücünün istihdam edilmesi veya mevcut personelin değişen koşullara uyacak şekilde yeniden eğitilmesinin yaratacağı güçlük (Bag ve Pretorius, 2020; Dalenogare vd., 2018).
- İşçiler ve orta kademe yöneticiler gibi mevcut koşullara alışmış olan iç paydaşların dijital teknolojilere dayalı yeni iş modelinin benimsenmesine karşı göstereceği örgüt içi direncin aşılması (Horváth ve Szabó, 2019).
- Tedarik zinciri üzerinde yer alan farklı örgütsel hedefleri ve farklı kurumsal kaynak imkanları olan firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerini benimsemesine yönelik gösterecekleri direnç (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018).
- Siber güvenliğe ilişkin endişeler ve gerekli hukuki düzenlemelerin eksikliğinin, zincir üyesi paydaşların güvene dayalı sağlam bir iş birliği ilişkisi geliştirmesinin önünde engel teşkil etmesi (Awan vd., 2021; Benešová vd., 2021).
- Dijital teknolojilere ilişkin teknik standartların tam oturmamış olması nedeniyle, farklı makine-cihazlar için farklı teknolojik araçların birbirine entegre edilmesinde uyum sorunu yaşanması (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018; Masood ve Sonntag, 2020).
- Dijital teknolojilere dayalı yeni bir iş sistemi tasarlanırken dönüşüm sürecinde karşılaşılan zorlukların çözümüne yönelik danışmanlık hizmetine ihtiyaç duyulduğunda her şehirde nitelikli danışmanlık hizmetinin anında temin edilememesi (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018).
- İşin yapılış koşullarının değişmesinin diğer paydaşlarla (çalışanlar, tedarikçiler, bağımsız dağıtım kanalı üyeleri gibi) çatışmalara neden olarak normal işleyen düzenin kaosa girmesi halinde bu krizin yönetilmesi gerekliliği (Horváth ve Szabó, 2019) gibi pek çok olası sorun dikkate alınmalıdır.

Bütün bu engeller bir arada değerlendirildiğinde, kısıtlı kurumsal kaynaklar ile faaliyet gösteren firmaların yeni teknolojilere yapılan yatırımın geri dönüşü konusunda endişeli olması gayet doğaldır. Çünkü KOBİ tipi firmalar giderlerinin artması, yatırımların kısa vadede finansal geri dönüşünün olmaması gibi riskleri üstlenmek istemezler. Bununla birlikte dijital teknolojilerdeki standardizasyon noksanlığı firma içindeki çeşitli araç-ekipman ve departmanlar arasındaki sistemlerin entegre edilmesinde sorun yaşanmasına neden olabilir. Ayrıca, dijital dönüşüm stratejisinin başarıya ulaşması sadece firmanın kendisinin bu dönüşüm içine girmesine bağlı değildir, onunla birlikte zincir üyesi diğer firmaların da bu dönüşüme dahil olması önemlidir. Bu noktada ise zincir üyeleri arasındaki dijital ağ tasarımının etkin bir şekilde yapılandırılmasında tüm firmaların yeterli kurumsal kaynaklara ve teknolojiyi temin edinebilme becerisine sahip olması kritik önem taşımaktadır. Böylelikle gereken yatırımlar yapılarak yeni bir tedarik zinciri yapısı oluşturulabilir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinden faydalanılarak fiziki süreçlerin sanallaştırılması ve süreçlerde tam otomasyonun sağlanması sayesinde ise hem esneklik kazanılabilmekte hem de üst yönetimin süreçlere ilişkin kontrol hakimiyeti artmaktadır. Bununla birlikte tedarik zincirinin dijital entegrasyon ile koordine edilmesi kurum dışı paydaşlarla birlikte çalışabilirlik ve neticesinde daha fazla müşteri hizmeti odaklı çalışabilme imkânı ortaya çıkarmaktadır. Öte yandan enerji ve her türlü girdi kaynak verimliliğinin sağlanması ise hem üretim maliyetlerinde hem de çevre performansı açısından önemli avantajlar kazandırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı Endüstri 4.0 teknolojilerine dayalı yenilikçi gelişmeler sayesinde firmalar pazar paylarını ve rekabet avantajlarını artırabilmektedirler. Ters bakış açısından bakıldığında eğer Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinde geç kalınması halinde rekabette geri kalınarak pazar payının azalması söz konusu olacaktır. Bundan dolayı üretim firmalarının Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseyerek mevcut iş modellerini değiştirmelerinin gerekliliği literatürde kısaca şu şekilde ifade edilmektedir:

- Yoğun pazar rekabeti ve rakiplerin baskısı (Castelo-Branco vd., 2022; Horváth ve Szabó, 2019);

- Kurumsal performansı arttırmak için yönetim karar destek sistemlerinin iyileştirilmesiyle alınan kararların kalitesinin iyileştirilmesi arzusu (Horváth ve Szabó, 2019);
- Mevcut iş süreçlerindeki verimsizlik nedenlerinin iyileştirilmesine yönelik inovasyon olanaklarından faydalanılması (Castelo-Branco vd., 2022; Horváth ve Szabó, 2019; Khan vd., 2021);
- Firmanın üretim ve lojistik süreçlerinde algılanan performansın maliyet, verimlilik, esneklik, ürün kalitesi ve üretim girdi tasarrufu bakımından optimum seviyeye getirilmesi (Dalenogare vd., 2018; Jain vd., 2020) gibi amaçlar ile Endüstri 4.0 yaklaşımının üretim firmaları tarafından benimsenmesi söz konusu olmaktadır.

### 3.2. Döngüsel Ekonomi Kavramı

Dünyada giderek artan çevre kirliliği, sera gazı salınımı ve doğal kaynakların hızla tüketilerek yok olma noktasına gelmeye başlaması neticesinde ekolojik analizi ve sosyo-ekonomik sistemi birleştiren döngüsel ekonomi anlayışı ortaya çıkmıştır (Agyabeng-Mensah vd., 2020). Döngüsel ekonomi anlayışı aslında toplumda yaşayan tüm bireylerin tüketim alışkanlıkları ve kullanılan ürünlerin tekrardan geri dönüşüm ile ekonomiye kazandırılmasına yönelik ve akıllı şehir hayatıyla bir toplumsal bilinci de içinde barındıran genel bir kavramdır (Bag ve Pretorius, 2020). Bu yaklaşımın daha dar kapsamda üreticiler açısından günümüz iş dünyasındaki karşılığı ise sürdürülebilir operasyon yönetimi olarak tanımlanmaktadır (Sun ve Wang, 2022). Üretim operasyonlarında sürdürülebilirlik prensiplerinin uygulanmasıyla doğal çevrenin korunmasına yönelik önlemler alınmaktadır. Bunun için sanayi firmalarının faaliyetlerinden kaynaklı olarak yasal çevre kirliliği standartlarına uyma, sera gazı emisyonlarını en aza indirme, tedarik zinciri boyunca karbon ayak izini azaltma ve enerji sarfiyatını azaltıp yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma gibi hedeflere ulaşmaya çalışılmaktadır (Jain vd., 2020).

Çevre performansına önem veren firmalar kaliteyi iyileştirmek, üretim maliyetlerini düşürmek, karbon ayak izlerini azaltmak böylelikle de rakipleri karşısında itibar kazanma çabası gütmedirler. Döngüsel ekonomi; ürünlerin döngüsel tasarımıyla, üreticilerin tüm üretim süreci boyunca yeşil tedarik zinciri yönetimi uygulayıp geri dönüşüm sağlamasıyla ve yeniden üretime sokulup kaynak bağımlılığının en aza indirilmesiyle doğal kaynakların korunduğu bir anlayışı temsil etmektedir (Khan vd., 2021). Yani döngüsel ekonomi kavramı uzun vadeli sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için üretim sürecinde kullanılan girdi kaynaklarının azaltılması, üretim süreci sonunda ortaya çıkan atıkların ve ömrünü tamamlamış ürünlerin geri dönüştürülerek yeniden ekonomiye kazandırılmasıyla ilgilidir (Awan vd., 2021). Bununla birlikte döngüsel ekonomi anlayışı ürün bileşenlerinin uzun süre boyunca maksimum kullanılabilirlik derecesini ve değerini korumayı amaçlayan ürün tasarımına odaklanan yeni bir üretim sistemidir (Sun ve Wang, 2022). Geleneksel yaklaşım olan doğrusal üretim anlayışının tersine, döngüsel ekonomi, ürünün yeniden kullanımı, yeniden üretimi ve geri dönüşümü yoluyla üretim süreçlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesini amaçlamaktadır (Awan vd., 2021). Bunu yaparken aynı zamanda ekonomik büyümenin kolaylaştırılmasını da sağlamaktadır. Döngüsel ekonomi prensiplerinin uygulanıp sistemin dengelenmesinde yeşil tedarik zinciri uygulaması kritik başarı unsuru olarak rol oynamaktadır (Agyabeng-Mensah vd., 2020). Yeşil tedarik zinciri anlayışıyla üye firmaların göstereceği koordineli çabayla sürdürülebilirliğe ilişkin zorlukların üstesinden gelinebilmesi mümkün olmaktadır. Bu bağlamda ömrünü tamamlamış ürünlerin tedarik zinciri boyunca tersine lojistik faaliyetleriyle geri iade alınması döngüsel ekonominin tipik bir uygulamasıdır (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018).

Döngüsel ekonomi anlayışı iki anahtar unsura dayanmaktadır (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018). İlk unsur olan biyolojik döngü ekosistemi, doğal kaynakların aşırı kullanımının azaltılması, yenilenebilir malzemelerin kullanılması ve organik atıkların yeniden kullanılmasını içermektedir.

İkinci unsur ise teknik döngüyle ilgili olmaktadır. Bu kapsamda, ürünün yeniden kullanımının sağlanması, onarım-tamir sonrası kullanım ömrünün uzatılması, kullanım ömrünü tamamlayan



ürünün imha edilmek yerine geri dönüşüm sürecine sokularak tekrardan üretim girdisi olarak kullanılması gibi uygulamaları içermektedir. Döngüsel ekonomi prensiplerine göre üretilmiş olan bir ürünün kullanım süresinin maksimum seviyeye çıkarılması ile üretim süreçlerinde ve ürünün kullanımı esnasında doğaya verilen zararın olası en düşük etki düzeyine düşürülmesi öncelikli hedefdir. Döngüsel ekonomi anlayışının etkin bir şekilde uygulanması ise zincir üzerindeki paydaş kurumlar arası iletişimin etkinliğine ve zincir boyunca atıkların yeniden değerlendirilmesine bağlıdır. Ancak bu koşulların yerine getirilmesi ise dijital teknolojilere dayalı akıllı sistemin oluşturulmasıyla mümkündür. Bu nedenle literatürde bu tür döngüsel ekonomi uygulamaları sıklıkla Endüstri 4.0 yaklaşımıyla ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte yeşil tedarik zinciri konseptinde ortak hareket edecek paydaşların belirlenmesi ve uygulamaların değer zinciri boyunca etkin bir şekilde genişletilmesinin de ön plana çıkan bir diğer kritik başarı faktörü olduğu belirtilmektedir (Awan vd., 2021).

### 3.3. Araştırma Modelinin Teorik Dayanakları

Sosyo-ekonomik ve çevresel yönetim gibi konuları içeren geniş kapsamlı bir araştırma modeli geliştirilirken sadece tek bir teoriye dayandırılarak araştırmanın yapılandırılması yeterli olmamaktadır. Bu nedenle daha geniş bir oluşumla araştırma modelinin karakterize edilerek daha kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu maksatla araştırma modeli tasarımının temelinde birbiriyle ilişkili beş teorik çerçeveye dayandırılarak geliştirilmesi uygun olacaktır. Bu teorilerden ilk olarak geleneksel (resource-based view) ve doğa kaynak temelli görüş (natural resource-based view) yaklaşımları dikkate alınmaktadır. Doğa kaynak temelli teorik bakış, konvansiyonel kaynak temelli görüşün çevresel kaygılar ile ilişkilendirilerek günümüzün çevresel sürdürülebilirlik hedefine yönelik olarak uyarlanmış halidir. Bu teorik yapı bir organizasyon ile doğal çevresi arasındaki uyumun daha iyi anlaşılması ve bu doğrultuda sahip olunan kaynakların etkin kullanılmasının gerektiği görüşünü benimsemektedir (Cousins vd., 2019). Geleneksel kaynak temelli görüş ise bir firmanın sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmek için değerli, nadir ve taklit edilemez kaynaklarını nasıl kullanması gerektiğini açıklayan bir teorik çerçeve sunmaktadır. Diğer bir ifadeyle, firmaların sahip oldukları mali ve beşerî kaynaklar ile yönetsel yetenekleri sayesinde sürdürülebilir rekabet avantajı yaratılarak örgüt performansının artmasına neden olduğu görüşü savunulmaktadır (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018).

Üretim firmalarının değişim stratejisi belirlerken etkili olan temel motivasyon kaynaklarının incelenmesi de ayrıca faydalı sonuçlar doğuracaktır. Yani, “kurumsal yönetimin profesyonelleşme arzusu, rakip firmaların performans iyileştirme yönündeki çabaları, tedarik zincirinden gelen talep” gibi unsurları kapsayacak şekilde araştırma ölçüm soruları geliştirilmelidir. Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi yaklaşımlarını benimsemek için sahip olunması gereken kurumsal kaynaklar ve yeteneklerin (yatırım bütçesi imkânı, nitelikli yetkin insan kaynağı, üst yönetim vizyonu) araştırma modeline dâhil edilmesi bu açıdan önemlidir. Öte yandan çevreye ilişkin kaygılarla ilgili olarak ise karbon salınımı ve katı atık kirliliğinin önlenmesine yönelik tedbirlerin alınması ve daha temiz çevre dostu teknolojilere yatırım yapılarak sürdürülebilir üretim ile faaliyetlerin yürütülmesinin de araştırma çerçevesine dâhil edilmesi uygun olacaktır. Bunların dışında doğa kaynak temelli görüş teknolojik ürün geliştirilmesi yoluyla ürünleri yaşam döngüsü boyunca kullanmanın çevreye olan maliyetlerinin en aza indirilerek firmanın çevre üzerindeki yükünün iyice azaltılması gerektiği görüşünü de benimsemektedir. Ancak bu araştırmanın konsepti gereği bu boyutun araştırmanın ana hedefiyle örtüşmediği düşünüldüğünden araştırma modeline dâhil edilmemiştir.

İkinci olarak ise ekolojik modernleşme teorisi (ecological modernization theory) ve uygulamaya dayalı görüş teorisi (practice-based view theory) penceresinden araştırma modeli yapılandırılmaktadır. Ekolojik modernleşme teorisi, ekonomik büyümeden kaynaklanan çevresel sorunlarla baş edilirken firmanın operasyonel verimliliğinin teknolojik imkânlardan faydalanılarak optimize edilmesi sayesinde olumsuz çıktılar bertaraf edilmesi görüşüne dayanmaktadır. Örneğin,

teknolojik imkanlarla yeniden tasarlanan yeşil tedarik zinciri ağının kaynak verimliliğini iyileştirmesi sayesinde çevre ve ekonomik performansın bir arada artacağı iddia edilmektedir (Khan vd., 2021). Yeşil tedarik zinciri yapılanması üzerine inşa edilen uygulamaya dayalı görüş teorisiye zincir üzerinde faaliyet gösteren çeşitli şirketlerin birlikte yarattıkları etkinin taklit edilemez bir iş performansı yarattığı ve böylece rakiplerinden farklılaşarak rekabet avantajı kazanılacağı görüşünü benimsemektedir (Sun ve Wang, 2022). Bu teorilere dayanılarak araştırma modelinin temel değişkenlerinden olan üretim süreci ve lojistik süreçlere ilişkin operasyonel performans boyutları oluşturulmaktadır.

Son olarak da teknoloji kabul modeli (technology acceptance model) ile araştırmanın teorik desteği tamamlanmaktadır. Teknoloji kabul modeli teorisi firmaların dijital teknoloji sistemlerini benimsemesi ve kullanılmasıyla kurumsal dönüşüm ve değişimin gerçekleştirilmesi neticesinde firmaların rekabetçi olacağını iddia etmektedir (Nguyen ve Luu, 2020). Bu yaklaşım bir firmanın güncel teknolojiyi kabul ederek dönüşüm sürecine girmesinin öncelikle firma büyüklüğü, kurum kültürü gibi faktörlere bağlı olduğu görüşünü benimsemektedir. Bununla birlikte benimsenecek olan teknolojinin işleyen sisteme yapacağı olası verimlilik katkısı (algılanan kullanılabilirliği) ve mevcut işleyişe kolaylıkla adapte olabilmesi (algılanan kullanım kolaylığı) firmanın teknolojinin kabul edilmesine yönelik tutum veya davranışı önemli ölçüde etkilemektedir (Masood ve Sonntag, 2020). Bu nedenle önerilen araştırma modelinin geliştirilmesinde son olarak teknoloji kabul modeli görüşüne dayanılarak firmaların Endüstri 4.0 teknolojilerini benimsemesinde etkili olabilecek temel faktörler ölçüm maddesi haline sokularak araştırma kapsamına dâhil edilmiştir.

### 3.4. Önerilen Araştırma Modelinin Geliştirilmesi

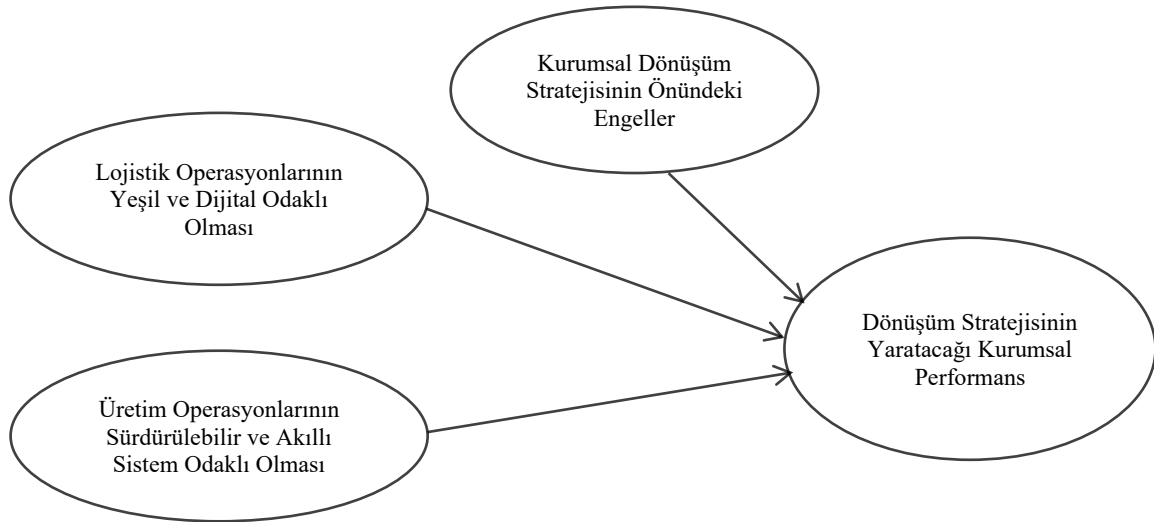
Avrupa Birliği Yeşil Mutabakat (Green Deal) politikası 2050 senesine ilişkin olarak düşük karbon ekonomisine geçiş için iddialı hedefler ortaya koymasına, beraberinde zorlayıcı yasal yaptırımları da gündeme getirmiştir. Bu bağlamda özellikle sanayicilerin operasyonel faaliyetlerinde daha çevre dostu olmaları, sera gazı salınımını azaltmaları ve daha az girdi kullanarak üretim süreçlerini tamamlayabilmeleri için döngüsel ekonomi uygulamalarının dikkate alınması gerekmektedir. Döngüsel ekonomi anlayışı sadece firmanın üretim süreçleriyle ilgili değildir, bununla birlikte kurum içindeki ve tedarik zinciri boyunca gerçekleştirilen tüm faaliyetleri de kapsamaktadır. Toplumun tüm bireylerinin katılımıyla koordineli bir şekilde organize edilerek uygulanması gerekmektedir. Ancak böylesi kapsamlı bir organizasyonun tek başına geleneksel imkânlar ile etkin bir şekilde yürütülmesi mümkün değildir. Bunun için gelişmiş ileri teknoloji desteğiyle tüm toplumu kapsayan (akıllı şehirler, sürdürülebilir üretim anlayışı, optimize edilmiş tersine lojistik yönetimi gibi uygulamalarla) bir organizasyonel yapılanmayla makro seviyede düzenlenmesi gereklidir (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2018).

Bundan ötürü modern dijital teknolojilerden faydalanmak döngüsel ekonomi prensiplerinin etkin bir şekilde uygulanması üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Sun ve Wang, 2022). Bu nedenle döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0 kavramlarının kapsamlı bir şekilde oluşturulmuş olan araştırma modeliyle incelenmesi önemlidir. Fakat literatürde üretim ve lojistik operasyonları perspektifinden bu iki konsepti birlikte inceleyen çalışma sayısı ise hemen hemen yok denilecek kadar azdır (Dalenogare vd., 2018) ve mevcut çalışmaların ortaya koyduğu araştırma modelleri ise konuyu oldukça dar çerçeveden ele almaktadır (Khan vd., 2021; Sun ve Wang, 2022). Bu nedenle geniş kapsamlı bir araştırma modeli geliştirilmesi sürecinde üreticilerin yaşadıkları sorunların tespit edilmesi birinci öncelik olmaktadır. Günümüz rekabetçi iş dünyasında sanayi firmalarının yaşadığı tipik sorunlar aşağıda ifade edildiği gibi kategorize edilebilir (Bag ve Pretorius, 2020).

- Dijital teknoloji içeren yeni üretim tesislerinin ilk kurulum maliyetinin aşırı yüksek olması;
- Tedarik zincirinin karmaşıklığı ve zincir üyeleri arasında şeffaf bir şekilde iş birliği yapmaya yönelik isteksizlik;

- Çevreye duyarlı yeni ürünlerin ve üretim süreçlerinin tasarımı için gerekli teknik bilginin yetersizliği;
- Üretim firmaları tarafından genellikle kritik performans göstergeleri olarak tanımlanmış olunmasına rağmen, üretim süresinin gecikmesi ve çıktı kalitesinin yetersizliği ile yüksek fire miktarının taviz verilerek kabul edilmesi;
- Kritik performans göstergelerinin iyileştirilmesine yönelik gerekli radikal tedbirlerin alınarak yeni iş performans standartlarının belirlenmesine yönelik dirayetli duruş sergilenmemesi;
- Üretim süreci verimsizliğinin yarattığı israftan kaynaklanan yüksek maliyetlere katlanılması gibi etmenler etkili olmaktadır.

Günümüz iş dünyasında böylesi düşük performans göstergeleriyle baş edebilmenin en etkili yolu ise üretim ve diğer bağlantılı süreçlerin dijital otonom teknolojiler ile yönetilmesine bağlıdır. Süreçlerin optimal ölçek ile planlanması ve planlandığı gibi sürecin hatasız bir şekilde uygulamaya geçirilmesi ancak akıllı dijital teknolojiler ile sağlanabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında bu çalışmanın öncelikli amacı, Endüstri 4.0 teknolojileri ve döngüsel ekonomi ilkelerinin kullanılmasının üretim firmalarının performansı üzerinde nasıl bir etki göstereceğine yönelik üst yönetim algısının değerlendirilmesidir. Bu doğrultuda araştırma modelini geliştirmek için önceki bölümlerde ifade edildiği gibi detaylı literatür taraması yapılmıştır. Araştırma konusuna ilişkin kavramlar standardize edilerek olası yanlış anlamaların ve önyargıların oluşma ihtimalinin azaltılması ile incelenen araştırma konusunun bütünsel olarak anlaşılması hedeflenmiştir. Neticede, Şekil 1’de sunulduğu üzere Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi ölçeğini temsil eden üç alt boyut ile bağımlı değişken olarak kurumsal performans beklentisini içeren bir araştırma modeli önerisi geliştirilmiştir.



Şekil 1. Önerilen Araştırma Modelinin Dört Temel Değişkeni

#### 4. Araştırma Yöntemi

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ölçek sorularının oluşturulmasında literatürde benzer amaç ile daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda (Castelo-Branco vd., 2022; Mishra vd., 2022; Nguyen ve Luu, 2020) olduğu gibi ikili yaklaşımla nitel ve nicel süreç aşamaları bir arada uygulanmıştır. Nitel değerlendirmede tümdengelim yaklaşımıyla çalışmanın ana teması olan Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi ile ilgili literatürdeki mevcut bilgi birikiminin Türk sanayicileri için uyarlanmasına yönelik bir çaba sarf edilmiştir. Hemen akabinde ise tümevarım yaklaşımıyla yarı yapılandırılmış görüşmeler sayesinde geliştirilen anket sorularının uygunluğuna bakılmıştır. Daha sonrasında sektördeki uygulayıcılarla bir pilot anket çalışması yürütülerek keşifsel bir nicel süreç yürütülmüştür.

#### 4.1. Nitel Süreç Aşaması

Bu çalışmanın hedefi doğrultusunda gerçekleştirilen nitel süreç kapsamında döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0 teknolojilerine Türk sanayicisinin bakış açısını değerlendirmek maksadıyla özgün bir ölçek geliştirilmektedir. Bunun için literatürde uygulandığı şekliyle sıralı bir ölçek geliştirme prosedürü uygulanmaktadır (Mishra vd., 2022; Nguyen ve Luu, 2020). Bu süreçte araştırmanın hedefi doğrultusunda ifade edilmiş olan ölçüm sorularına ekleme, silme ve yeniden ifade etme içeren tekrar etmeli bir süreç ile üç tur revizyon gerçekleştirilerek önerilen ölçüm soruları tasarlanmıştır.

Nitel akışın ilk aşamasında, literatür taramasına dayanılarak geniş çerçevede “Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi” yaklaşımlarına ilişkin olarak genel kavramlar tespit edilip tematik analiz süreci tamamlanmıştır. Tespit edilmiş olan kavramların konseptte uygun olarak yorumlanmasıyla genel araştırma çerçevesi ortaya çıkarılmıştır. Bu doğrultuda teorik temellere dayalı olarak Şekil-1’de gösterildiği üzere toplamda 34 soru ile değerlendirilen üç alt boyutu içeren “Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi” uygulamalarını temsil eden ikincil faktör yapısında bir ölçek oluşturulmuştur. Bu uygulamaların sanayi üretimi yapan firmalar üzerindeki olası etkilerinin nasıl olacağını değerlendirmek amacıyla, önerilen modele bağımlı değişken olarak 7 ölçüm sorusundan oluşan kurumsal performans beklentisi değişkeni de eklenmiştir.

Oluşturulan ölçüm sorularının değerlendirilmesi için öncelikle ISO-500 listesinde yer alan modern üretim tesisi olup geniş ölçüde ihracat yapan bir firmanın araştırma konusuyla ilgili olan yetkilileriyle yarı yapılandırılmış bir mülakat süreci gerçekleştirilmiştir. Mülakat neticesinde Türk sanayicisi için kritik önem taşıyan hususlar tespit edilerek ilk aşamada önerilen araştırma modelinde ve ölçüm sorularında revizyona gidilmiştir. Ardından ise önerilen ölçüm sorularının araştırma kapsamında uygulanabilirliği, doğruluğu, araştırma modelini temsil edilebilirliği ve araştırmanın spesifik amacı doğrultusunda kapsamını aşp aşmadığı bakımından incelemesi yapılmıştır. Bu maksatla literatürde önceki yapılmış çalışmalarda kullanılan mevcut ölçekler (Benešová vd., 2021; Dalenogare vd., 2018; Masood ve Sonntag, 2020; Sun ve Wang, 2022) ile kıyaslanarak nitel değerlendirme süreci tamamlanmıştır. Nitel sürecin bu son aşamasında sorular üzerinde bazı düzeltmeler yapılarak anket uygulaması esnasında yanıtlayıcılar tarafından daha net anlaşılmasına yönelik çaba sarf edilmiştir.

#### 4.2. Nicel Süreç Aşaması

Anket formunun geliştirilmesiyle ilgili yürütülen nitel sürecin ardından, ortaya çıkan 41 soruluk orijinal anket tasarımının bütünsel olarak değerlendirilmesi için uzmanlardan oluşan bir ekibe geliştirilen taslak ölçek formu bir kez daha sunulmuştur. Böylece araştırma modelinde yer alan boyutların ve ölçüm maddelerini temsil eden anket sorularının doğrulanmasında deneyimli akademisyen ve profesyonel danışmanlardan oluşan uzman ekibin görüşleri alınmıştır. Bu aşamayla literatürde (Jain vd., 2020) vurgulandığı gibi bir prosedür izlenerek araştırmanın içerik geçerliliğinin onaylanmasında altı kişilik uzman ekibin detaylı görüşlerinden faydalanılmıştır. Bu uzmanlardan üç tanesi araştırma konusuyla ilgili olarak farklı sektörlerde faaliyet gösteren çeşitli firmalara profesyonel danışmanlık hizmeti sunma deneyimine sahip kişilerden oluşmaktadır. Diğer üç uzman ise araştırma konusu olan döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0 kavramlarına akademik olarak üst düzeyde aşina olan üniversite öğretim üyelerini içermektedir.

Uzmanlardan her bir soruya ilişkin olarak “araştırma konusuyla ilgili”, “kararsızım” ve “araştırma konusuyla ilgili değil” şeklinde görüşlerini belirtmeleri istenmiştir. Eğer bir soru için altı kişilik uzman ekibin yarısından fazlası olan en az dört kişi araştırma konusuyla ilgili olduğunu ifade etmiş ise söz konusu ölçüm maddesi uygun bulunarak içerik geçerliliğinin sağlandığına dair güçlü bir kanaat oluşturmaktadır (Castelo-Branco vd., 2022). Bu doğrultuda aşağıda ifade edilen üç ölçüm ifadesi uzmanların dördü tarafından uygun görülmediğinden nihai anket formundan çıkarılmasına karar verilmiştir.

- Firmamızda dijital bilgi işlem sisteminin oluşturularak kullanımı için gerekli teknolojik yatırımların yapılmasına devlet teşvik vererek destek olmalıdır.
- Eğer firmamızda tam otomasyonlu dijital karar destek sistemleri uygulamasına geçilir ise lojistik operasyonlardan sorumlu çalışanlar bu sistemin organizasyona adapte edilmesine direnç gösterebilirler.
- Firmamızın üretim süreci performansını değerlendirdiğimde günlük üretim programının uygun bir şekilde planlanmadığı ve dikkatsizce hazırlanan programın aksaklıklara neden olduğunu düşünüyorum.

Yukarıda ifade edilen soruların çıkarılmasının ardından revizyon sürecinin sonunda kalan 38 ölçüm maddesinin içerik geçerliliği onaylanarak nihai ölçek formu geliştirilmiş olmaktadır. Pilot anket uygulaması sürecinde ise ISO-500 birinci listesi ve ikinci listesinde yer alan aynı zamanda yüksek miktarda ihracat yapma potansiyeli olan firmalar tespit edilmiştir. Bu doğrultuda literatürdeki daha önce yapılmış benzer araştırma konularında da uygulandığı üzere 30 üzeri gözlem içeren yanıt elde edilmesi hedeflenmiştir (Götz, 2020; Mishra vd., 2022).

Anket yoluyla veri temin edilmesine başlanmadan önce araştırma etiği açısından çalışmanın uygunluğunun değerlendirilmesi amacıyla T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Rektörlüğü Sosyal ve Beşerî Bilimler Etik Kurulu'na başvuruda bulunulmuştur. İlgili komisyon tarafından başvuru incelenip değerlendirildikten sonra 20.10.2022 toplantı tarihli 49'nolu toplantı tutanağıyla alınan etik kurul kararı neticesinde anket çalışmasının etik standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Böylece araştırmanın yürütülmesine ilişkin gerekli olan etik kurul izni temin edilmesinden sonra veri toplama sürecine başlanmıştır.

Araştırma evreni Türkiye genelinde farklı şehirlerde faaliyet gösteren geniş ölçüde ihracat yapabilme potansiyeli olan sanayi firmalarıdır. Firmaları temsil eden yöneticilere çevrimiçi platformlar (kurumsal e-posta adresleri veya tespit edilen isimlerin LinkedIn mesaj portalı) aracılığıyla ulaşılarak anket formları dağıtılmıştır. Anket katılımcılarının anketi uygun bir şekilde yanıtlamalarına yönelik form üzerinde detaylı açıklama bölümleri bulunmaktadır. Bu maksatla öncelikle çalışmanın genel amacını, sonuçların anonim değerlendirileceğini ve yanıtların gizli tutulacağını güvencesinin verildiği bir kapak mektubu anket formunun önünde yer alarak sorularla birlikte gönderilmiştir. Bununla birlikte "döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0" kavramlarına ilişkin kısa açıklamalar ile anket katılımcıları arasında tek tip bir anlayış geliştirilerek kavramlar standardize edilmiştir. Uygulanan ölçeklerde "1 (kesinlikle katılmıyorum), 3 (ne katılıyorum ne katılmıyorum) ve 5 (kesinlikle katılıyorum)" şeklinde 5'li Likert derecelemesi uygulanmıştır.

## 5. Bulgular

Bu çalışma önerilen araştırma modelinin keşifsel analizine odaklanmakta ve geliştirilen ölçeğin ileride yapılacak daha geniş katılımlı bir araştırma için uygunluğunu test etmek amacıyla yürütülmektedir. Önerilen araştırma modelinin pilot test incelemesi için tespit edilen örneklem çerçevesi içinde yer alan 80 firmaya anket katılım daveti gönderilmiştir. Veri toplama sürecinde geçen iki haftalık süre zarfında toplam 36 adet gözlem verisi elde edilmiştir. Temin edilen anketler SPSS istatistik veri analiz programı aracılığıyla incelenmiştir.

Anket katılımcılarının profili Tablo 4'te sunulduğu gibi deneyimli yöneticilerden ve üretim tesis yetkililerinden oluşmaktadır. Katılımcılara bakıldığında 6 farklı sektörden ve 14 farklı şehirden katılım sağladıkları görülmektedir. Ayrıca araştırmanın ana konusuna uygun bir şekilde ihracat gelirleri yıllık net satış hasılatları içinde önemli pay alan firmalar araştırmada yer almaktadır. Önerilen ölçek değerlendirilirken ilk olarak sorulara verilen yanıtların normallik testlerine bakılmıştır. Bu doğrultuda Skewness (eşik değer 2.0) ve Kurtosis (eşik değer 5.0) sonuçlarının kabul edilebilir seviyelerde çıktığı tespit edilmiştir (Carr ve Kaynak, 2007).

**Tablo 4.** Anket Katılımcılarının Özellikleri

Sektör	Frekans	Yüzde	Pozisyon	Frekans	Yüzde
Otomotiv	11	31	Sahip / Ortak	2	6
Elektrik-Elektronik	9	25	Üst Yönetim	3	8
Tekstil	8	22	Departman Yöneticisi	7	19
Gıda	3	8	Üretim Tesis Yetkilisi	9	25
Mobilya	3	8	Diğer	15	42
Kimyasal	2	6	Toplam	36	100
Toplam	36	100	<b>Şehir</b>	<b>Frekans</b>	<b>Yüzde</b>
<b>Çalışan Sayısı</b>	<b>Frekans</b>	<b>Yüzde</b>	İstanbul	8	22
50'den az	9	25	Kocaeli	5	14
50'den 249'a kadar	11	31	Kahramanmaraş	5	14
250'den 2499'a kadar	12	33	Bursa	3	8,5
2500'den fazla	4	11	Adana	2	5,5
TOPLAM	36	100	Gaziantep	2	5,5
<b>İhracat Gelirinin Oranı</b>			İzmir	2	5,5
%30'dan az	3	8	Sakarya	2	5,5
%30-%69 arası	28	78	Tekirdağ	2	5,5
%70'den fazla	5	14	Diğer	5	14
Toplam	36	100	Toplam	36	100

Ardından ölçüm sorularının içsel tutarlılığını test etmek için Tablo 5'te görüldüğü üzere “Cronbach Alpha” test yöntemi uygulanmış ve her bir değişken için eşik değer olan .70'den daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir (Carr ve Kaynak, 2007). Önerilen modeldeki değişkenleri temsil eden ölçüm sorularının ilgili değişken grubuna yüklenip yüklenmediğini test etmek için ise keşifsel faktör analizi (KFA) prosedürü uygulanmıştır. Bunun için maksimum olasılık (Maximum Likelihood) çıkarım yöntemi ve “Quartimax” döndürme yöntemi kullanılarak bağımlı değişken olan kurumsal performans ölçüm sorularıyla birlikte analize sokulmuştur. Neticede orijinal olarak bu çalışma kapsamında geliştirilen “Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi” ölçeği araştırma modelinde önerildiği gibi üç alt faktör altında toplanmış ve gözlemlenen varyans %62,31 düzeyinde çıkmıştır.

**Tablo 5.** Geliştirilen Ölçek Enstrümanlarının Keşifsel Faktör Analizi Sonuçları

Ölçüm Sorusu İfadesi	KFA Faktör Yüğü	$\chi^2$
• Lojistik Operasyonlarının Yeşil ve Dijital Odaklı Olması ( $\alpha = .880$ )		
Lojistik performansının daha da iyileştirilmesi için tam otomasyonlu dijital karar destek sistemleri kullanılmalıdır.	.593	3.92
Lojistik operasyonlarında kararların tam otomasyonlu dijital karar destek sistemleri ile alınması taklit edilemez bir rekabet avantajı kazandırır.	.707	3.97
Lojistik operasyonlarda tam otomasyonlu dijital teknolojilerin kullanılması tüm paydaşlar ile iletişim etkinliği sağlar.	.518	4.33
Lojistik operasyonların daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi sayesinde doğaya daha düşük karbon ayak izi bırakılması mümkün olur.	.816	3.89
Lojistik operasyonlarda karbon salınımını düşürmek için yüksek maliyetli yeşil inovasyon teknolojilerine yatırım yapılması gerekir.	.657	4.44
<i>Lojistik operasyonlardan kaynaklanan karbon salınımını azaltmak için devletin ulaştırma politikasına ilişkin gerekli revizyonları yapmasıyla mümkündür. <sup>a</sup></i>	---	4.39
Sürdürülebilir çevre performansı için tedarik zincirindeki tüm paydaşların dijital teknolojiyle entegre olduğu yeni bir tedarik zinciri ağ yapısı oluşturulmalıdır.	.686	4.31
Tedarik zinciri ağının performans değerlendirme kriterlerinin çevreye ilişkin unsurları da kapsayacak şekilde genişletilerek güncellenmelidir.	.685	4.06
• Üretim Operasyonlarının Sürdürülebilir ve Akıllı Sistem Odaklı Olması ( $\alpha = .946$ )		
Firmamızda akıllı üretim sistemi oluşturulması için nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerine yatırım yapılmaktadır.	.785	3.36
Firmamızda akıllı üretim sistemi oluşturulması için büyük veri analitiği (Big Data) teknolojilerine yatırım yapılmaktadır.	.720	3.50
Firmamızda akıllı üretim sistemi oluşturulması için bulut (Cloud) teknolojilerine yatırım yapılmaktadır.	.770	3.72
Firmamızda akıllı üretim sistemi oluşturulması için yapay zeka (Artificial Intelligence) teknolojilerine yatırım yapılmaktadır.	.790	3.33
<i>Firmamız Endüstri 4.0 teknolojilerini bulunduğumuz bölgede temin edebilme ve kullanabilme imkanına sahiptir. <sup>a</sup></i>	---	3.72

**Tablo 5 (Devamı).** Geliştirilen Ölçek Enstrümanlarının Keşifsel Faktör Analizi Sonuçları

Firmamız Endüstri 4.0 teknolojilerini edinme maliyetini karşılayabilecek finansal kaynaklara sahiptir.	.698	3.92
Firmamız Endüstri 4.0 teknolojilerini işletmek için yetkin insan kaynağını istihdam edebilecek üst yönetim vizyonuna sahiptir.	.768	3.78
Firmamız Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanma eğiliminin yüksek olduğu bir zincir ağında yer almaktadır.	.772	3.19
Firmamız üretim faaliyetlerinde operasyonel mükemmelliği sağlamak için performans değerlendirme kriterlerini düzenli olarak güncellemektedir.	.541	3.17
Performans değerlendirme sonuçlarına göre tespit edilen sorunlara çözüm üretmek için hızlı bir şekilde eylem planları geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.	.777	3.33
Üretim süreçlerindeki verimliliğin iyileştirilmesiyle düşük karbon salınımı yapıldığından çevre performansı da iyileşmektedir.	.766	3.47
Üretim süreçlerinden kaynaklanan karbon salınımı azaltıldığı için son 3 yılda sürdürülebilir çevre performansımız çok daha iyi sonuçlar vermektedir.	.685	3.94
Tedarik zincirinde yer alan kritik müşterilerden gelen talep doğrultusunda çağdaş yönetim uygulamaları benimsenmektedir.	.639	3.44
Kurumsal performansı iyileştirmek amacıyla üst yönetimin kendi almış olduğu karar doğrultusunda çağdaş yönetim uygulamaları benimsenmektedir.	.862	3.83
Kurum içinde gerçek zamanlı karar alma mekanizmaları oluşturulabilmesi için üst yönetimin tercihiyle çağdaş yönetim uygulamaları benimsenmektedir.	.693	3.56
Sektördeki rakip firmaların benimsemesi nedeniyle rekabette geri kalmamak doğrultusunda çağdaş yönetim uygulamaları firmamızda benimsenmektedir.	.716	3.53
<i>Kamu idaresinin sunmuş olduğu cazip yatırım teşviklerinden faydalanabilmek doğrultusunda çağdaş yönetim uygulamaları firmamızda benimsenmektedir.</i> <sup>a</sup>	---	2.50
• Kurumsal Dönüşüm Stratejisinin Önündeki Engeller ( $\alpha = .894$ )		
Operasyonel faaliyetlerin otonom çalışan akıllı teknolojilere bırakılması firma üst yönetiminin süreçler üzerindeki kontrolü kaybetmesine neden olur.	.864	3.31
Operasyonel faaliyetlerin otonom çalışan akıllı teknolojilere bırakılması kaosa neden olarak üretim sisteminin işleyişini bozar.	.792	3.42
Operasyonel faaliyetlerin otonom çalışan akıllı teknolojilere bırakılması işten çıkarmalara neden olarak katlanılan yaptırımlar kurumu zor durumda bırakır.	.574	3.14
Yeni oluşturulacak iş modelinde istihdam edilecek nitelikli iş gücünün yüksek maaş talebinin karşılanması firmayı ekonomik açıdan zorlar.	.717	3.31
Dijital teknolojiler tesis etmek için ayrılan yatırım bütçesi firmanın finansal kaynaklarını aşırı düzeyde zorlar.	.749	3.06
Operasyonel faaliyetlerin otonom çalışan akıllı teknolojilere bırakılması tedarik zinciri ağ yapılanmasında kaosa neden olarak işleyişini bozar.	.747	3.19
• Dönüşüm Stratejisinin Yaratacağı Kurumsal Performans Beklentisi ( $\alpha = .837$ )		
Firmamızda tam otomasyon dijital teknolojilere geçilmesinin kurumumuzun operasyonel performansını çarpıcı bir şekilde iyileştireceğinden eminim.	.633	4.42
<i>Firmamızda tam otomasyon dijital teknolojilere geçilmesinin kurumumuzun pazarlama performansını çarpıcı bir şekilde iyileştireceğinden eminim.</i> <sup>a</sup>	---	3.75
Firmamızda tam otomasyon dijital teknolojilere geçilmesinin kurumumuzun finansal performansını çarpıcı bir şekilde iyileştireceğinden eminim.	.509	4.03
Firmamızda tam otomasyon dijital teknolojilere geçilmesinin kurumumuzun çevre performansını çarpıcı bir şekilde iyileştireceğinden eminim.	.641	3.78
Firmamızda tam otomasyon dijital teknolojilere geçilmesinin kurumumuzun genel (toplam) performansını çarpıcı bir şekilde iyileştireceğinden eminim.	.909	4.17
Uzun vadede toplam getirinin katlanılan “nakdi maliyet+çaba+zaman kaybı” gibi toplam külfetin çok daha üzerinde olacağından eminim.	.708	3.94
Türkiye’deki bankaların sağladığı yeşil finansman fon kaynaklarının yeterli düzeyde destek vermesinden dolayı inovatif yeşil teknoloji yatırımlarının kolaylıkla yapabileceği bir finansal iklim bulunmaktadır.	.508	2.69

<sup>a</sup> Keşifsel faktör analizi sonucuna göre faktör yükü düşük çıktığı için ölçekten çıkartılmıştır.

Tablo 5’te sunulduğu gibi lojistik operasyonlarla ilgili bir soru, üretim operasyonlarıyla ilgili ise iki soru incelenen veri kapsamında ilgili değişkenlere yüklenmediği tespit edilmiştir. Bağımlı değişken olan kurumsal performans faktörüyle ilgili olarak da pazarlama performansının yanıtlayıcılar tarafından araştırmanın konseptiyle ilişkilendirilmediği çıkan düşük faktör yükü neticesinde anlaşılmaktadır. Her ne kadar bu araştırma kısıtlı sayıda veri ile gerçekleştirilmiş olsa da bu sonuçlar oldukça mantıklı karşılanabilir. Örneğin devletin ulaştırma politikasıyla ilgili ifade bu çalışmanın odak noktası olan üretim firmalarının kendi kontrolü altındaki faaliyet alanıyla direk ilgili olmadığından ölçek kapsamıyla ilişkilendirilmemiş olması doğal karşılanmalıdır. Aynı durum

devlet teşvikleriyle ilgili de benzerlik arz etmektedir. Böylesi bir durum açıkçası sorular tasarlanırken öngörülmüş ancak bu araştırmanın yürütülme gayesindeki keşifsel durum tespiti yapma amacı gereğince veri toplama sürecinde anket katılımcılarının kamu idaresinden beklentileriyle ilişkili görüşlerinin alınmasının faydalı olacağı düşünülmüştür. Nitekim bu doğrultuda ulaştırma politikasına ilişkin gerekli revizyonların yapılmasına yönelik güçlü bir beklentinin olduğu ( $\chi = 4.39$ ) anlaşılmaktadır. Benzer şekilde yatırım iklimiyle ilgili olarak devlet teşvikinin ve bankaların yeşil finansman fon desteğinin ise oldukça düşük olduğu da yine verilen yanıtların ortalama değerlerinden (sırasıyla  $\chi = 2.50$  ve  $2.69$ ) görülmektedir. Bu bağlamda bu araştırmanın tali hedefi doğrultusunda bu durum tespitinin yapılmış olması da politika yapıcı kamu otoritesi için dikkate değer bir katkı sunmuş olabilir.

## 6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada önerilen özgün araştırma modelinde yer alan değişkenleri kavramsal olarak temsil eden ölçüm sorularının literatüre farklı bir bakış açısıyla katkı sağlaması beklenilmektedir. Bu çalışma özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki kısıtlı kurumsal kaynaklara sahip olan KOBİ tipi firmaların radikal bir değişim göstererek Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi yaklaşımını benimsemelerinin önündeki ana engelleri tespit etmektedir. Bu dönüşüm sürecine girmek isteyen üretim firmalarının bu engelleri dikkate alarak bu iki paradigmayı uygulamaya geçirmelerinde bu çalışmanın yardımcı ve yol gösterici olması mümkün olabilir.

Bununla birlikte bu araştırmanın uygulamaya dönük olarak ortaya koyduğu temel çıkarım Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapılmasının tek başına bir anlam ifade etmediğine vurgu yapılmasıdır. Yani dijital otonom teknolojilerin firmaya kazandırılması tek başına anlam ifade etmemektedir. Üretim firmalarının operasyonel mükemmelliği sağlamak adına üretim süreçlerini ve tedarik zinciri yapısını ideal koşullara göre yeniden yapılandırmak için daha yoğun bir çaba harcaması gerekmektedir. Bu doğrultuda bakıldığında bu çalışma Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi prensiplerini etkin bir şekilde uygulamasına yönelik hem makro hem de mikro perspektifte alınması gereken tedbirlere ilişkin tavsiyeler sunmaktadır.

Makro perspektiften bakıldığında, kamu otoritesinin firmaların dijital teknolojilere gereken yatırımı yapmasının ve döngüsel ekonomi prensiplerinin benimsenmesinin önündeki temel engellerin üstesinden gelmesi için yapıcı politikalar geliştirmesi esastır. Kamu idaresi bu çalışmada ifade edilen kritik başarı faktörlerini destekleyen teşvik mekanizmalarının oluşturulmasına öncelik verebilir. Bu doğrultuda Türkiye’de bir ulusal ajans programı oluşturulabilir. Böylelikle geliştirilen makro politikaların eylem planı dâhilinde yürütülmesiyle kayda değer sonuçların kısa sürede ortaya çıkması söz konusu olabilir. Eğer böylesi sistematik çalışan bir kamu organizasyonu işlerlik kazanırsa tüm paydaşlar arasında koordinasyon sağlanarak çabalar bütünleştirilip sinerji yaratılabilecektir.

Mikro perspektiften bakıldığında ise bu yaklaşımların benimsemesiyle ilgili karşılaşılan engellerin çeşitli boyutları ve değişime karşı olan dirence ilişkin sektör yöneticilerinin algıları ele alınmıştır. Türkiye’deki sanayi firmalarının kendilerini değerlendirmek ve dönüşüm sürecinde karşılaşılabilecekleri sorunlara çözüm yolları ararken bu çalışmada önerilen araştırma modelinden ve ölçüm sorularından faydalanmaları mümkündür. Örneğin bu çalışmanın önerdiği araştırma modeli baz alınarak dönüşüm sürecinin yönetilmesine ilişkin bir eylem planı hazırlayabilirler. Çünkü bu modelde önerilen Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi ölçek boyutları yapılar arasındaki ilişkilerin dinamiklerini bütünsel bir bakış açısıyla görme fırsatını firma yöneticilerine sunmaktadır.

Diğer tüm bilimsel çalışmalarda olduğu gibi bu araştırmanın da bazı sınırlamaları içermekte olduğu dikkate alınmalıdır. Bu çalışma bir keşifsel öncü araştırma olarak gelecekte geniş örneklem ile gerçekleştirilecek ampirik çalışmalara bir temel dayanak oluşturmak maksadıyla sınırlı sayıdaki örneklem ( $n=36$ ) verisine dayanılarak yürütülmüştür. Bu nedenle her ne kadar sağlam bir teorik destek ile yapılandırılmış olsa bile ortaya konulan araştırma bulguları şu an için doğrulanmış ve



evrensel olarak genelleştirilebilmiş değildir. Bu gibi yeni önerilen ölçeklerin geçerliliği dinamik bir süreç izlendikten sonra zamanla kabul görmektedir. Bundan dolayı önerilen ölçeğin güvenilirlik ve geçerliliğinin ancak farklı endüstriyel ortamlarda farklı araştırmalar yürütüldükten sonra sağlanabileceği unutulmamalıdır. Bunun anlamı gelecekte yapılacak çalışmalarda daha geniş örneklem kitlesinden toplanan veriye dayanılarak daha güçlü bir istatistiksel çıkarımlarda bulunmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında önerilen araştırma modeli ve ölçüm sorularının dünyanın farklı yerlerinde ampirik araştırmaların gerçekleştirilmesinde kullanılması da mümkün olabilir. Böylece araştırma konusuna ilişkin teorik bilgi birikiminin genişletilmesi söz konusu olacaktır.

Öte yandan bu çalışma endüstriyel ekosistemde tedarik zinciri, lojistik ve nakliye süreçlerinin döngüsel ekonomi üzerinde yüksek bir etkiye sahip olduğunu göstermesi açısından da bazı katkılar sağlamaktadır. Ancak buna ilaveten ileride yapılacak çalışmalarda döngüsel ekonomi prensiplerinin benimsenerek endüstrilerdeki tedarik zinciri yapısına ilişkin çevresel kirlilik kaynaklarının ele alındığı bir boyutun da bu araştırma modeline eklenip incelenmesi düşünülebilir. Böylelikle döngüsel ekonominin değer zinciri boyunca izlenerek performansının artmasıyla ilgili uygulamaya ilişkin daha net çıkarımlar ortaya konulabilir. Yine döngüsel ekonomi prensiplerinin temel unsurlarından olan ürün tasarımı boyutu da önerilen araştırma modeline eklenerek gelecek çalışmalarda incelenmesi faydalı sonuçlar doğurabilir.

Son olarak bu çalışma kesitsel veri toplamak için tasarlanmış bir araştırmadır. Bu nedenle performans ölçüm kriterleri somut verilere dayanmak yerine algısal unsurlara göre belirlenmiştir. Her ne kadar algısal verilerde somut veriler kadar değerli olsa da tam olarak gerçek performans durumunu yansıtamamaktadır. Üretim firmalarının performansını değerlendirmek üzere gelecekte yürütülecek olan araştırmaların tasarımında somut verilere dayanan boylamsal bir çalışmanın geliştirilmesine de odaklanılması değerli katkı verebilir.

## Kaynaklar

- Agyabeng-Mensah, Y., Afum, E. ve Ahenkorah, E. (2020). Exploring financial performance and green logistics management practices: Examining the mediating influences of market, environmental and social performances. *Journal of Cleaner Production*, 258, XX-XX. Erken çevrimiçi yayın. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120613>
- Awan, U., Sroufe, R., Godinho Filho, M. ve Shahbaz, M. (2021). Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research. *Business Strategy and the Environment*, 30, 2038–2060. <https://doi.org/10.1002/bse.2731>
- Bag, S. ve Pretorius, J. H. C. (2020). Relationships between Industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: Proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis*, 1934, XX-XX. Erken çevrimiçi yayın. <https://doi.org/10.1108/IJOA-04-2020-2120>
- Benešová, A., Baslb, J., Tupa, J. ve Steiner, F. (2021). Design of a business readiness model to realise a green Industry 4.0 company. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34 (9), 920-932. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1946858>
- Carr, A.S. ve Kaynak, H. (2007). Communication methods, information sharing, supplier development and performance: An empirical study of their relationships. *International Journal of Operations & Production Management*, 27 (4), 346-370. <https://doi.org/10.1108/01443570710736958>
- Castelo-Branco, I., Oliveira, T., Simões-Coelho, P., Portugal, J. ve Filipe, I. (2022). Measuring the fourth industrial revolution through the Industry 4.0 lens: The relevance of resources, capabilities and the value chain. *Computers in Industry*, 138, XX-XX. Erken çevrimiçi yayın. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103639>
- Cousins, P. D., Lawson, B., Petersen, K. J. ve Fugate, B. (2019). Investigating green supply chain

- management practices and performance: The moderating roles of supply chain ecocentricity and traceability. *International Journal of Operations & Production Management*, 39 (5), 767-786. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-11-2018-0676>
- CPS, Corporate ve Public Strategy Advisory Group. (2012). Çevre Hakkında AB Müktesebat Rehberi. <https://www.mess.org.tr>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F. ve Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Götz, M. (2020). Cluster role in Industry 4.0 – a pilot study from Germany. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 31, 54–82. <https://doi.org/10.1108/CR-10-2019-0091>
- Horváth, D. ve 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*, 146, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- Jain, N. K., Panda, A. ve Choudhary, P. (2020). Institutional pressures and circular economy performance: The role of environmental management system and organizational flexibility in oil and gas sector. *Business Strategy and the Environment*, 29, 3509-3525. <https://doi.org/10.1002/bse.2593>
- Khan, S. A. R., Razzaq, A., Yu, Z. ve Miller, S. (2021). Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 30 (8), 4001-4014. <https://doi.org/10.1002/bse.2853>
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., ve Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: A proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270 (1), 273-286. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>
- Masood, T. ve Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, XX-XX. Erken çevrimiçi yayın. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>
- Mishra, R., Singh, R. K. ve Govindan, K. (2022). Barriers to the adoption of circular economy practices in micro, small and medium enterprises: Instrument development, measurement and validation. *Journal of Cleaner Production*, 351, XX-XX. Erken çevrimiçi yayın. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131389>
- Moktadir, M. A., Ali, S. M., Kusi-Sarpong, S. ve Shaikh, M. A. A. (2018). Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 730-741. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.020>
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Rocha-Lona, L. ve Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30 (3), 607-627. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0071>
- Nguyen, X. T. ve Luu, Q. K. (2020). Factors affecting adoption of Industry 4.0 by small and medium-sized enterprises: A case in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7 (6), 255-264. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2020.vol7.no6.255>
- Sun, X. ve Wang, X. (2022). Modeling and analyzing the impact of the internet of things-based Industry 4.0 on circular economy practices for sustainable development: Evidence from the food processing industry of China. *Frontiers in Psychology*, 13, XX-XX. Erken çevrimiçi yayın. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.866361>