

Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Döngüsel Ekonominin Sürdürülebilir İşletme Performansına Etkisi: Asansör Sektöründe Uygulama

Mevlüt Köksal¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 teknolojileri ve döngüsel ekonominin işletmelerin sürdürülebilir performansına doğrudan veya dolaylı etkisinin olup olmadığını belirlemektir.

Yöntem: Çalışmada oluşturulan ölçek ile işletmelerden toplanan veriler yapısal eşitlik modellemesi kullanılarak analiz edilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkiler daha sağlıklı belirlenebilmiştir.

Bulgular: Çalışmada Endüstri 4.0 teknolojilerinden 9 değişken ile döngüsel ekonomiden 6 değişken ve sürdürülebilir performanstan ise 3 değişken ve bunların alt değişkenleriyle yapısal eşitlik modeli kurulmuştur. Yapılan analiz neticesinde Endüstri 4.0 ile döngüsel ekonomi arasında ve döngüsel ekonomi ile sürdürülebilir performans arasında anlamlı ve pozitif ilişki tespit edilirken, Endüstri 4.0 teknolojilerinin döngüsel ekonomi üzerinden sürdürülebilir performansa pozitif ve anlamlı bir ilişkisi de tespit edilmiştir.

Özgünlük: Rekabetçiliğin arttığı, verimliliğin ve sürdürülebilirliğinin ön plana çıktığı günümüz koşullarında işletmelerin performanslarını değerlendirmek için sadece ekonomi göstergesi yerine sosyal ve çevresel göstergeleri de baz almaları bir zorunluluk olmaktadır. Sürdürülebilir performansın giderek önem kazandığı bir noktada yeni bir kavram olarak ortaya çıkan döngüsel ekonomi modelinin ve hali hazırda yeni bir sanayi devrimine kapı aralayan Endüstri 4.0 teknolojilerinin işletmelerde beraber kullanılmasının söz konusu performansa nasıl etki edeceği ve iki kavramın aralarındaki ilişki boyutunun tespiti literatürde eksik olan boşluğu doldurması bakımından özgün bir çalışmaya kapı aralamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sanayi, Ekonomi, Döngüsellik, Sürdürülebilirlik, Performans.

JEL Kodları: Q01, O13, O44.

The Effect of Industry 4.0 Technologies and Circular Economy on Sustainable Business Performance: Application in The Elevator Industry

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study is to determine whether Industry 4.0 technologies and circular economy have a direct or indirect effect on the sustainable performance of businesses.

Method: The scale created in the study and the data collected from businesses were analyzed using structural equation modelling. The relationships between variables could be determined more accurately.

Findings: In the study, a structural equation model was established with 9 variables from Industry 4.0 technologies, 6 variables from circular economy and 3 variables from sustainable performance and their sub-variables. As a result of the analysis, a significant and positive relationship was determined between Industry 4.0 and the circular economy and between the circular economy and sustainable performance, while a positive and significant relationship of Industry 4.0 technologies to sustainable performance through the circular economy was also determined.

Originality: In today's conditions, where competitiveness increases, efficiency and sustainability come to the fore, it is a necessity for businesses to evaluate their performance based on social and environmental indicators rather than just economic indicators. Determining how the circular economy model, which has emerged as a new concept at a point where sustainable performance is becoming increasingly important, and Industry 4.0 technologies, which have already opened the door to a new industrial revolution, will affect the performance in question and the relationship between the two concepts will fill the missing gap in the literature. It opens the door to an original work.

Keywords: Industry, Economy, Circularity, Sustainability, Performance.

JEL Codes: Q01, O13, O44.

¹ Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Mevlüt Köksal, mevlut.koksal@sanayi.gov.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1485238

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 16.05.2024 | Kabul / Accepted: 22.08.2024

Atıf/Cite: Köksal, M. (2024). "Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Döngüsel Ekonominin Sürdürülebilir İşletme Performansına Etkisi: Asansör Sektöründe Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 58(4), 601-622.

EXTENDED ABSTRACT

The aim of this study is to determine how the circular economy and Industry 4.0 affect sustainable business performance. In today's world, performance measurements of businesses are shifting from financial indicators to non-financial indicators and sustainability and sustainable business performance are gaining importance. Which applications of sustainable performance are important for the survival of businesses? It is critical to know that it is supported by. Since it is known that the circular economy and Industry 4.0, which have recently emerged within the framework of the sustainability approach, have sustainable performance enhancing practices, the research wanted to determine whether this is possible.

Applications such as the circular economy preventing environmental degradation, gaining raw materials and energy in production and increasing employment, or Industry 4.0 minimizing errors and losses in production are applications that also address the sustainable performance indicator. The hypotheses created within the scope of the research aim to determine whether Industry 4.0 and the circular economy have a direct effect on sustainable performance or whether they have an indirect effect on sustainable performance through each other.

Within the scope of the study, a scale was developed through literature review. In the scale, circular economy variables are grouped according to 6 units of the resolve model. The renewal component consists of 4 variables, the sharing component consists of 5 variables, the optimization component consists of 4 variables, the loop component consists of 1 variable, the virtualization component consists of 1 variable and the exchange component consists of 1 variable. Sustainable performance variables are grouped according to environmental, social and economy components. The environmental component consists of 5 variables, the economy consists of 4 variables and the social component consists of 4 variables. Finally, Industry 4.0 consists of 9 variables, which are the main technologies. In the study, Industry 4.0 and circular economy structural equation model was used to see both the direct and indirect effects on sustainable performance and to determine the relationships between concepts more accurately. The study was applied in the elevator sector, which is one of the important sectors in terms of exports in Turkey and has high added value. In total, surveys were sent to 2772 elevator companies via e-mail and a return of 10.9% was achieved.

Analysis was carried out with the data obtained to determine whether the model created within the scope of the study would be valid for the structural equation model. In the analyses, Cronbach's alpha coefficient was examined for the structure reliability of the research, KMO and Bartlett Tests were examined to ensure that the sample data were suitable and sufficient for factor analysis and the results were within appropriate ranges. After the tests, confirmatory factor analysis was used to determine the reliability of the scale and goodness of fit indices were examined to test the suitability of the structural equation model to the measurement model created. The results met the appropriate values. After determining that the model met the structural equation model, the testing phase of the hypotheses created by path regression analysis began. In the results, a positive and significant relationship was detected between Industry 4.0 and the circular economy and between the circular economy and sustainable performance. It has also been determined that Industry 4.0 has an indirect effect on sustainable performance through the circular economy.

Many researchers have also confirmed the positive and significant relationship between Industry 4.0 and circular economy and between sustainable performance and circular economy, as well as the indirect positive relationship of Industry 4.0 on sustainable performance through circular economy, which emerged in the study. Since the study was applied to all elevator businesses in Turkey, businesses Time and cost constraints were effective in not achieving all of them. Businesses that follow sustainable business performance should adopt the circular economy and also consider Industry 4.0, which indirectly increases sustainable performance. Because Industry 4.0 increases the sustainable business performance of the circular economy even higher. The relationship between sustainable performance and efficiency When considered, a sector-based application related to sustainable performance can be made. The situation of the sectors can be observed and it can be determined which sector is deficient in the circular economy point and which sector is deficient in Industry 4.0 point and relevant policies can be developed.

1. GİRİŞ

Birinci Sanayi Devrimi'yle beraber üretim özelinde gözle görülür değişimler meydana gelmiştir. Makineleşme kas gücünün yerini alırken, üretimi arttırmış ve işletmelerin kapasitelerinde ve büyüklüklerinde gözle görülür büyüme yaşanmıştır. Birinci Sanayi Devrimi'nin ardından gelen İkinci ve Üçüncü Sanayi Devrimleri ise üretimde artışı devam ettirmiş ve işletmelerin küresel düzeyde büyüklüğe ulaşmalarını sağlamışlardır. Sanayi devrimleriyle beraber üretim anlayışına yönelik ortaya çıkan doğrusal ekonomi anlayışı işletmelere üretim kapasitelerini arttırma ve büyüme olanağı verse de tüketim sonucu oluşan problemlere ise kayıtsız kalmıştır. Siber dünya ile makine dünyasındaki haberleşmeye olanak sağlaması, üretimdeki hata ve kayıpları sıfıra indireceği düşüncesiyle diğer devrimlerden farklı olarak ortaya çıkan Endüstri 4.0 (Dördüncü Sanayi Devrimi) sahip olduğu anlayışla mevcut ekonomik modele ters bir tutum izlemektedir (Schwab, 2016; Özdoğan, 2019; European Investment Bank, 2020)

Doğrusal ekonominin tüketimin ardından oluşturduğu atıkların devasa boyutlara ulaşması, çevreye verdiği zararların artarak toplum ve canlılar açısından sağlık bakımından risk teşkil etmesi ve istihdam noktasında yarattığı sıkıntılar küresel düzeyde kaygılara yol açmıştır. Oluşan kaygılara cevap verebilecek bir yöntem olarak ortaya çıkan "sürdürülebilirlik yaklaşımı", gelecek nesillerin yaşam hakkına riayet ederek, günümüz insanın ihtiyaçlarını karşılaması olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilirlik yaklaşımı, insanların ekonomik gelişimini sınırlamaksızın çevresel ve sosyal negatif etkiyi de minimuma indirme gayesi güder. Üçlü bir perspektif yapısına sahip olan sürdürülebilirlik yaklaşımını temel alan ve çevresel, sosyal ve ekonomik göstergelere sahip bir model olarak beliren döngüsel ekonomi, sürdürülebilirlik konsepti kapsamında ortaya çıkmıştır (Türkmen ve Kılıç, 2020; Önder, 2018)

3R (Reduce-Azaltım, Recycling-Geri Dönüşüm, Reusing-Yeniden Kullanım) kavramını benimseyen döngüsel ekonomi, ürünlerin atık olarak yitiminin önüne geçmesi, materyal ve enerji çevrimi yoluyla ham madde çıkarımını önlemesi, fosil yakıt kullanımını azaltması ve tersine lojistik uygulamaları yoluyla istihdam yaratımı gibi sahip olduğu ilkeler çevresel, sosyal ve ekonomik olarak üç göstergeli bir yapıya sahip olduğunu gösterir. Döngüsel ekonomi sahip olduğu göstergeleriyle sürdürülebilirlik ile aynı düşünceye sahiptir (Chauhan ve diğerleri, 2021).

Son zamanlarda geleneksel üretim sistemlerinden, üretim ve tüketim yönünden daha sürdürülebilir ve döngüsel ekonomi odaklı bir ekonomi anlayışına küresel düzeyde işletmeler tarafından artan bir ilgi vardır. Sürdürülebilirliğin sağlanmasında ve yeni ürün geliştirimi gibi alanlar açısından döngüsel ekonomi anahtar bir kavram durumundadır (Latan ve diğerleri, 2020). Endüstri 4.0 kavramının üretimdeki hata ve kayıpları sıfıra indireceği düşüncesi ile döngüsel ekonominin çevresel, sosyal ve ekonomik göstergeli olarak işletmelere katkı sağlayacağı düşüncesi her iki kavramın da sürdürülebilir işletme performansı için önem arz eden modeller olduğunu belirtmektedir (Bag ve Pretorius, 2020).

Döngüsel ekonominin sürdürülebilir işletme performansına etkisi literatür bakımından incelendiğinde; Yavuz (2021), Latan ve diğerleri (2020), Alonso-Martinez ve diğerleri (2021), Gupta ve diğerleri (2021), Hadi ve Baskaran (2021) ile Fernando ve diğerleri (2019) döngüsel ekonominin sürdürülebilir işletme performansına pozitif ve anlamlı bir ilişkisini tespit etmişlerdir. Ayrıca Endüstri 4.0 teknolojilerinin sürdürülebilir işletme performansına etkisi de literatür bakımından incelendiğinde, Latan ve diğerleri (2020) Endüstri 4.0 teknolojilerinin döngüsel ekonomiyi desteklediğini ve sürdürülebilir performansı arttırdığını belirtirken, Agrawal ve diğerleri (2021) ise döngüsel ekonominin sürdürülebilir işletme performansına katkısında Endüstri 4.0 teknolojilerine ihtiyaç olduğunu altını çizmişlerdir. Gupta ve diğerleri (2021) ise sürdürülebilir işletme performansının başarımında döngüsel ekonominin ve Endüstri 4.0'ın beraber düşünülmesi gerektiğini söylemişlerdir. Söz konusu literatür incelendiğinde döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0 kavramlarının sürdürülebilir performansla ilişkileri beraber değerlendirilmek yerine ayrı ayrı değerlendirilmiş ve her iki kavramın sürdürülebilir performansla ilişkileri beraber incelenip modellenmemiştir. Bu noktadan hareketle yukarıda ifade edilen benzer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, döngüsel ekonomi ile Endüstri 4.0'ın sürdürülebilir işletme performansı ile doğrudan ve dolaylı ilişkileri beraber değerlendirilmiş ve bu ilişkiye ait bir model oluşturulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde Endüstri 4.0 ile döngüsel ekonomi kavramsal-teorik çerçeve olarak verilmiş, üçüncü bölümde ise çalışmaya ait hipotezler oluşturularak bir model kurulmuştur. Ayrıca, sürdürülebilir işletme performansı ile döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik Evet/Hayır, Çoktan Seçmeli ve 5'li Likert tipli soruların yer aldığı ölçek geliştirilmiştir. Ölçek çalışma kapsamında Türkiye'de faaliyet gösteren asansör işletmelerine uygulanmıştır. Alan çalışması sonucu elde edilen verilere dayanılarak Amos programı aracılığıyla çalışmaya ait "Yapısal Eşitlik Modeli" kurulmuş ve modelin analiziyle kavramlar arasındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Ardından dördüncü bölümde ise kavramlar arasındaki ilişkilere yönelik değerlendirme yapılmış ve önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tahmini olarak 1750 ile 1760 yılları arasında ortaya çıkan Birinci Sanayi Devrimi, insanoğlunun tarih boyunca yaşadığı en çarpıcı dönüşümü beraberinde getirmiştir. Birinci Sanayi Devrimi'yle beraber insan emeği ve hayvan gücü temelli olan iş gücü teknolojisi makine temelli bir yapıya kavuşmuştur (Haradhan, 2019). Birinci Sanayi Devrimi'nin ardından kitlesel üretimin ve montaj hattı düzeneğinin ortaya çıktığı ve elektriğin üretim süreçlerinde kullanılmasının önünün açıldığı İkinci Sanayi Devrimi başlamış ardından ise tarih sahnesine "Dijital Devrim" diye de ifade edilen Üçüncü Sanayi Devrimi çıkmıştır. Üçüncü Sanayi Devrimi'yle birlikte yarı iletken teknolojisi gelişme göstermiş, bilgisayar ve internet kavramları bulunmuştur. Günümüz dünyasında ise Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) süreci yaşanmaktadır ve üretim süreçlerinin fiziki ve sanal bileşenleri birbirleriyle haberleşmek suretiyle iş birliği yapmakta ve küresel değer zinciri organizasyonu ise değişime uğramaktadır (Schwab, 2016: 11-12).

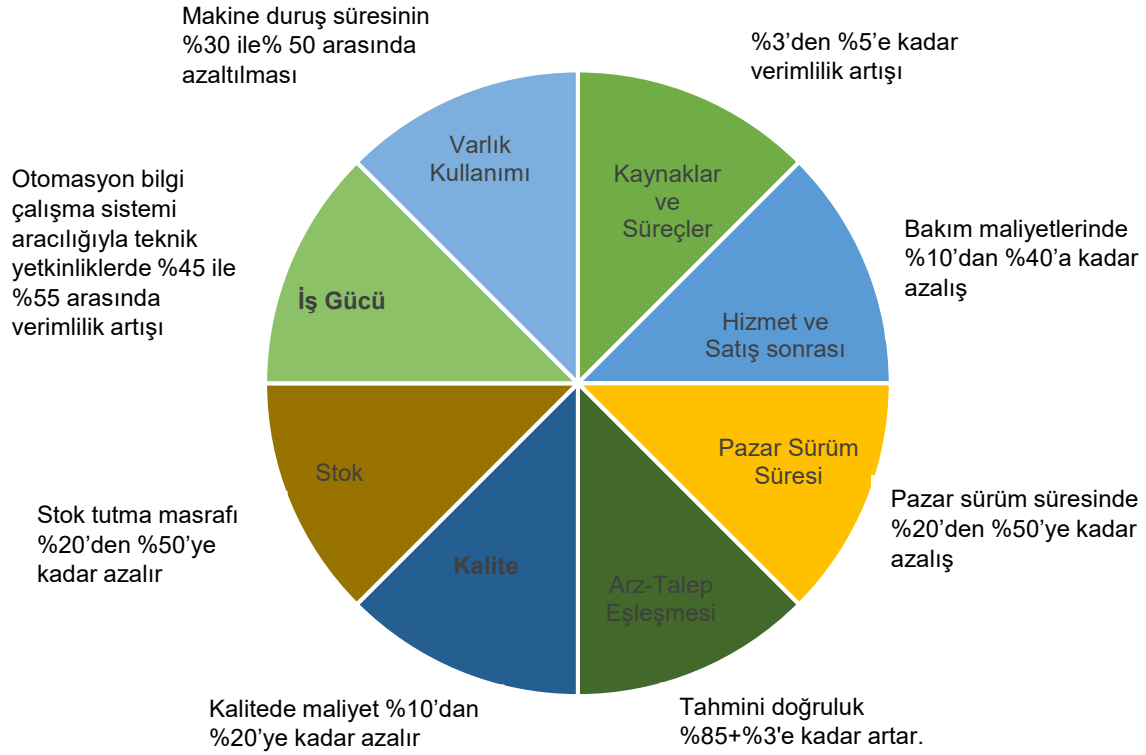
Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF), "Gelecek Projesi" diye isimlendirdiği 10 ana proje duyurmuş ve söz konusu projeler "Yüksek-Teknoloji Stratejisi 2020'nin Gelecek Projeleri" ismi altında yayınlanmıştır. Projelerden birisi Almandada "Industrie 4.0" olarak isimlendirilmiş ve diğer projelerin aksine tüm dünyayı etkilemesi muhtemel proje olmuştur. Endüstri 4.0, ilk olarak 2011 yılında Hannover fuarında duyurulmuştur (Siemens, 2021).

Endüstri 4.0 kavramı değişik özellikte ve farklı işlevleri olan teknolojik bileşenlerden meydana gelmektedir. Rüßmann ve diğerleri (2015: 3)'ne göre Endüstri 4.0'ı bir bütün haline getiren ve tek bir yapıya oturtan bileşenler aşağıda listelenmiştir.

- Otonom Robotlar,
- Siber-Fiziksel Sistemler (Siber Güvenlik),
- Akıllı Fabrikalar,
- Arttırılmış Gerçeklik,
- Bulut Bilişim Sistemleri,
- Entegre Sistemler,
- Nesnelerin İnterneti,
- Büyük Veri,
- Simülasyon,
- 3 Boyutlu Yazıcı.

Endüstri 4.0 teknolojilerinden simülasyon teknolojisi, fiziksel dünyaya ait olan verilerin sanal dünyaya aktarılacak gerçek sistemlerin işleyişinin izlenmesine olanak sağlayan bir teknoloji olurken, entegre sistemler teknolojisi ise birden fazla sistemin koordinasyonuna dayanan tek bir sistemi ifade etmektedir. Başka ifadeyle ise birden çok sistem tek bir sistem içinde organize edilir (Çelen, 2017; Bulut, 2017). Bulut bilişim sistemleri; donanım, yazılım ve bilgisayar hizmetlerine yatırımı ortadan kaldıran, hizmet odaklı bir sistem olurken, gerçek dünyada var olan nesnelerin bilgisayar ortamına alınıp ardından ise sanal ortamda üretilen öğelerle zenginleştirilmesi işlemi ise arttırılmış gerçeklik teknolojisini vermektedir (Banger, 2018: 94; Altınpulluk, 2018). Katı ya da 3 boyutlu nesnelerin üretilmesi esasına dayanan teknoloji 3 boyutlu yazıcı teknolojisini verirken, nesnelerin interneti kavramı ise bir ağ sistemi olmakla beraber nesne diye tabir edilen ve makinelerden cihazlara elektronikten ve mekanik donanımlara kadar hatta yazılımı da kapsayan bir tanım kümesinden oluşan ve nesnelerin veri toplama, dağıtma ve iletişim için oluşturdukları yapıya denilmektedir (Jeroen ve Brujin, 2015; Banger, 2018: 280). Akıllı fabrikalar teknolojisi makine ve süreçlerin birbirleriyle iletişim yoluyla koordineli olduğu ve üretim sürecini kendi başlarına gerçekleştirebildiği, yazılımsal olarak da bir ağ yapısına dahil oldukları bir konsepti belirtirken, siber-fiziksel sistemler teknolojisi ise fiziksel ve bilişsel nesnelere oluşan geniş ölçekli ve ağ yapılı bir sistem türüdür (Hermann, 2018; Zhang ve diğerleri, 2020). Büyük veri, uygulama yöntemiyle çözümlenmelerinin kendine özgü olduğu depolama tekniği ve teknolojisi ile geleneksel veri depolama teknolojisinden ayrılan aralarında bir bağ bulunmayan farklı veri kümelerini bir araya getiren ardından analiz ederek işleyen ve depolanmasını mümkün kılan bir teknoloji olarak ortaya çıkarken, otonom robot ise yapay zekaya sahip olan robotun dışarıdan bir etkiye maruz kalmadan hareketlerini yapması ve iş süreçlerini kendi planlamasıdır (Doğan ve Arslantekin, 2016; Çirkin ve Özdağoğlu, 2021).

İş dünyasında iş akışlarının dijital modellerle yeniden tasarlanması ve yeni iş birliklerinin yaygınlık kazanması ve müşteri beklentilerinde yaşanan değişim ve gelişmeler Endüstri 4.0 teknolojilerinin işletmeler üzerinde etkisine örnektir. Özellikle maliyetlerin düşmesi, üretim süreçlerinin kısaltılması ve operasyonlarda bekleme süresinin azaltılması gibi üretime dönük yararlarla birlikte yönetim süreci ve kaynak tedariki noktasında da Endüstri 4.0'ın işletmelere etkisi verimlilik odaklı bir yaklaşım sergilediğini gösterir (Üstündağ ve Çevikcan 2018; Schwab, 2016: 52-54). Endüstri 4.0'ın işletmelere sağlayacağı faydalar bölüm bazlı olarak Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Endüstri 4.0'ın işletmelere sağlayacağı faydalar (McKinsey&Company, 2015: 25)

Şekil 1 incelendiğinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin işletmeleri üretim birimlerinden kalite birimlerine pazar birimlerinden iş gücü ve stok süreçlerine kadar hemen hemen işletmenin bütün süreçlerinde etkilediği ve verimliliği arttırdığı görülmektedir.

Sürdürülebilirlik çalışmaları kapsamında ortaya çıkan döngüsel ekonomi; ürünlerin kullanımının ardından atık olarak değerinin yitirilmesine karşın tekrardan kullanılmasını mümkün kılacak ve kolay bir şekilde parçalarına ayrılabilir ürün tasarımı hedefleyen, üretim girdilerindeki tüketimi azaltmayı amaçlayan, ürünlerin bakım yada tamir yoluyla ömürlerini uzatmayı sağlamasının yanında ham maddelerdeki üretime tekrardan girdi oluşturabilecek atıkları geri kurtarmayı hedefleyen bir sistemi ifade eder (Kirchherr ve Piscicelli, 2019).

Döngüsel ekonomi süreç olarak kaynak ve enerji israfının önlenmesinde, tasarrufun baz alınmasında, yeni iş fırsatlarının yaratılarak istihdamın desteklenmesi noktasında ürün ve materyal arasında yeni bir ilişki boyutu olarak ortaya çıkmaktadır. Döngüsel ekonomide kullanım sürelerinin sonuna gelen ürünler başka işlemler için kaynaklara dönüştürülürken, dönüştürülme işlemi atık minimizasyonu ve döngülerin kapatılması yoluyla yapılır. Model işleyiş olarak üretimle yeterliliği değiştirirken uygulanma imkânı varsa geri kullanımla, geri kullanım mümkün değilse geri dönüşümle, kırılanı tamir ederek, tamir edilmeyecek bir seviyede ise geri üretmekle söz konusu değişimi gerçekleştirir (Stahel, 2016).

Döngüsel ekonomi kavramı köken olarak Royal Society of Chemistry kurumunun ilk başkanı olan R.W. Hofman'a kadar dayanır. Hofman 1848'lerde ideal bir kimya fabrikasını tanımlarken, fabrikanın asla atık oluşturmasını, atık oluşsa bile atıklarının kullanılmasını önererek, temel bir çerçevede döngüsel ekonomiyi tanımlamıştır (Murray ve diğerleri, 2017). Modelin oluşturulmasına yönelik; Rachel Carson (2002)'ün "Silent Spring" kitabı, Barbara Werd ve Kenneth Boulding (2015)'in "The Launch of Spaceship Earth" makalesi ve Roma Kulübünün yayınladığı "Limits to Growth (1972)" raporu önemli gelişmeler olmuştur. 1980'li yıllarda Batı literatüründe belirlemeye başlayan döngüsel ekonomi kavramı, Pearce ve Turner (1991)'in "kaynak-üretim-kirlilik" temasıyla model haline gelmiştir (Winans ve diğerleri, 2017).

Döngüsel ekonominin uygulanma ilkeleri açısından tek bir çerçevesi bulunmazken farklı ülkeler döngüsel ekonomi ilkelerini farklı şekillerde uygulamaktadır. Durum böyle olmakla beraber döngüsel ekonominin uygulanma ilkelerinden birisi atıkların mümkün olduğunca minimizasyonu iken diğeri ise materyallerin değerinin mümkün olduğunca uzatılmasıdır (Adams ve diğerleri, 2017). Döngüsel ekonomi ilkeleri olarak öne çıkan iki konsept bulunur. İlki materyal kullanımında azaltım ilkesini baz alan "Azaltım", materyallerin yeniden kullanımını baz alan "Yeniden Kullanım" ve materyallerin geri kazanımını baz alan "Geri Dönüşüm" ilkelerinin İngilizce dilindeki ifadelerinin baş harflerinden oluşan 3R (Azaltım -Reduce), Geri Dönüşüm

(Recycling) ve Geri Kullanım (Reuse)'dir (Chauhan ve diğerleri, 2021). Diğer uygulama ilkesi ise resolve modelidir ve çalışmaya kaynak teşkil edecek şekilde baz alınmıştır.

Resolve modeli döngüsel ekonominin uygulanma ilkesi bağlamında önemli bir yere sahip olup, ilk olarak Ellen Mac Arthur Foundation (2015) tarafından yayınlanan raporda geçmiştir. Resolve modelinde, dijital(sanal) hizmetlere geçiş, ürünün daha uzun süre yaşam ömrü için dairesel kullanıma önem verme, kaynak etkinliğinde ve verimliliğinde optimizasyon sağlama ve yenilenebilir enerjiye geçiş ana amaçları oluşturur (Bek ve Lim, 2008). Resolve modeli, barındırdığı potansiyelle işletmelere gelişmiş bir strateji sunarken, döngüsel ekonomiye geçişte de işletmelere yol gösterici olmaktadır. Resolve modeli temel olarak 6 basamaklı bir yapıya sahip olup, basamakların nelerden oluştuğu ve neye karşılık geldiği Tablo 1'de verilmiştir (Bek ve Lim, 2008; Jabbour ve diğerleri, 2019).

Tablo 1. Resolve çatı bileşenleri

<i>Resolve Çatı Bileşenleri</i>	<i>Açıklaması</i>
Yenile	Ekosistem temelli malzeme ve enerjide yenilenebilirlik yaklaşımı
Paylaş	Ürünlerin kullanımının tekrarlanması yoluyla ömürlerinin uzatılması
Optimizasyon	Performans ve verimlilik açısından iyileştirme
Döngü	Ürünlerin ve materyallerin tekrardan üretime yönlendirilmesi
Sanallaştırma	Sanallaştırma aracılığıyla fiziksel öğelerden tasarruf etme
Değişim	Teknolojik gelişmelerle malzeme ve ürün geri dönüşümünü artırma

Kaynak: Ellen Mac Arthur Foundation (2015)

Tablo 1'de resolve modelinin bileşenleri incelendiğinde, doğada her şeyin bir diğer şey için girdi olduğu fakat atık olmadığı ilkesinin kabul edildiği görülür. Atık azaltımı, ürünlerin ekonomik dolaşımında tutulması ve bunun geliştirilmesi amacıyla verimlilik ve paylaşım araçlarına önem verilmesi, teknolojik gelişmeler yoluyla geri kazanımı sağlanamayan ürünlerin geri kazanımı ve sanallaştırma aracılığıyla fiziksel öğeler noktasında ham madde zayıflatımının önüne geçilmesi resolve modelinin ana hatlarını oluşturur.

Sürdürülebilirliğin gerçekleştirilmesi ve döngüsel ekonominin uygulanmasının temininde Endüstri 4.0 yenilikçi bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır (Laskurain-Iturbe ve diğerleri, 2021; Rajput ve Singh, 2019). Dolayısıyla yeni ortaya çıkan ve gelişim aşamasında olan Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi kavramlarının birbirleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesi ve tespit edilen ilişkinin sürdürülebilir işletme performansını nasıl etkilediğinin bilinmesi önem arz eder. Maliyetlerle ilgili belirsizlik, temiz üretim için gelişmiş teknolojilerin yetersizliği ve ürün yaşam döngüsü üzerindeki bilgisizlik gibi konular döngüsel ekonominin uygulanmasında engelleri oluştururken, Endüstri 4.0'ın sahip olduğu teknolojilerle söz konusu engellerin aşılması olanaklı hale gelmiştir (Roubaud ve diğerleri, 2018).

Döngüsel ekonominin uygulanmasında materyal ve enerji çevriminin uzatılması önemli bir yer teşkil eder. Endüstri 4.0 kavramı ise ürünlerin nasıl geri dönüştürüleceği ya da parçalarına ayrılabilirliğiyle ilgili ürün pasaportu yaklaşımı ve sahip olduğu teknolojilerle atık oluşumunu azaltması ve aşırı kaynak tüketimini önlemesiyle döngüsel ekonomiyi destekleyici niteliktedir. Endüstri 4.0 ile döngüsel ekonomi arasındaki ilişkiyi belirlemede en çok öne sürülen iki yaklaşımdan birisi dijitalleşme olurken diğeri ise yeni istihdam alanları olmaktadır. Dijitalleşme dolayısıyla Endüstri 4.0 konusunda yapılan çalışmaların döngüselliği arttıracığı savunulurken diğeri bir görüşe göre ise Endüstri 4.0'ın yeni istihdam yaratma noktasında döngüsel iş modellerine fırsat vereceği yönündedir. Öne sürülen her iki yaklaşımın da paylaştığı ortak görüş Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonominin uygulanmasını kolaylaştırdığı yönündedir (Rosa ve diğerleri, 2019). Ayrıca literatürde Endüstri 4.0 ile döngüsel ekonomi arasındaki ilişkiyi açıklayan çalışmalar Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den anlaşılacağı üzere Endüstri 4.0'ın döngüselliği arttırdığı ve aralarında pozitif bir ilişkinin olduğu görülmekte olup her iki kavramın beraber düşünülmesinin sürdürülebilirliği ve sürdürülebilir performansını arttıracığı ön görülebilmektedir.

Sürdürülebilirlik, günümüz insanının ihtiyaçlarını gelecek nesillerinde karşılamalarına engel olmadan elde etmesi ya da gerçekleştirilmesidir. Kavram çevreyle ilişkili olmasının yanında ekonomik gelişim ve sosyal eşitlikle de ilgilidir ki dolayısıyla gelecek nesillere adilane bir paylaşım sağlanması için doğa ve doğanın sahip olduğu sosyal ve ekonomik kaynakların da korunmasını gerektirir (Balcioğlu, 2021: 21).Günümüzde işletmeler arası rekabetin artması ve işletmelerin piyasada varlıklarını devam ettirmesinin kritik bir hal almasından dolayı işletmelerin sürdürülebilir uygulamalara artan bir şekilde yöneldiği ve sürdürülebilirlik konusunda performanslarını değerlendirmeye ihtiyaç duyduğu görülmektedir(Agrawal ve diğerleri, 2021; Gupta ve diğerleri, 2021).

Tablo 2. Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi arasındaki ilişki

<i>İlgili Araştırmacılar</i>	<i>İleri Sürülen İlişki Açıklamaları</i>
Yavuz (2021)	Eğer işletmeler döngüsel ekonomiyi uygulamak istiyorlarsa, Endüstri 4.0'a da gereksinimleri vardır.
Ivanov ve diğerleri (2016), Lom ve diğerleri (2016), Wollschlaeger ve diğerleri (2017), Zhou ve diğerleri (2015)	Makine ve süreçlerden enerji israfını önleme, gelişmiş veri kontrol çalışmaları, operasyonel verimlilik.
Baccarelli ve diğerleri (2017), Schumacher ve diğerleri (2016)	Verimlilikte artış.
Niehoff ve Beier (2018), Gilchrist (2018:217-229)	Sürdürülebilirlik yaklaşımı ile çevresel problemlere çözüm.
Kamble (2018)	Döngüsel ekonomi ile Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiler geneldir, teknoloji odaklı ayrı ayrı incelenmesi gerekir.
Piscitelli ve diğerleri (2020)	Endüstri 4.0'ın süreç ve ürün gözlemlenmesi ve bunlarla ilgili daha fazla bilgiye sahip olması, döngüsel ekonomiyi olumlu yönde etkiler.
Müller ve diğerleri (2018) ve Peukert ve diğerleri (2015)	Endüstri 4.0 atık miktarını azaltarak, döngüsel ekonomiyi olumlu yönde etkiler.
Peukert ve diğerleri (2015)	Nesnelerin İnterneti ile sera gazı emisyonlarının azaltılması mümkündür. Bu ise döngüsel ekonomiyi olumlu yönde etkiler.
Mellor ve diğerleri (2014)	3 boyutlu yazıcı kirliliğin azaltılmasına yardım eder.
Laskurain-Iturbe ve diğerleri (2021)	3 boyutlu yazıcı ürün ve envanter kayıplarını azaltır. Endüstri 4.0 döngüsel ekonominin gelişimine döngüselliliği artırarak katkıda bulunur. Geri kullanım, geri dönüşüm ve iyileştirme alanında Otonom robotlar ve 3 boyutlu yazıcı öne çıkar.
Chauhan ve diğerleri (2020)	Nesnelerin interneti, artırılmış gerçeklik ve büyük veri gibi teknolojiler atıkların izlenebilirliğinde önemli teknolojilerdir.
Roubaud ve diğerleri (2018)	Nesnelerin interneti ile, toprak yaşam döngüsü uzatılabilir, kaynak tüketimi azaltılabilir ve ürün verimliliği artırılabilir.
Romero ve diğerleri (2021)	Endüstri 4,0 ile döngüsel ekonomi arasında bir ilişki vardır ve Endüstri 4.0 döngüsel ekonomi üzerinde direkt bir etkiye sahiptir.
Rosa ve diğerleri (2019)	Gerçek kullanım sadece 3 boyutlu yazıcı tarafından desteklenir Kaynak verimliliği ilkesi simülasyon, büyük veri, siber-fiziksel sistemler, 3 boyutlu yazıcı ve nesnelerin interneti teknolojileriyle desteklenir. Geri dönüşümün uygulanmasında büyük veri, simülasyon ve 3 boyutlu yazıcı teknolojileri etkindir. Yeniden üretimde simülasyon ve 3 boyutlu yazıcı etkindir.
Dantas ve diğerleri (2021)	Otonom robotlar, büyük veri, nesnelerin interneti ve siber-fiziksel sistemler döngüsel ekonominin uygulanmasını kolaylaştırır.
Agrawal ve diğerleri (2021)	Döngüsel ekonomi ile Endüstri 4.0 arasında sürdürülebilirlik yönünden ilişki vardır. Endüstri 4.0, işletmeleri döngüsel ekonomi bakımından destekler ve materyaller ile ürünlerin izlenmesinde ve gerekli bilgilerin edinilmesinde döngüsel ekonomiye yardımcı olur.

Kaynak:(Nascimento ve diğerleri, 2019; Laskurain-Iturbe, 2021; Piscitelli ve diğerleri 2020; Chauhan ve diğerleri, 2021; Romero ve diğerleri, 2021; Rosa, 2020; Dantas ve diğerleri, 2021; Agrawal ve diğerleri, 2021; Yavuz, 2021)

Son zamanlarda birçok işletmenin sadece ekonomik göstergesi baz alan geleneksel performans göstergesinden çevresel ve sosyal göstergesi de baz alan sürdürülebilir bir performans gözetimine doğru kaydığı görülmektedir (Fernando ve diğerleri, 2019). Ekonomi, sosyal ve çevresel olmak üzere toplamda üç göstergeden oluşan sürdürülebilir işletme performansında ekonomik gösterge finansal anlamda

işletmenin ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılama olurlken, çevre göstergesi ise hali hazırdaki ve gelecek nesiller için biyosferin korunmasını ve yenilenmesini baz alır. Son gösterge olan sosyal bileşenle ise toplumun istek ve ihtiyaçlarını gözlemeyi ve geliştirmeyi içerir (Larbi-Siaw ve diğerleri, 2022).

Doğrusal ekonomi sanayi devrimlerinden beri kullanılması sebebiyle su ve karbon ayak izinde artışlara sebebiyet vermiş ve doğal kaynaklar üzerinde bir baskı meydana getirmiştir. Meydana gelen durum sürdürülebilirliğin önemini ortaya koyarken döngüsel ekonomi ise mevcut ekonomik modele alternatif model olarak belirlemiştir (Açıkalın, 2020). Döngüsel ekonominin son zamanlarda önemli bir model olarak ortaya çıkmasında sürdürülebilirlik açısından ilgi odağı olması önemli bir etkidir. Dolayısıyla döngüsel ekonomi ile sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir işletme performansının birbirine yakın iki kavramlar olduğu ve döngüsel ekonominin sürdürülebilirliğin yürütücüsü konumunda olduğu söylenebilir (Manninen ve diğerleri,2018; Latan ve diğerleri, 2020).

Döngüsel ekonominin ham madde ve enerji tüketimini azaltması sürdürülebilir işletme performansının ekonomi boyutuna hitap ederken, yeni iş sahaları yaratması ile toplumsal duyarlılığa hitap etmesi sosyal boyutuna hitap eder. Döngüsel ekonominin ayrıca emisyonları önlemesi ve atık oluşumunu azaltması ise sürdürülebilir işletme performansının çevre boyutuyla ilgilidir (Latan ve diğerleri, 2020). Dolayısıyla, sürdürülebilir işletme performansının üç göstergesinin döngüsel ekonomi uygulamalarını çağrıştırdığı ve döngüsel ekonomi uygulamalarının sürdürülebilir performansla yakından ilişkili olduğu söylenebilir. Her iki kavram arasındaki ilişkiyi belirlemek adına çalışma yapan araştırmacılar ve bulguları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'deki veriler incelendiğinde sürdürülebilir işletme performansıyla döngüsel ekonomi arasında pozitif bir ilişki olduğu ve döngüsel ekonominin sürdürülebilir performansı arttırdığı görülmektedir.

Tablo 3. Sürdürülebilir Performans ve Döngüsel Ekonomi Arasındaki İlişki

<i>İlgili Araştırmacılar</i>	<i>İleri Sürülen İlişki Açıklamaları</i>
Yavuz (2021)	Döngüsel ekonominin sürdürülebilir üretime, uygulamalara ve yönetime katkı sağlayacağı açıktır.
Latan ve diğerleri (2020)	Döngüsel ekonomi, işletmenin ekonomik, çevresel ve sosyal performansını arttırmaktadır. Sürdürülebilir performans ile döngüsel ekonomi arasında pozitif yönlü bir ilişki vardır.
Alonso-Martinez ve diğerleri (2021)	Sürdürülebilir performansı ölçmek için temel alınan sosyal, ekonomik ve çevresel göstergelerle döngüsel ekonomi arasında ilişki vardır.
Gupta ve diğerleri (2021)	Döngüsel ekonomi sürdürülebilir performansı arttırmada en önemli araçtır.
Hadi ve Baskaran (2021)	Sürdürülebilir işletme performansıyla ilgili oluşturdukları öncüller, döngüsel ekonominin ilkeleriyle bağlantılıdır.
Fernando ve diğerleri (2019)	Sürdürülebilir işletme performansıyla ilgili oluşturdukları öncüller, döngüsel ekonomi ilkeleriyle bağlantılıdır.

Yukarıda açıklanan, döngüsel ekonomi ile Endüstri 4.0 arasında pozitif bir ilişki olduğu ve Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonominin uygulanmasını kolaylaştırdığı görüşü ile döngüsel ekonomi ile sürdürülebilir işletme performansı arasında pozitif bir ilişki olduğu ve döngüsel ekonominin sürdürülebilir işletme performansını arttırdığı görüşü yapılan araştırmaya kaynaklık etmiştir.

3. YÖNTEM

Hipotez oluşturma, modeli kurma ve ardından da kurulan modeli test etme amacına dayanan nicel araştırma yönteminde, uygulanan analiz metotları değişkenlik gösterirken yapısal eşitlik modeli ise yapılan analiz metotlarından biri olarak göze çarpmaktadır. Yapısal eşitlik modeli, çok değişkenli farklı istatistiksel analizlerin birleşimi olarak ortaya çıkar (Erbil, 2017). Diğer bir ifadeyle yapısal eşitlik modeli, araştırmacı tarafından hipotezi kurulan bir teorik modelin, benzer amaçlar sağlayan niceliksel testler yoluyla gözlemlenen değişkenler arasında ilişkileri belirlemeye yönelik çeşitli modeller kurulmasını baz alan bir analiz yaklaşımıdır (Lomax ve Schumacker,2010: 2-3; Erbil,2017). Yapısal eşitlik modelinin tarihsel gelişimi incelendiğinde 4(dört) süreç ortaya çıkmaktadır. Yapısal eşitlik modeline giden süreç regresyon analizi ile başlamış, yol analizi ve doğrusal faktör analizi ile devam etmiş ve nihayetinde yapısal eşitlik modelinin bulunması ile sona ermiştir. Yapısal eşitlik modeline giden ilk süreç olan regresyon analizi, en küçük kareler metodunun kullanılarak lineer regresyonun hesaplandığı bir analizdir.1986 yılında Pearson tarafından korelasyon katsayısının tanımlanmasıyla başlayan lineer regresyon iki değişken arasında olan ilişkiyi bağımsız ve bağımlı değişkenleri de tanımlayarak belirlemeye çalışmıştır. Korelasyon katsayısı ise belirlenen bu ilişkide ilişkinin yönünü ve düzeyini açıklamıştır. Araştırmacı ve biyolog olan Sewall Wright (1920) yol analizi çalışmasıyla yapısal eşitlik modeline giden sürece önemli bir katkı yapmıştır. Sewall (1920), yol analizi çalışmasıyla regresyon analizinde ortaya çıkan ilişki durumlarından daha karmaşık ilişkileri modelleme yoluyla açıklamaya çalışmıştır. Birden fazla bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni

nasıl etkilediğini modelleme yoluyla açıklayan yol analizi, yapısal eşitlik modeline model oluşturma konusunda da temel olmuştur. Birkaç yıl sonra C. Spearman (1904) regresyon analiziyle literatüre giren korelasyon katsayısını beraber ya da ilişkili verileri gruplamada kullanarak bir faktör model yaratmada kullanmıştır. Böylece faktör modelin temelini atmıştır. Lawley (1958) ve Thurstone (1947) ise faktör model uygulamalarını daha da geliştirmiş Jöreskog ise doğrulayıcı faktör analizini kapsamlı şekilde geliştirmiştir. İlerleyen zamanda Jöreskog (1973), Keesling (1972) ve Wiley (1973) yol analizi ve doğrulayıcı faktör analizlerini birleştirerek hem gizli gem de gözlemlenen değişkenleri içeren yapısal eşitlik modelini oluşturmuşlardır (Lomax ve Schumacker, 2010: 4-6; Kline, 2011: 15-16).

Yapısal eşitlik modelinde gözlenen ve örtük değişken olmak üzere iki tür değişken bulunur. Ölçümü yapılan ve niceliksel bir değer bulunan şey gözlemlenen değişken olurken, kendi başına bir anlam ifade etmeyen ve birden çok gözlenen değişkenle açıklanan değişken ise örtük değişkendir. Yapısal eşitlik modeli araştırmacının hipotezleri kurup ve değişkenler arasındaki dolaylı ve doğrudan ilişkileri tespit edip bununla ilgili modeli oluşturmasıyla başlar. Modelin oluşturulması ve verilerin elde edilmesiyle kurulan modelin test edilmesi aşamasına geçilir. Test aşaması, ölçüm modeli ve yapısal model olmak üzere iki kısımdan oluşur. Ölçüm modelinde doğrulayıcı faktör analizi yoluyla gözlenen değişkenler test edilirken, yapısal modelde ise gözlenmeyen değişkenler regresyon yapılarının eş zamanlı hipotez testi yoluyla test edilir. Analiz sonucunda elde edilen uyum indisleri ise veri seti ile model arasında uyumun olup olmadığını belirler. Her üç analizinde istenen değerlerde çıkması hipotezlerin kabulü anlamına gelir (Yardımcı, 2016: 4-6). Diğer istatistiki analizler açıklayıcı bir yaklaşıma sahipken yapısal eşitlik modeli ise doğrulayıcı bir yaklaşıma sahiptir ve bundan ötürü hipotez testlerinin yapısal eşitlik modelinde oldukça kolay uygulanabilmesi mümkündür. Çok değişkenli istatistiki tekniklerin ölçüm hatalarında herhangi bir değişim ya da düzeltme yapılamazken, yapısal eşitlik modeli hata değişim parametrelerini açıkça tahmin eder. Çok değişkenli istatistiki teknikler sadece gözlenen ölçümleri ele alırken, yapısal eşitlik modeli hem gözlenen hem de gizli değişkenleri ele alır. Yapısal eşitlik modeli araştırmada dolaylı ve doğrudan ilişkileri ele alır ve çok değişkenli ilişkilere sahip modellemelere de olanak sağlar. Yapısal eşitlik modelinin klasik analiz türlerine karşı söz konusu bu avantajları, yapılan çalışmaların daha başarılı sonuçlanmasına ve değişkenler arasındaki ilişkilerin daha sağlıklı tespitine imkân vermektedir (Khine, 2013: 4-5). Çalışma kapsamında klasik analiz türlerine karşı üstünlüğünden ve değişkenler arasındaki ilişkinin daha sağlıklı belirlenmesine imkân tanımasından dolayı yapısal eşitlik modeli tercih edilmiştir.

3.1. Araştırmanın Amacı

Döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0'ın işletmelerin sürdürülebilir performansına doğrudan ve dolaylı etkilerini belirlemek çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Söz konusu amacı saptamak için aşağıda yer alan hipotezler belirlenmiştir:

H1: Endüstri 4.0 teknolojilerinin asansör sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin sürdürülebilir performansına doğrudan etkisi var mıdır?

H2: Döngüsel ekonominin asansör sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin sürdürülebilir performansına doğrudan etkisi var mıdır?

H3: Endüstri 4.0 teknolojilerinin sürdürülebilir performans döngüsel ekonomi üzerinden dolaylı bir etkisi var mıdır?

3.2. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Türkiye'de 2020 yılı sonu itibarıyla faaliyette bulunan asansör işletmelerinin sayısı 2772'dir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021). Türk asansör sektörünün 2021 yılı dış ticaret hacmi kontrol hizmetleri, belgelendirme, montaj ve bakım da dahil olmak üzere 2-3 Milyar (\$) seviyesinde olup 145 milyon \$'lık ihracat lehine fazlalık bulunmaktadır. İnşaat sektörüyle büyüyen ve kentleşme arttıkça büyümesini devam ettirecek olan asansör sektörünün dış ticarete daha rekabetçi olması ve verimlilik uygulamalarına önem vererek ham madde ve enerji kullanımında azaltmaya gitmesi, ülkesel kaynak kullanımında da önem arz eder. Bu tip göstergelerin değerlendirilmesinde önem arz eden ve çevre, ekonomi ve sosyal göstergelerden oluşan sürdürülebilir performansın artırılmasında, döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0'ın beraber düşünülmesi gerekir. Dış ticaret fazlası veren sektörlerden birisi olan asansör sektöründe verimliliğinin artırılması ile kaynak ve enerji korunumunun sağlanması ülkelerin dış ticarete daha rekabetçi olmalarını da sağlayabilir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020).

Ding ve diğerleri (1995) yaptıkları yapısal eşitlik modelli çalışmalarda örneklem hacmini 100 ile 150 arasında belirtirken (Lomax ve Schumacker, 2010: 42), Kline (2011: 11-12) ise yaptığı çalışmada örneklem hacmini kurulan modeldeki parametrenin 10 ile 20 katı arasında göstermiş aynı zamanda ise minimum örneklem hacmini 200 olarak belirlemiştir. Çalışmada kurulan modeldeki parametre sayısı (Endüstri 4.0'a ait 9 parametre, döngüsel ekonomiye ait 6 parametre ve sürdürülebilir performansına ait 3 parametre) 18 olduğundan bunun 10 katı 180 ve 20 katı 360 olacaktır. Dolayısıyla örneklem sayısının 180

ile 360 arasında olması beklenir. Çalışma kapsamında 2772 asansör işletmesinin hepsine online olarak oluşturulan anket iletilmiştir. Gönderim sonucunda toplamda 322 işletmeden geri dönüş sağlanmış, 20 anket formu ise katılımcıların verdiği eksik cevaplardan dolayı araştırma veri setinden çıkarılmıştır. Sonuç olarak 302 işletmeden elde edilen veriler analiz edilmiş ve geri dönüş oranı yaklaşık %10,9 olmuştur. 302 katılımcı örneklem güvenilirliği açısından %5 hata payı ve %95 güvenirlilik düzeyinde evren örneklem ilişkisi yönünden yeterli görülmüştür.

3.3. Araştırmanın Modeli

Döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0'ın sürdürülebilir performansla ve Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomi aracılığı ile sürdürülebilir performans ile ilişkisini irdelemek amacıyla bir ölçek geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ölçekte döngüsel ekonomi düzeyine yönelik 16 değişken belirlenirken, belirlenen değişkenler yapısal eşitlik modelinin kurulduğu yapıda resolve modelinin 6 alt başlığına göre gruplandırılmıştır. Döngüsel ekonomiye yönelik oluşturulan ölçek ve belirlenen değişkenler Tablo 4'de verilmiştir. Çalışma da sürdürülebilir performans düzeyi için 13 değişken belirlenirken, belirlenen değişkenler "Çevre", "Sosyal" ve "Ekonomi" alt başlığına göre gruplandırılmıştır. Sürdürülebilir performansa yönelik oluşturulan ölçek ve belirlenen değişkenler Tablo 5'de verilmiştir. Çalışmada Endüstri 4.0 düzeyi için 10 değişken belirlenirken, belirlenen değişkenler doğrudan doğruya Endüstri 4.0 teknolojileri olarak seçilmiştir. Çünkü bir işletmede Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılıyorsa, o işletmenin doğrudan doğruya Endüstri 4.0 hakkında bilgi sahibi olduğu kabul edilir. Kullanılan yapısal eşitlik modelinde ise 9 teknolojik değişken baz alınmış, akıllı fabrikalar teknolojisi diğer teknolojileri bünyesinde barındırdığı için yapısal eşitlik modeline dahil edilmemiştir. Endüstri 4.0'a yönelik oluşturulan ölçek ve belirlenen değişkenler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4. Döngüsel ekonomi bileşenleri

<i>İlgili Öncül</i>	<i>Gruplandırma Bileşeni</i>	<i>İlgili Araştırmacılar</i>
Çevresel kazaların önlenmesine yönelik çevresel atık yönetimi	Yenileme	Hina ve diğerleri (2022), Zhu ve diğerleri (2010), Tura ve diğerleri (2019), Ilic ve Nikolic (2016), Doberstein ve Geng (2010)
Tüketicilerin çevre bilincinin artırılmasına yönelik faaliyetler	Yenileme	Govindan ve Hasanagic (2018), Zhu ve diğerleri (2010)
Yenilenebilir enerji kaynaklarına (güneş, rüzgâr enerjisi vb.) olan talep	Yenileme	Govindan ve Hasanagic (2018), Zhu ve diğerleri (2010) Ellen MacArthur Foundation (2015), Manninen ve diğerleri (2018), Lewandowski (2016), Masi ve diğerleri (2017), Doberstein ve Geng (2010)
Sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik (hava emisyonu, zararlı emisyon vb.) tedbirler	Yenileme	Doberstein ve Geng (2010), Zhu ve diğerleri (2010), Schroeder ve diğerleri (2018), Elisha (2020), Masi ve diğerleri (2017), Tura ve diğerleri (2019)
Tehlikeli (zararlı, toksik vb.) maddelerin kullanımının azaltılması	Paylaşım	Whalen ve diğerleri (2017), Zhu ve diğerleri (2010), Lewandowski (2016)
amacıyla ürün tasarımına öncelik verilir		
Kullanılmış ürünlerin iadesi alınarak ürünlerin yeniden satılması ya da	Paylaşım	Lewandowski (2016), Zhu ve diğerleri (2010), Masi ve diğerleri (2017)
yenilenecek satılması		
Ürünün yaşam süresinin uzatılmasına yönelik (Bakım-onarım faaliyetleri, yeni teknik araçlar ve sistemler kullanılması, ürün tasarımının güçlendirilmesi vb.) olarak çeşitli tedbirler	Paylaşım	Latan ve diğerleri (2020), Hart ve diğerleri (2019), Hina ve diğerleri (2022), Zhu ve diğerleri (2010), Bressanelli ve diğerleri (2018), Ellen MacArthur Foundation (2015), European Investment Bank (2020), Lewandowski (2016), Manninen ve diğerleri (2018), Whalen ve diğerleri (2017), Masi ve diğerleri (2017), Sarlati (2017)
Ürün tasarımında; yeniden üretim, ambalaj atığı minimizasyonu ve ürünlerin yeniden kullanılmasını kolaylaştırmak için ürünlerin ve ambalajlarının yeniden kullanım, demontaj ve geri dönüşümünün dikkate alınması	Paylaşım	Sarlati (2017), Zhu ve diğerleri (2010), Manninen ve diğerleri (2018), Masi ve diğerleri (2017), Doberstein ve Geng (2010)
Yeniden kullanım, geri dönüşüm ve kaynak kullanımının azaltımının	Paylaşım	Whalen ve diğerleri (2017), Gue ve diğerleri (2020), Hina ve diğerleri (2022), Doberstein ve Geng (2010), Gupta ve diğerleri (2021)
(3R) da paydaşların (Devlet, diğer işletmeler ve tüketiciler) talepleri		
Tedarik zincirinin iyi yönetimi ürünlerin yeniden kullanımı ve yeniden üretimine olanak sağlar	Optimizasyon	Govindan ve Hasanagic (2018), Hina ve diğerleri (2022), Manninen ve diğerleri (2018), Zhu ve diğerleri (2010), Doberstein ve Geng (2010), Elisha (2020), Gupta ve diğerleri (2021)
Karşılaşılan çeşitli risk faktörleri (Malzeme tedariki sorunları, belirsiz kaynak rezervleri, fiyat dalgalanmaları vb.) kullanılan malzemelerin tekrar kullanımına ve malzeme geri kazanımına olan ilgiyi artırır	Optimizasyon	Gupta ve diğerleri (2021), Whalen ve diğerleri (2017), Masi ve diğerleri (2017), Hina ve diğerleri (2022), Doberstein ve Geng (2010), Tura ve diğerleri (2019), Elisha (2020), Sarlati (2017), European Investment Bank (2020), Hina ve diğerleri (2022), Zhu ve diğerleri (2010), Gue ve diğerleri (2020)
Atıkların minimize edilmesi, yeniden kullanılması ve geri dönüşürülmesi maliyet tasarrufu ve kâr sağlar	Optimizasyon	Gupta ve diğerleri (2021), Whalen ve diğerleri (2017), Hart ve diğerleri (2019), Gue ve diğerleri (2020), Masi ve diğerleri (2017), Zhu ve diğerleri (2010), Tura ve diğerleri (2019), Schroeder ve diğerleri (2018), Elisha (2020), Sarlati (2017), European Investment Bank (2020) Neves ve Marques (2022), Ellen MacArthur Foundation (2015), Latan ve diğerleri (2020), Sarlati (2017), Lewandowski (2016), Manninen ve diğerleri (2018), Bressanelli ve diğerleri (2018)
Ömrünü tamamlamış, kullanılmış ya da kusurlu olan ürün ve materyallerin toplandığı ve geri dönüşürüldüğü alt yapılar	Optimizasyon	Gupta ve diğerleri (2021), Zhu ve diğerleri (2010), Schroeder ve diğerleri (2018), Doberstein ve Geng (2010)
Bileşenlerin ve malzemelerin tekrar tekrar kullanımlarına (kapalı Döngü döngü sistemi) ve aynı bileşen ve malzemelerin dolaşımına (iç döngü) öncelik verilmesi	Optimizasyon	Bressanelli ve diğerleri (2018), Preston ve Lehne (2017), Ellen Mac Arthur Foundation (2015), Manninen ve diğerleri (2018), Lewandowski (2016), Doberstein ve Geng (2010), Hina ve diğerleri (2022),
Fiziksel ürünlerin ve hizmetlerin dijital ve internet tabanlı sanal ortama taşınmasıyla yeni ürün ve hizmetlerin geliştirilmesi	Sanallaştırma	Latan ve diğerleri (2020), Tura ve diğerleri (2019), Lewandowski (2016), Manninen ve diğerleri (2018), Elisha (2020), Ellen MacArthur Foundation (2015)
Yeni teknolojiler kullanılmasıyla, ürünlerin yeniden kullanımı ve Değişim yeniden üretimine dayalı yeni iş modellerinin geliştirilmesi	Değişim	Hart ve diğerleri (2019), Tura ve diğerleri (2019), Sarlati (2017), Latan ve diğerleri (2020), Lewondaski (2016), Ellen Mac Arthur Foundation (2015), Manninen ve diğerleri (2018) Hina ve diğerleri (2022), European Investment Bank (2020)

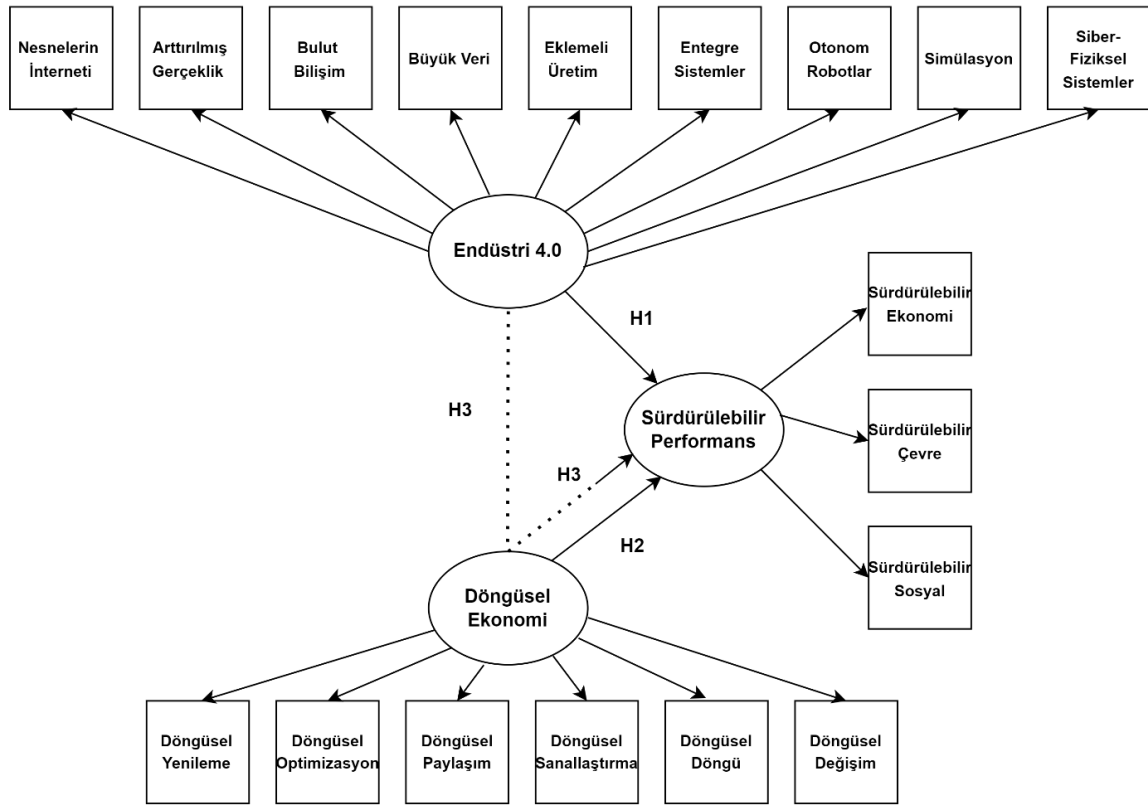
Tablo 5. Sürdürülebilir performans göstergeleri

<i>İlgili Araştırmacılar</i>	<i>Sürdürülebilir Performans Göstergesi</i>	<i>İlgili Öncül</i>
Center for Sustainable Systems (2002), Sajjan ve diğerleri (2017), Paulraj (2011), Global Reporting Initiative (2013), Azapagic ve Perdan (2000), Yavuz (2021), Hadi ve Baskaran (2021), Fernando ve diğerleri (2019), Latan ve diğerleri (2020), Kamble ve diğerleri (2020), Zhu ve diğerleri (2007),	Çevresel	Sera gazı salınımında azaltım
Center For Sustainable Systems (2002), Sajjan ve diğerleri (2017), Paulraj (2011), Global Reporting Initiative (2013), Hadi ve Baskaran (2021), Fernando ve diğerleri (2019), Latan ve diğerleri (2020), Huo ve diğerleri (2019), Zhu ve diğerleri (2007), Azapagic ve Perdan (2000), Martinez ve diğerleri (2021), Yavuz (2021)	Çevresel	Geri dönüşüm ve geri kullanıma öncelik verilmesi ve atık üretiminin azaltılması
Zailani ve diğerleri (2012), Center For Sustainable Systems (2002), Hadi ve Baskaran (2021), Latan ve diğerleri (2020), Huo ve diğerleri (2019), Zhu ve diğerleri (2007), Paulraj (2011)	Çevresel	Tehlikeli ve toksik madde kullanımının azaltılması
Gupta ve diğerleri (2021), Kamble ve diğerleri (2020), Zailani ve diğerleri (2012), Azapagic ve Perdan (2000)	Çevresel	Tasarım aşamasında yeniden kullanılabilir ürün ve ürün dayanıklılığı bakışı
Center For Sustainable Systems (2002), Zailani ve diğerleri (2012), Paulraj (2011), Martinez ve diğerleri (2021), Sajjan ve diğerleri (2017), Huo ve diğerleri (2019), Azapagic ve Perdan (2000), Gupta ve diğerleri (2021)	Çevresel	Kullanılan enerji ve materyal miktarında azalmayla verimlilikte artış
Huo ve diğerleri (2019), Center For Sustainable Systems (2002), Sajjan ve diğerleri (2017), Paulraj (2011), Global Reporting Initiative (2013), Hadi ve Baskaran (2021), Fernando ve diğerleri (2019), Kamble ve diğerleri (2020), Cheng ve Shiu (2012), Latan ve diğerleri (2020), Zailani ve diğerleri (2012), Yavuz (2021)	Ekonomik	Gelir ve Satış hacmi, Kâr marjı, Yatırım iyileşmesi,
Paulraj (2011), Kamble ve diğerleri (2020), Zhu ve diğerleri (2007), Sajjan ve diğerleri (2017)	Ekonomik	Düşük işletme maliyeti ve maliyet azaltımı
Azapagic ve Perdan (2000), Center for Sustainable Systems (2002)	Ekonomik	Yan haklar ve çalışan ücretleri gibi personelin mali gelişimine izin verecek uygulamalar
Center For Sustainable Systems (2002), Azapagic ve Perdan (2000), Global Reporting Initiative (2013), Kamble ve diğerleri (2020)	Ekonomik	Toplumsal yatırıma yönelik çevre, sağlık ve güvenlik gibi alanlarda mali desteklerde artış
Zailani ve diğerleri (2012), Paulraj (2011), Sajjan ve diğerleri (2017), Global Reporting Initiative (2013), Latan ve diğerleri (2020), Martinez ve diğerleri (2021), Kamble ve diğerleri (2020), Huo ve diğerleri (2019)	Sosyal	Gelişmiş paydaş memnuniyeti ile işletmenin kamuoyuna dair itibari ve sosyal risklerinin azalması
Huo ve diğerleri (2019), Center For Sustainable Systems (2002), Sajjan ve diğerleri (2017), Paulraj (2011), Azapagic ve Perdan (2000), Global Reporting Initiative (2013), Hadi ve Baskaran (2021), Latan ve diğerleri (2020), Yavuz (2021)	Sosyal	İş sağlığı ve güvenliği ile çalışan haklarını geliştirme
Sajjan ve diğerleri (2017), Gupta ve diğerleri (2021), Center For Sustainable Systems (2002)	Sosyal	Sürdürülebilirliğin önemiyle ilgili yöneticilere ve çalışanlara eğitim verilmesi
Global Reporting Initiative (2013), Gupta ve diğerleri (2021), Yavuz (2021), Zailani ve diğerleri (2012),	Sosyal	Ürün imajına ve sorumluluğuna verilen önem

Tablo 6. Endüstri 4.0 göstergeleri

<i>İlgili Araştırmacılar</i>	<i>Endüstri 4.0 Değişkenleri</i>	<i>İlgili Öncül</i>
Kamble ve diğerleri (2018), Romero ve diğerleri (2021), Rosa ve diğerleri (2019), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020)	Simülasyon	Simülasyon
Kamble ve diğerleri (2018), Romero ve diğerleri (2021), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020)	Entegre Sistemler	Entegre Sistemler
Kamble ve diğerleri (2018), Romero ve diğerleri (2021), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020), Yavuz (2021)	Bulut Bilişim Sistemleri	Bulut Bilişim Sistemleri
Kamble ve diğerleri (2018), Chauhan ve diğerleri (2020), Romero ve diğerleri (2021), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020), Yavuz (2021)	Arttırılmış Gerçeklik	Arttırılmış Gerçeklik
Kamble ve diğerleri (2018), Peukert ve diğerleri (2015), Mellor ve diğerleri (2014), Laskurain-Iturbe ve diğerleri (2021), Romero ve diğerleri (2021), Rosa ve diğerleri (2019), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020), Yavuz (2021)	3 Boyutlu Yazıcı	3 Boyutlu Yazıcı
Kamble ve diğerleri (2018), Peukert ve diğerleri (2015), Chauhan ve diğerleri (2020), Roubaud ve diğerleri (2018), Romero ve diğerleri (2021), Rosa ve diğerleri (2019), Dantas ve diğerleri (2021), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020), Yavuz (2021)	Nesnelerin İnterneti	Nesnelerin İnterneti
Kamble ve diğerleri (2018), Romero ve diğerleri (2021), Rosa ve diğerleri (2019), Dantas ve diğerleri (2021), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020)	Siber-Fiziksel Sistemler	Siber-Fiziksel Sistemler
Kamble ve diğerleri (2018), Chauhan ve diğerleri (2020), Romero ve diğerleri (2021), Rosa ve diğerleri (2019), Dantas ve diğerleri (2021), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020), Yavuz (2021)	Büyük Veri	Büyük Veri
Kamble ve diğerleri (2018), Laskurain-Iturbe ve diğerleri (2021), Romero ve diğerleri (2021), Dantas ve diğerleri (2021), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020), Yavuz (2021)	Otonom Robotlar	Otonom Robotlar
Kamble ve diğerleri (2018), Romero ve diğerleri (2021), Agrawal ve diğerleri (2021), Piscitelli ve diğerleri (2020)	Akıllı Fabrika	

Çalışma kapsamında döngüsel ekonomi, Endüstri 4.0 ve sürdürülebilir performansa ait değişkenlerle Şekil 2'de çalışmanın yapısal eşitlik modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2. Çalışma kapsamında oluşturulan yapısal eşitlik modeli

Şekil 2’de gösterilen üç ok çalışma kapsamındaki üç farklı hipotezi göstermektedir. H1 hipotezi, Endüstri 4.0 ile sürdürülebilir performans arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki vardır şeklindeki, H2 hipotezi ise döngüsel ekonomi ile sürdürülebilir performans arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki vardır şeklindedir. Çalışmada ki son hipotez olan H3 hipotezi ise Endüstri 4.0’ın döngüsel ekonomi üzerinden sürdürülebilir performans üzerinde anlamlı ve pozitif dolaylı bir etkisi vardır şeklindedir.

3.4. Bulgular

Çalışma kapsamında oluşturulan ölçekten elde edilen verilerle analiz kısmına geçilmiştir. Öncelikli olarak araştırmanın yapı güvenirliği için “Cronbach’s alfa” değerine bakılmıştır. Yapılan analizde ölçeğin “Cronbach’s alfa” değeri 0,931 olarak bulunmuş ve asgari 0,7 değerinden büyük çıkmıştır. “Cronbach’s alfa” testinden sonra örneklem verilerinin faktör analizi için uygun ve yeterli olması için KMO (“Kaiser-Meyer-Olkin”) ve Bartlett Testi yapılmıştır. Yapılan testte KMO değeri 0,916>0,5 çıkmış ve Bartlett Testi ise anlamlı bulunmuştur.

Yapılan testlerden sonra ölçeğin güvenirlik durumunu belirlemek için doğrulayıcı faktör analizi kısmına geçilmiştir. Doğrulayıcı faktör analizinde korelasyon matrisindeki faktör yükleri arasındaki ilişkiye ve her faktör yükünün Cr değerinin Ave değerinden yüksek olmasına bakılır. Çalışma da korelasyon matrisinde her faktör yükünün faktör ilişki değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenirken, her bir faktör yükünün Cr değerinin Ave değerinden yüksek olduğu görülmüş ve modelin iç tutarlılık gösterdiği ve güvenirliğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca söz konusu analizle modelin yapısal eşitlik modelinin uygulanmasına açık olduğu belirlenmiştir.

Döngüsel ekonomi ile Endüstri 4.0’ın sürdürülebilir performansına etkisini belirlemeye yönelik oluşturulan ölçüm modeline yapısal eşitlik modeli uygulanmıştır. Alınan veri ile kurulan model arasında uyumu gözlemek için “Uyum İyiliği İndisleri” değerlerine bakılması ve bulunan değerlerin “Uyum İyiliği İndisleri” nin asgari değerleriyle karşılaştırılması önem arz etmiştir. Tablo 7’de bulunan uyum iyiliği indisleriyle asgari uyum iyiliği indisleri değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde uyum iyiliği indislerinin asgari değerleri karşıladığı görülmüş, kurulan modelle veri arasında uyum olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 7. Uyum iyiliği indislerinin karşılaştırılması

Uyum İyiliği İndisleri	Değer Aralıkları	Elde Edilen Değerler
CMIN (χ^2)		368,851
Df		130
χ^2/Df	<3	2,837
GFI	> 0.80	0,883
AGFI	>0.80	0,846
CFI	>0.90	0,949
RMSEA	<0.08	0,078
NFI	>0.90	0,924
IFI	>0.90	0,95

Modelin yapısal eşitlik modeline uyum sağladığının belirlenmesinden sonra yol-regresyon analizi ile kurulan hipotezlerin test edilmesi aşamasına geçilmiştir. Üç değişken arasındaki ilişki boyutları $p=0,05$ anlamlılık düzeyinde ve β =Standart regresyon ağırlığında belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan analizde Endüstri 4.0 ve sürdürülebilir performans ilişkisi $p=0,608$ ve $\beta=-0,025$ değerlerinde, Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi arasındaki ilişki $p<0,001$ ve $\beta=0,397$ değerlerinde ve döngüsel ekonomiyle sürdürülebilir performans ilişkisi $p<0,001$ ve $\beta=0,754$ değerlerinde çıkmış ve bulunan değerler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Modelin regresyon ağırlıklarına ilişkin verisi

Akış	β	Standart Hata	Kritik Oran	p
Döngüsel Ekonomi ← Endüstri 4.0	0,397	0,1	5,98	***
Sürdürülebilir Performans ← Endüstri 4.0	-0,025	0,09	-0,513	0,608
Sürdürülebilir Performans ← Döngüsel E.	0,754	0,076	12,31	***

*** $p<0,001$

Tablo 8'deki değerler incelendiğinde $p=0,05$ anlamlılık düzeyinde döngüsel ekonomi ile Endüstri 4.0 arasında ve döngüsel ekonomi ile sürdürülebilir performans arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki saptanmış fakat Endüstri 4.0 ile sürdürülebilir performans arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki tespit edilememiştir. Değişkenler arasında doğrudan bir ilişkinin yanı sıra dolaylı bir ilişki de olabilir. Yapılan analiz kapsamında Endüstri 4.0 ile sürdürülebilir performans arasında doğrudan bir ilişki tespit edilememesine rağmen Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomi üzerinden sürdürülebilir performans üzerinde bir etkisi var mı sorusu dolaylı bir ilişkiye işaret etmiştir. Endüstri 4.0 ile sürdürülebilir performans arasında dolaylı bir ilişkinin olup olmadığının tespiti için dolaylı etki analizi (indirect effects) yapılmış ve analize ait veri Tablo 9 'da verilmiştir.

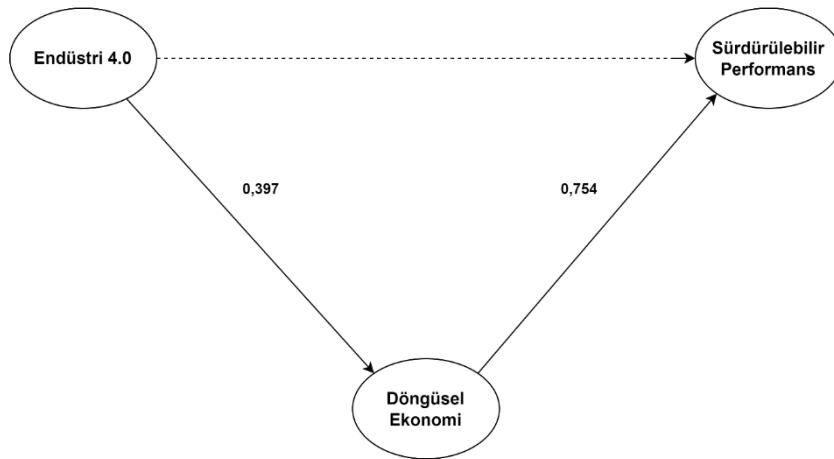
Tablo 9. Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomi aracılığı ile sürdürülebilir performansa etkisi

Dolaylı Etki	Tahmin	En		p
		En Aşağı	Yukarı	
Endüstri 4.0 → Döngüsel Ekonomi	0,561	0,453	0,732	***

*** $p<0,001$

Tablo 9 incelendiğinde Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomi aracılığı ile sürdürülebilir performansa etkisi $p=0,05$ anlamlılık düzeyinde $p<0,001$ olarak anlamlı bulunmuş ve Endüstri 4.0'ın dolaylı yünden sürdürülebilir performansla pozitif ve anlamlı bir ilişkisinin olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak oluşturulan hipotezlerden H2 ile H3 kabul edilirken H1 ise reddedilmiştir. Değişkenler arasındaki belirlenen ilişkiler ve standart regresyon ağırlıkları Şekil 3'de verilmiştir.

Çalışmada döngüsel ekonomi ile sürdürülebilir performans arasında ve Endüstri 4.0 ile döngüsel ekonomi arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomi üzerinden sürdürülebilir performansa pozitif ve anlamlı bir ilişkisi olduğu da belirlenmiştir. Çalışma da döngüsel ekonomi ile sürdürülebilir performans arasında ortaya çıkan anlamlı ve pozitif ilişkiyi Latan ve diğerleri (2020), Alonso-Martinez ve diğerleri (2021), Gupta ve diğerleri (2021), Hadi ve Baskaran (2021) ile Fernando ve diğerleri (2019) de doğrulamıştır. Ayrıca döngüsel ekonomi ile Endüstri 4.0 arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki olduğu sonucunu da İvanov ve diğerleri (2016), Lom ve diğerleri (2016), Wollschlaeger ve diğerleri (2017), Zhou ve diğerleri (2015) gibi araştırmacılar doğrulamıştır (Nascimento ve diğerleri,2019). Araştırma sonucunda Endüstri 4.0 ile sürdürülebilir performans arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki tespit edilmese de Latan ve diğerleri (2020), Agrawal ve diğerleri (2021) ile Gupta ve diğerleri (2021)'nin öne sürdüğü gibi Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomiyi pozitif etkilemek suretiyle sürdürülebilir performansı etkilediği fikri doğrulanmıştır.



Şekil 3. Yapısal eşitlik modeline göre modelin analiz sonucu

Yapılan çalışma göstermektedir ki sürdürülebilir performansın başarılması noktasında döngüsel ekonomiye gereksinim olduğu kadar Endüstri 4.0'a ve uygulamalarına da ihtiyaç vardır. Döngüsel ekonomi ile sürdürülebilir performans arasında ortaya çıkan pozitif ve anlamlı ilişkinin kuvvetlenmesi noktasında Endüstri 4.0 önemli bir rol oynayabilir. Resolve modelinin ilkeleri incelendiğinde ürünlerin yenilenmesinden, verimlilik hususuna, geri dönüşüm ve atık yönetiminden yeni teknolojiler kullanılmasına kadar hemen hemen bütün ilkeler Endüstri 4.0'ı çağırıştırılmaktadır. Elde edilen sonuç ise Rosa ve diğerleri (2019)'nin öne sürdüğü Endüstri 4.0 döngüsel ekonominin uygulanmasını kolaylaştırır fikrini desteklemektedir. Rajput ve Singh (2019)'a göre döngüsel ekonominin başarılması konusunda yaşanacak bir sıkıntı sürdürülebilir performansın başarılmasını da tehlikeye düşürecektir. Bu kapsamda sürdürülebilir performansın başarılmasında döngüsel ekonomi ile döngüsel ekonomiyi destekleyen Endüstri 4.0 kavramının beraber düşünülmesi önem arz etmektedir.

4. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Tüketici tercihlerinin önem kazandığı, toplumsal bilincin ilerlediği günümüz dünyasında işletmeler daha çevreci ve sosyal boyutlara zorlanmaktadır. Küreselleşme sonucunda pek çok büyüklü küçüklü işletmenin uluslararası pazarlara girmesinin önünün açılmasıyla, işletmelerin varlıklarını devam ettirmesi kritik bir hal almış ve rekabet hızlanmıştır. Yaşanan gelişmeleri dikkate alan işletmeler önceleri sadece ekonomik performans göstergelerine odaklanırken yaşanan süreçte ekonomik göstergenin yanına sosyal ve çevresel göstergeleri de koymuşlardır. Her üç göstergenin bir araya gelmesinden oluşan sürdürülebilir performans, işletmelerin günümüz rekabet koşullarında hayatta kalabilmeleri için anahtar bir rol üstlenmiştir. İlerleyen zamanlarda daha mühim hale gelecek olan sürdürülebilir performansın etkinliğini sağlayacak uygulamaların bulunması son derece önemlidir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda sürdürülebilir performansın gelişimine ışık tutacak uygulamalar Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi olarak ortaya çıkmaktadır. Döngüsel ekonomi 3R kavramını baz almakla beraber ham madde ve enerji kullanımının çevrimler aracılığıyla azaltıldığı, istihdam olanağı yaratan ve çevresel atık durumunu minimize eden bir sistem sunmaktadır. Endüstri 4.0 ise üretimdeki tüm akış ve süreçlerin makineler eliyle yapılarak koordinenin ve haberleşmenin süreklilik arz ettiği, insan etkisinin mümkün olduğunca sistem dışına itildiği, üretimdeki kayıpların minimize edilmesi yoluyla telafi edildiği bir sistem sunmaktadır. Her iki kavramın da verimliliği artırarak işletmelere çevresel, sosyal ve ekonomi olarak üç boyutlu bir yarar sağlamasından ötürü ve sürdürülebilir performansla ilişkileri görülmüş dolayısıyla, her iki kavram araştırma kapsamında incelenmiştir.

Günümüz işletmeleri için hayli önem arz eden ve çevresel, sosyal ve ekonomik göstergelerden oluşan sürdürülebilir işletme performansına döngüsel ekonomi ile Endüstri 4.0'ın etkisinin ne düzeyde olduğunun belirlenmesi, çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Çalışmada öncelikle bir ölçek geliştirilmiştir. Bu kapsamda, döngüsel ekonomi için döngüsel ekonomiyi en iyi açıklayan modellerden birisi olan resolve modeli seçilerek, resolve modeline ait 6 göstergeye ait (Yenile, Paylaş, Optimizasyon, Değişim, Döngü, Sanallaştırma)16 döngüsel ekonomi değişkeni belirlenmiş ardından ise Endüstri 4.0 için Endüstri 4.0'ın 9 büyük teknolojisi değişken olarak seçilmiştir. Son olarak sürdürülebilir işletme performansına ait üç göstergeye (çevre, sosyal ve ekonomi) ait 13 değişken belirlenmiştir. Oluşturulan ölçek Türkiye genelindeki asansör işletmelerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlarla çalışmada oluşturulan yapısal eşitlik modeli kurgulanmıştır. Çalışma sonucunda döngüsel ekonomi ile Endüstri 4.0 arasında ve sürdürülebilir performans ile döngüsel ekonomi arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki tespit edilirken, Endüstri 4.0'ın ise

döngüsel ekonomi aracılığı ile sürdürülebilir performansa pozitif ve anlamlı dolaylı bir etkisi de tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma Türkiye'deki tüm asansör işletmelerini kapsadığı için tüm işletmelere ulaşılamamasında zaman ve maliyet kısıtı etkili olmuştur. Ayrıca asansör sektörüne yönelik hizmet veren derneklerin veri paylaşımı yapmaması ve sektöre yönelik araştırmaya destek vermemeleri bir diğer kısıt oluşturmıştır. Son olarak ise döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0 için sürdürülebilirlik alanında bir gösterge setinin ya da rehberinin bulunmaması bir diğer kısıt olarak kalmıştır.

Döngüsel ekonomiyi kuruluşlarına dahil eden ve uygulamak isteyen işletmeler, döngüsel ekonomiyi uygulama noktasında Endüstri 4.0'ı göz ardı edemeyeceklerdir. İşletmeler döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0'ı beraber uygulayacaklar ve sürdürülebilir performansı elde etmelerine mâni kalmayacaktır. Çünkü döngüsel ekonomi sürdürülebilir performansı direkt etkilerken, Endüstri 4.0 ise etkinin dozunu arttırmaktadır. Sürdürülebilir performansı başaran işletmelerin hayatta kalma becerileri yükselirken işletmeler, çevresel, sosyal ve ekonomik olarak da üçlü başarı skalasına sahip olacaklardır. Sürdürülebilir performansı benimseyen işletmeler arttıkça, işletmelerin verimliliği yükselecek ve ülkelerin ham madde ve enerji alanlarında dışa bağımlılığı azalacak, çevresel bozulmaların önüne geçilecek ve sağlıklı toplumların oluşmasının ise önü açılacaktır.

İşletmelerin ekonomik, çevresel ve sosyal göstergelerini değerlendiren sürdürülebilir performansın verimlilikle ilişkisinin bilinmesi önem arz eder. Sürdürülebilir performansı arttıran bir kavram olan döngüsel ekonominin işletmenin temin ettiği ham madde ve enerji kaynağının kullanımını azaltması ve üretim sonucu açığa çıkan atıkları tekrardan üretime yönlendirmesi üretimdeki girdi miktarını azaltacak ve kayıpları da telafi ederek nihayetinde verimliliği arttıracaktır. Sürdürülebilir performansı arttıran bir diğer kavram olan Endüstri 4.0'ın ise üretimdeki hata ve kayıpları sifıra indirme gayesi verimlilikteki artışları desteklemeye yönelik süreçlerdir. Dolayısıyla sürdürülebilir bir performans takibi yapan işletmelerin sayısı arttıkça, ülkelerin kullandığı ham madde ve enerji kalemlerinde düşüş olacak ve verimlilik artacak ayrıca ham madde ve enerjiyi dışarıdan ithal eden ülkeler açısından ise bir tasarruf meydana gelecek ve ülke kaynakları daha etkin planlanabilecektir.

Türkiye'de dış ticaret fazlası veren ve ihracata destek veren sektörlerin başında gelen asansör sektöründe sürdürülebilir performans artışının verimliliği de arttırdığından hareketle döngüsel ekonomi ve Endüstri 4.0 uygulamalarının benimsenmesi de önem arz etmektedir. Yapılan çalışmada işyerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının yapıldığını belirtenlerin oranı %45'te kalırken, döngüsel ekonominin 3R ilkesini uyguladıklarını belirtenlerin oranı ise geri dönüşüm için %64,6, geri kullanım için %62,6 ve azaltım için %70,5 olmuştur. İşletmelerinde sürdürülebilirlik çalışmaları yapıyor diyenlerin oranı ise %71,5 olmuştur. Çıkan sonuçlarda Endüstri 4.0'ın asansör sektöründe kullanımının daha geri planda olduğu görülmektedir. Çalışmadan çıkan sonuçlardan hareketle sektörde Endüstri 4.0 uygulamalarına önem verilmesi hem uygulanan döngüsel ekonomi çalışmalarının hızlandırarak hem de sürdürülebilir performans ile verimliliğin daha da yükselmesine imkân verecektir.

Günümüzde gittikçe önemi artan ve işletmelerin hayatta kalmaları ve rekabetçiliği sağlamalarında kilit bir öneme sahip olan sürdürülebilir performans için Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonominin başarılması önem arz etmektedir. İşletmelerin sürdürülebilir performanslarının gelişimi ve verimliliklerinin artışı noktasında Endüstri 4.0 ile döngüsel ekonomiye ait bir gösterge setinin belirlenerek işletmelerin değerlendirilmesi ve eksikliklerinin belirlenmesi sağlanabilirken ayrıca bir rehber hazırlanarak işletmelerin sürdürülebilir performans noktasında izleyeceği yollar da belirlenebilir. Asansör sektöründe yapılan çalışmanın tüm sanayi sektöründe yapılmasının önü açılarak her bir sektör için hem genel bir sürdürülebilir performans haritası çıkarılması sağlanabilir hem de yıllık bazda bu verilerle genel bir sürdürülebilir performans indeksi ortaya konabilir. Böylece her bir sektörün verimlilik noktasında ne aşamada olduğu tespit edilebilir. Elde edilen verilerle sanayi sektörüyle çevrenin ve sanayi sektörüyle sosyal yapının ne ölçüde uyumlu olduğuyla ilgili genel bir izlenim edinilerek daha sağlıklı politikaların hayata geçirilmesi sağlanabilir.

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
No potential conflict of interest was declared by the author.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.
Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Bu çalışma için Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Etik Kurulu'nun (28/07/2022) tarihli ve (114206) numaralı kararı ile onay alınmıştır.

For this study, the approval of the Ethics Committee (Ankara Hacı Bayram Veli University) was obtained with the decision dated (28/07/2022) and numbered (114206).

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the author that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Açıkalın, N. (2020).” Sürdürülebilirlik Pazarlama Bakış Açısı ile Döngüsel Ekonomi İncelemesi”, *Sakarya İktisat Dergisi*, 9(3), 238-257.
- Adams, K., T., Osmani M., Thorpe, T. ve Thornback, J. (2017). “Circular Economy in Construction: Current Awareness, Challenges and Enablers”, *Waste and Resource Management*, 170, 15-24.
- Agrawal, R.W.V.A., Kumar, A., Upadhyay, A. ve Garza-Reyes, J.A. (2021). “Nexus of Circular Economy and Sustainable Business Performance in the Era of Digitalization”, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(3), 748-774.
- Alonso-Martinez, D., Marchi, V. ve Maria, E. (2021). “The Sustainability Performances of Sustainable Business Models”, *Journal of Cleaner Production*, 323, 1-11.
- Altınpulluk, H. (2018).” Artırılmış Gerçekliği Anlamak: Kavramlar ve Uygulamalar”, *Açık öğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 1(4), 123-131
- Azapagic, A. ve Perdan S. (2000). “Indicators of Sustainable Development for Industry: A General Framework”, *Process Safety and Environmental Protection*, 78(4), 243-261
- Baccarelli, E., Naranjo, P., Scarpiniti, M., Shojafar, M. ve Abawajy, J. (2017), “Fog Of Everything: Energy-Efficient Networked Computing Architectures, Research Challenges, and A Case Study”, *IEEE Access*, 5, 9882-9910.
- 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*, 30(4), 864-898.
- Balcioğlu, İ. (2021).” The Impact of Agricultural Cooperatives on Circular Economy and Sustainability in the Context of Food Supply Chain Models”, Yüksek Lisans Tezi, Yaşar Üniversitesi, İzmir.
- Banger, G. (2018).” Endüstri 4.0”, (2. Baskı), Dorlion Yayınları, Ankara.
- Bek, D. ve Lim, M. (2018).” The Circular Economy: The Circular Economy A Key Approach for Addressing Strategic Challenges in Supply Chains”, *Social Business*, 8, 95-102.
- Boulding, K. ve Werd, B. (2015). “The launch of Spaceship Earth”, *Nature*, 527, 443-445.
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M. ve Sacconi, N. (2018). “Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies”, *Sustainability*, 10(3), 1-21.
- Bulut, E. (2017). “Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi”, *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 55-77.
- Carson, R. (2002).” Silent Spring”, Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, New York.
- Çelen, S. (2017). “Sanayi 4.0 ve Simülasyon”, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 9-26.
- Center for Sustainable Systems. (2002).” Sustainability Assessment and Reporting for The University of Michigan's Ann Arbor Campus”, Michigan.
- Chauhan, A., Kumar Jakhar, S. ve Chauhan, C. (2021). “The Interplay of Circular Economy With Industry 4.0 Enabled Smart City Drivers of Healthcare Waste Disposal”, *Journal of Cleaner Production*, 279, 1-9.
- Chauhan, C., Singh, A. ve Luthra, S. (2020). “Barriers to Industry 4.0 Adoption and Its Performance Implications: An Empirical Investigation of Emerging Economy”, *Journal of Cleaner Production*, 279, 1-9.
- Cheng, C.C. ve Shiu, E. C. (2012). “Validation of A Proposed Instrument For Measuring Eco-Innovation: An Implementation Perspective”, *Technovation*, 32(6), 329-344.
- Çirkin, E. ve Özdağoğlu, A. (2021). “Endüstri 4.0 Bünyesindeki Otonom Robotların Sürdürülebilirlik Perspektifleri Açısından Değerlendirilmesi”, *Erciyes Akademi*, 35(4), 1534-1553.
- Dantas, T.E.T., Destro, I.R., Souza, E. ve Hammers, G. (2021). “How the Combination of Circular Economy and Industry 4.0 Can Contribute Towards Achieving the Sustainable Development Goals”, *Sustainable Production and Consumption*, 26, 213-227.
- Ding, L., Velicer, W.F. ve Harlow, L.L. (1995). “Effects of Estimation Methods, Number of Indicators per Factor, and Improper Solutions on Structural Equation Modeling Fit Indices”, *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 2, 119-143.
- Doberstein, B. ve Geng, Y. (2010).” Developing the Circular Economy in China: Challenges and Opportunities for Achieving 'Leapfrog Development'”, *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15(3), 231-239.
- Doğan, K. ve Arslantekin, S. (2016).” Büyük Veri: Önemi, Yapısı ve Günümüzdeki Durum”, *DTCF Dergisi*, 56(1), 15-36
- Elisha, O.D. (2020). “Moving Beyond Take-Make-Dispose to Take-Make Use for Sustainable Economy”, *International Journal of Scientific Research in Education*, 13(3), 497-516.

- Ellen Mac Arthur Foundation. (2015). "Towards to Circular Economy: Business Rationale for An Accelerated Transition", İngiltere.
- Erbil, M. (2017). "Yapısal Eşitlik Modellemesi: Tanımlar ve Regresyondan Ayrılan Noktalar", www.researchgate.net, 1-17, (Erişim Tarihi: 15.06.2022).
- European Investment Bank. (2022). "The EIB Circular Economy Guide.2020", <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cffe38e5-a930-11ea-bb7a-01aa75ed71a1/language-en>, (Erişim Tarihi: 10.06.2022).
- Fernando, Y., Jabbour, C.J.C. ve Wah, W. (2019). "Pursuing Green Growth in Technology Firms through the Connections between Environmental Innovation and Sustainable Business Performance: Does Service Capability Matter?", *Resources, Conservation & Recycling*, 141, 8-20.
- Gilchrist, A. (2016). "Smart Factories. In: Industry 4.0". Apress, Berkeley, Tayland.
- Global Reporting Initiative. (2013). "G4 Sustainability Reporting Guidelines", Amsterdam
- Govindan, K. ve Hasanagic, M. (2018). "A Systematic Review on Drivers, Barriers, And Practices Towards Circular Economy: A Supply Chain Perspective", *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 278-311
- Gue, V.H.İ., Promentilla, M., Tan, R. ve Ubando, A. (2020). "Sector Perception of Circular Economy Driver Interrelationships", *Journal of Cleaner Production*, 276, 1-10.
- Gupta, H., Kumar, A. ve Wasan, P. (2021). "Industry 4.0, Cleaner Production and Circular Economy: An Integrative Framework for Evaluating Ethical and Sustainable Business Performance of Manufacturing Organizations", *Journal of Cleaner Production*, 295, 1-18.
- Hadi, S. ve Baskaran, S. (2021). "Examining Sustainable Business Performance Determinants İn Malaysia Upstream Petroleum Industry", *Journal of Cleaner Production*, 294, 1-12.
- Haradhan, M. (2019). "The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era", *Journal of Social Sciences and Humanities*, 5(4), 377-387.
- Hart, J., Adams, K., Giesekam, J., Tingley, D. ve Pomponi, F. (2019). "Barriers and Drivers in A Circular Economy: The Case of The Built Environment", *26th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference*, 80, 619-624.
- Herrmann, F. (2018). "The Smart Factory and Its Risks", *Systems*, 6(4), 38.
- Hina, M., Chauhan, C., Kaur, P., Kraus, S. ve Dhir, A. (2022). "Drivers and Barriers of Circular Economy Business Models: Where We Are Now, and Where We Are Heading", *Journal of Cleaner Production*, 333, 1-18.
- Huo, B., Gu, M. ve Wang, Z. (2019). "Green or Lean? A Supply Chain Approach to Sustainable Performance", *Journal of Cleaner Production*, 216, 152-166.
- Ilić, M. ve Nikolić, M. (2016). "Drivers for Development of Circular Economy – A Case Study of Serbia", *Habitat International*, 56, 191-200.
- Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., Werner, F. and Ivanova, M. (2016), "A Dynamic Model and An Algorithm for Short-Term Supply Chain Scheduling in The Smart Factory Industry 4.0", *International Journal of Production Research*, 54(2), 386-402.
- Jabbour, C.J.C, Jabbour, A.B.L.S., Sarkis, J. ve Filho, M.G. (2019). "Unlocking the Circular Economy Through New Business Models Based on Large-Scale Data: An Integrative Framework and Research Agenda", *Technological Forecasting & Social Change*, 144, 546-552
- Jeroen, P.J. ve Brujin, E. (2015). "Innovation Lessons From 3-D Printing", *IEEE Engineering Management Review*, 42(4), 86-94.
- Jöreskog, K.G. (1973). "A General Method for Estimating A Linear Structural Equation System", *ETS Research Bulletin Series*, 2, 1-40
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A. ve Gawankar, S., A. (2018). "Sustainable Industry 4.0 Framework: A Systematic Literature Review Identifying the Current Trends and Future Perspectives", *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408-425.
- Keesling, W. (1972). "Maximum Likelihood Approaches to Causal Flow Analysis", PhD thesis. Univ. Chicago.
- Khine, M.S. (2013). "Application of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice", Sense Publishers, Rotterdam.
- Kirchherr, J. ve Piscicelli, L. (2019). "Towards an Education for the Circular Economy (ECE): Five Teaching Principles and a Case Study", *Resources, Conservation & Recycling*, 150, 1-12.
- Kline, R.B. (2011). "Principles and Practice of Structural Equation Modeling", The Guilford Press, New York.
- Larbi-Siaw, O., Xuhua, H., Owusu, E., Owusu-Agyeman, A., Fulgence, B. ve Frimpong, S. (2022). "Eco-Innovation, Sustainable Business Performance and Market Turbulence Moderation in Emerging Economies", *Technology in Society*, 68, 1-15.

- Laskurain-Iturbe, I., Arana Landin, I., Landeta Manzano, G. ve Uriarte Gallastegui, B. (2021). "Exploring the Influence of Industry 4.0 Technologies on the Circular Economy", *Journal of Cleaner Production*,101,176-190.
- Latan, H., Izeppi, C.W., Fiorini, C.P., Jugend, D., Jabbour, S.L.B.A., Seuring, S. ve Jabbour, C.J.C. (2020). "Stakeholders, Innovative Business Models for The Circular Economy and Sustainable Performance of Firms in An Emerging Economy Facing Institutional Voids", *Journal of Environmental Management*, 264,1-12.
- Lawley, D.N. (1958). "Estimation in Factor Analysis Under Various Initial Assumptions", *British Journal of Statistical Psychology*, 11, 1–12.
- Lewandowski, M. (2016). "Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework", *Sustainability*,8(1),1-28.
- Lom, M., Pribyl, O. ve Svitek, M. (2016), "Industry 4.0 As A Part of Smart Cities", *Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, 1-6.
- Lomax, R.G. ve Schumacker, R.E. (2010). "A Beginner's Guide to Structural Equation Modelling", Routledge,New York.
- Manninen, K., Koskela, S., Antikainen, R., Bocken, N. (2018). "Do Circular Economy Business Models Capture Intended Environmental Value Propositions?", *Journal of Cleaner Production*, 171, 413-422.
- Masi, D., Kumar, V., Garza-Reyes, J., Godsel, J. (2018)." Towards A More Circular Economy: Exploring the Awareness, Practices, And Barriers from A Focal Firm Perspective", *Production Planning & Control*, 29(6), 539-550.
- McKinsey&Company. (2015). "Industry 4.0 How to Navigate Digitization of The Manufacturing Sector", New York.
- Mellor, S., Hao, L., Zhang, D. (2014)." Additive Manufacturing: A Framework for Implementation", *International Journal of Production Economics*,149, 194-201.
- Müller, J.M., Kiel, D. ve Voigt, K.I. (2018). "What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in The Context of Sustainability", *Sustainability*, 10 (1), 247.
- Murray, A., Skene, K. ve Haynes, K. (2017). "The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in A Global Context", *Journal of Business Ethics*, 140, 369-380.
- Nascimento, D.L.M., Alencastro, V., Quelhas, O., Caiado, R., Garza-Reyes, J., 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.
- Neves, S.A. ve Marques, A.C. (2022). "Drivers and Barriers in The Transition from A Linear Economy to A Circular Economy", *Journal of Cleaner Production*,341,1-13.
- Niehoff, S., Beier, G. (2018). "Industrie 4.0 And A Sustainable Development: A Short Study on The Perception and Expectations of Experts in Germany", *Int. J. Innovation and Sustainable Development*, 12 (3), 360–374.
- Önder, H. (2018). "Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışında Yeni Bir Kavram: Döngüsel Ekonomi", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*,57,196-204.
- Özdoğan, O. (2019). "Endüstri 4.0", Deniz Ofset Matbaacılık, İstanbul.
- Paulraj, A. (2011). "Understanding The Relationships Between Internal Resources and Capabilities, Sustainable Supply Management and Organizational Sustainability", *Journal of Supply Chain Management*,47(1),19-37.
- Pearce, D.W. ve Turner R.K. (1991)." Economics of Natural Resources and The Environment", *American Journal of Agricultural Economics*,73(1),227-228.
- Peukert, B., Benecke, S., Clavell, J., Neugebauer, S., Nissen, N.F., Uhlmann, E., Lang, K.D. ve Finkbeiner, M. (2015). "Addressing Sustainability and Flexibility in Manufacturing Via Smart Modular Machine Tool Frames to Support Sustainable Value Creation", *Procedia CIRP*, 29, 514–519
- Piscitelli, G., Ferazzoli, A., Petrillo, A., Cioffi, R., Parmentola, A. ve Travaglion, M. (2020). "Circular Economy Models in the Industry 4.0 Era: A Review of the Last Decade", *Procedia Manufacturing*, 42, 227-234.
- Preston, F. ve Lehne, J. (2017)." A Wider Circle? The Circular Economy in Developing Countries", <https://www.chathamhouse.org>,1-24.
- Rajput, S. ve Singh, S.P. (2019). "Connecting Circular Economy and Industry 4.0", *International Journal of Information Management*, 49, 98-113.
- Romero, C.A.T., Castro, D.F., Ortiz, J.H., Khalaf, O.İ. ve Vargas, A.M. (2021). "Synergy between Circular Economy and Industry 4.0: A Literature Review", *MPDI*,13(8), 4331.
- Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Terzi, S. and Chiaroni, D. (2019). "Assessing Relations between Circular Economy and Industry 4.0: A Systematic Literature Review", *International Journal of Production Research*, 58(6), 1662-1687.
- Roubaud, D., Jabbour, A. ve Filho, M. (2018). "Industry 4.0 and the Circular Economy: A Proposed Research Agenda and Original Roadmap for Sustainable Operation", *Annals of Operations Research*, 270, 273-286.

- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Engel, P., Harnisch, M. ve Justus, J. (2015). "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries", Boston Consulting Group.
- Sajan, M.P., Shalij, P.R., Ramesh, A.B. ve Augustine P. (2017). "Lean Manufacturing Practices in Indian Manufacturing SMEs and Their Effect on Sustainability Performance", *Journal of Manufacturing Technology Management*,28(6),772-793.
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2020). "Asansör Sektörü Raporu", Ankara.
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2021). "Sanayi Sicil Verileri", Ankara.
- Sariatli, F. (2017). "Linear Economy Versus Circular Economy: A Comparative and Analyzer Study for Optimization of Economy for Sustainability", *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 6(1), 31-34.
- Schroeder, P., Anggraeni, K., Weber, U. (2018). "The Relevance of Circular Economy Practices to The Sustainable Development Goals", *Journal of Industrial Ecology*,23(1),77-95
- Schumacher, A., Erol, S. ve Sihm, W. (2016), "A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises",52,161-166.
- Schwab, K. (2016). "The Fourth Industrial Revolution", World Economic Forum, Geneva.
- Siemens. (2021). "Endüstri 4.0", <http://siemens.edergi.com/pubs/Endustri40/Endustri40/Default.html#p=1,9>, (Erişim Tarihi: 23.04.2021)
- Spearman, C. (1904). "The Proof and Measurement of Association Between Two Things". *American Journal of Psychology*, 15, 72–101.
- Stahel, W.R. (2016). "The Circular Economy", *Nature*, 531, 435-438.
- The Club of Rome. (1972). "The Limits to Growth", Washington.
- Thurstone, L.L. (1947). "Multiple factor analysis". *University of Chicago Press: Chicago*.
- Tura, N., Hanski, J., Ahola, T., Stahle, M., Piiparinen, S. ve Valkokari, P. (2019). "Unlocking Circular Business: A Framework of Barriers and Drivers", *Journal of Cleaner Production*,212,90-98.
- Türkmen, M.A. ve Kılıç, F. (2020). "Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışına Yönelik Döngüsel Ekonomi Modeli", *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 55(4), 2538-2556.
- Üstündağ, A. ve Çevikcan, E. (2018). "Industry 4.0: Managing the Digital Transformation", *Springer International Publishing*, İsviçre.
- Whalen, K., Mont, O., Plepys, A., Nussholz, J. (2017). "Business Model Innovation for A Circular Economy", Lund University.Lund University Publications,5-35
- Wiley, D.E. (1973). "Identification Problem for Structural Equation Models with Unmeasured Variables", *NCJRS Virtual Library*,69-83.
- Winans, K., Kendall, A. ve Deng, H. (2017). "The History and Current Applications of the Circular Economy Concept", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833.
- Wollschlaeger, M., Sauter, T. and Jasperneite, J. (2017), "The Future of Industrial Communication: Automation Networks in The Era of The Internet of Things and Industry 4.0", *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11(1),17-27.
- Wright, S. (1934). "The Method of Path Coefficients". *Annals of Mathematical Statistics*, 5, 161–215.
- Yardımcı, A. (2016). "Yapısal Eşitlik Modellemesi ve Pazar Araştırmalarında Kullanımı", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yavuz, O. (2021). "Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0", Sonçağ Yayıncılık, Ankara.
- Yıldırım, Y. (2019). "Endüstri 4.0'a Kapsamlı Bir Bakış: 2011'den Bugüne", *Bilgi Dünyası*, 20(2), 217-249
- Zailani, S., Jeyaraman, K., Vengadasan, G. ve Premkumar, R. (2012). "Sustainable Supply Chain Management (SSCM) in Malaysia: A Survey", *International Journal of Production Economics*,140(1),330-340.
- Zhang, C., Xu, X. ve Chen, H. (2020). "Theoretical Foundations and Applications of Cyber-Physical Systems: A Literature Review", *Library Hi Tech*, 38(1), 95-104.
- Zhou, K., Liu, T. ve Zhou, L. (2015), "Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges", *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discoveries, August*,2147-2152.
- Zhu, Q., Geng, Y. ve Lai, K. (2010). "Circular Economy Practices Among Chinese Manufacturers Varying in Environmental-Oriented Supply Chain Cooperation and The Performance Implications", *Journal of Environmental Management* 91,1324-1331.
- Zhu, Q., Sarkis, J. ve Lai, K. (2007). "Initiatives and Outcomes of Green Supply Chain Management Implementation by Chinese Manufacturers", *Journal of Environmental Management*, 85,179-189.