

ÜLKELERİN ENDÜSTRİ 4.0 SEVİYESİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA DÜZEYLERİNE ETKİSİNİN ANALİZİ

Merve Doğruel ANUŞLU^{1*}, Seniye Ümit FIRAT²

¹İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-2299-7182>

²Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0271-5865>

Anahtar Kelimeler	Öz
Çevresel Performans Endeksi, Endüstri 4.0, Küresel İnovasyon Endeksi, Regresyon Analizi, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları	Teknoloji, inovasyon ve bilgi kavramlarının Endüstri 4.0 evriminin en önemli tetikleyicileri ve aktörleri olduğu bilinmektedir. Ülkelerin Endüstri 4.0 yolculuğundan kaçınması mümkün değildir; bu nedenle ülkelerin rekabet edebilmesi için, Endüstri 4.0'ın temel özelliği olan insanlar-makineler-ürünler arasında gerçek zamanlı iletişimlerle esnek, müşteri taleplerine özel, dijitalleştirilmiş akıllı imalat modelleri uygulayarak üretim yapması gerekmektedir. Endüstri 4.0'ın sağladığı pek çok avantaj olmakla birlikte, bazı dezavantajları da tartışılmaktadır. Endüstri 4.0'ın avantajlarından en üst seviyede yararlanmak, dezavantajlarından ise en az etkilenmek için; ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlar kapsamında sürdürülebilirlik yaklaşımları ile değerlendirilmesinin gerektiği, akademik literatürde ve uluslararası kuruluşların raporlarında belirtilmektedir. Bu çalışmada Endüstri 4.0 aktörlerinin ve araçlarının, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel performans üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla uluslararası kuruluşların yayınladığı ve ülkelerin yol haritalarını belirlemede baskıcı bir rehber olan küresel endekslerin göstergeleri, etkileyen ve etkilenen değişkenler olarak kullanılmıştır. Endüstri 4.0'ı temsilen "Küresel İnovasyon Endeksi", sürdürülebilir kalkınmayı temsilen ise "Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları" ve "Çevresel Performans Endeksi" belirlenmiştir. Analiz için, endekslerde yer alan 116 ülkenin 2018 yılına ait veri seti kullanılmıştır. 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı, Faktör Analizi ile boyut indirgenerek analize dahil edilmiştir. Regresyon Analizi ile inovasyonun, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel performans üzerindeki etkilerini gösteren çeşitli modeller kurulmuştur. Elde edilen anlamlı modeller literatür ile karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF INDUSTRY 4.0 LEVEL ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT DEGREES OF COUNTRIES

Keywords	Abstract
Environmental Performance Index, Industry 4.0, Global Innovation Index, Regression Analysis, Sustainable Development Goals	It is known that the concepts of technology, innovation and knowledge are the most important triggers and actors of the evolution of Industry 4.0. It is not possible for countries to avoid the journey of Industry 4.0. Therefore in order to compete the countries are required to produce by applying flexible, customer-specific, digitized intelligent manufacturing models that based on real-time communications between people-machines-products, which are the core characteristics of Industry 4.0. It is discussed in the literature that the Industry 4.0 has many advantages as well as disadvantages. To benefit from the advantages of Industry 4.0 at the highest level and to be least affected by the disadvantages; it is stated in the academic literature and in the reports of international organizations that sustainability approaches should be evaluated within the scope of economic, social and environmental dimensions. In this study, it is aimed to determine the effects of Industry 4.0 actors and tools on sustainable development and environmental performance. For this purpose, the indicators of global indices published by international organizations, which are a repressive guide in determining the country's road maps, were used as affecting and affected variables. "Global Innovation Index" in order to represent Industry 4.0; "Sustainable Development Goals" and "Environmental Performance Index" to represent sustainable development have been determined as the research input data. Data set of 116 countries that included in 2018 reports of the selected indices was used in the analyses. 17 Sustainable Development Goals were contained as dependent variables in the Regression Analyses after dimension reduction with Factor Analysis. Regression models have established with several versions showing the effects of innovation on sustainable development and environmental performance. The obtained significant regression models were interpreted comparatively with literature.
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 26.11.2019	Submission Date : 26.11.2019
Kabul Tarihi : 20.01.2020	Accepted Date : 20.01.2020

*Sorumlu yazar; e-posta : merve.anuslu@gedik.edu.tr

1. Giriş

Yaşadığımız Endüstri 4.0 devriminin etkileri bireysel yetkinlikler düzeyinden, ülkelerin belirleyeceği stratejik hedeflere kadar her alanda hissedilmektedir. Bu nedenle, Endüstri 4.0 üzerinde son yıllarda mühendislikten iktisada, yönetim biliminden hukuka kadar pek çok alanda akademik çalışma yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda Endüstri 4.0'ın getirdiği ve getireceği pek çok avantajın yanı sıra, bazı dezavantajlardan bahsedilmektedir. Endüstri 4.0'ın getireceği avantajlardan maksimum fayda sağlayıp, dezavantajlarından ise minimum etkilenmek için Endüstri 4.0 ile sürdürülebilirliğin birlikte ele alınması oldukça önemlidir.

Kamble, Guneseakaran ve Gawankar (2018), Endüstri 4.0 literatüründe sürdürülebilirlik konusunun çok fazla yer almadığına dikkati çekmektedir. Bundan ötürü sürdürülebilirlik ve Endüstri 4.0'ı ele alan çalışmalara ve buna yönelik teknik ve araçlara önemli bir ihtiyaç olduğuna vurgu yapmaktadırlar.

Madencilik sektörü için Aznar- Sánchez, Velasco-Muñoz, Belmonte-Ureña ve Manzano-Agugliaro, (2019), ekonomik gelişmenin ve bu bağlamda inovasyon ve teknolojiye ilerlemelerin, sürdürülebilirlik boyutları ve alanları üzerinde olumlu olduğu kadar, olumsuz etkilerinin olduğuna da dikkat çekmektedir. Örneğin yatırımların (sermaye, teknoloji vb.) küresel ısınma ve çevresel etkileri üzerinde hem olumlu hem olumsuz etkisi olduğu belirtilirken; gayri safi yurtiçi hasılanın ve refah yaratmanın biyolojik çeşitliliğin kaybına yol açtığı; yine gelir ve refah seviyesi dağılımının enerji kullanımına hem pozitif hem negatif etkisi bulunduğu bildirilmektedir.

“Sürdürülebilir kalkınma için inovasyon” konusundaki araştırmalar, farklı topluluklarda ortaya çıkan farklı bakış açılarını ve ilgileri yansıtmaktadır ve bu nedenle karmaşıklık, çeşitlilik ve yoğunluk bakımından zengin içerikte olmaktadır (Silvestre ve Tîrcă, 2019).

Literatürün büyük bir kısmında, inovasyonun ekonomik büyüme ve sosyoekonomik gelişim dinamikleri üzerindeki etkisinden şüphe duyulmamaktadır. Genel olarak inovasyon, teknolojik, sosyal ve kültürel bir değişim kaynağı olarak görülmekte, buluşların yaratıcı kapasitesi olarak değerlendirilmekte ve insanlığın evrimi için bir amaç gibi kabul edilmektedir. Dünya genelinde, inovasyon ekonomik büyüme ve sürdürülebilirlik gündemlerinde çok önemli bir yere

konumlandırılmakta ve adeta bir Kutsal Kase olarak nitelendirilmektedir. Geniş bir literatüre rağmen, inovasyonun geniş kapsamlı bir tanımının yapılması ve içeriğinin açıklanması oldukça zordur. Inovasyonun bazı disiplinler açısından farklı anlam ve tanımlara sahip çok boyutlu bir kavram olduğu söylenebilir (Edwards-Schachter, 2018).

Bu çalışmada, inovasyonların devrimi olarak kabul edeceğimiz Endüstri 4.0 devriminin aktörlerinin ve araçlarının, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel performanslar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak uluslararası kabul görmüş ve literatürde yer alan inovasyon göstergelerinin sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırma verileri belirlenen değişkenler için uluslararası kuruluşlarca yayımlanan ve akademik altyapıya sahip endekslerden elde edilmiştir. Temel Bileşenler Analizi ile indirgenmiş veriler kullanılarak veri madenciliği yöntemlerinde sıklıkla uygulanan Regresyon Analizi ile modeller kurulmuştur. Elde edilen anlamlı modeller incelenerek, ülkelerin sahip olduğu Endüstri 4.0 seviyelerinin, ülkelerin sürdürülebilir kalkınma ve çevresel performans üzerindeki etkileri yorumlanmıştır.

2. Endüstri 4.0 Kapsamında Sürdürülebilir Kalkınma ve Inovasyon

Endüstri 4.0 kavramı ilk kez 2011 yılında Hannover Fuarında Alman hükümeti tarafından Alman Federal Hükümetinin ileri teknoloji stratejisinin bir boyutu olan imalatın sayısallaştırılması projesine verilen isim olarak dile getirilmiştir. 2012 yılında Endüstri 4.0 Çalışma Grubu, Alman hükümeti için endüstriyel kalkınma önerilerinin bir listesini hazırlamış ve 2013 yılında yine Hannover Fuarında nihai raporu beyan etmişlerdir (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2019b; Sabancı Üniversitesi, 2017).

Endüstri 4.0 devrimini, diğer devrimlerden farklı kılan üç temel özellik; yeni ve üstün yetenekli teknolojiler üretmesi ile ilgili olarak “hız”, dijital teknolojiler üzerine inşa edilmesi ve iş dünyası, toplum, bireyler üzerindeki benzeri görülmemiş paradigmalara ilerlemesi, teknolojik değişimler ve donanımlar geliştirmesi ile ilgili olarak “genişlik ve derinlik”, her şeyin bağlantılı olduğu ağ sistemleri, bütünleşik bir dönüşüm ile ilgili olarak “sistem etkisi” şeklinde belirtilmektedir (Fırat ve Fırat, 2017a).

Literatürde Endüstri 4.0'ı ifade etmek için en çok kullanılan kavramların ilk dördü şu şekildedir: siber-

fiziksel sistemler (cyber-physical systems), nesnelerin interneti (internet of things -IoT), akıllı fabrika (smart factory) ve servislerin interneti (internet of services) (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2019b; Hermann, Pentek ve Otto, 2015).

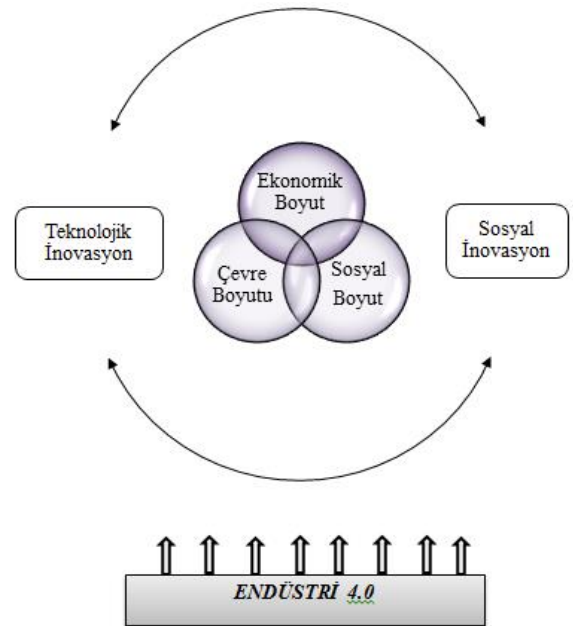
Endüstri 4.0 bileşenleri tamamen internet ile çevrelenen ve donatılan dijital ürünler sistemidir. Çoğu bulut teknolojileri tarafından saklanan ve yönetilen sistemler şu şekilde sıralanabilir: siber-fiziksel sistemler, büyük veri analizi, makineden makineye (M2M), arttırılmış gerçeklik, eklemeli üretim (3D yazıcı), bulut teknolojisi, siber güvenlik, akıllı robotlar, akıllı ürünler, akıllı fabrika, yatay-dikey entegrasyon, servislerin interneti, nesnelerin interneti (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2019b).

Günümüzde Ar-Ge, inovasyon ile birlikte anılmakta olup yeni kavram Ar-Ge ve İnovasyon (Research & Development & Innovation) olarak literatürde yer almaktadır (Fırat, Yurtsever ve Bilsel, 2015). Dolayısıyla Ar-Ge faaliyetleri ile şekillenen Endüstri 4.0 devriminin inovasyondan ayrı düşünülmesi mümkün değildir. 2016 yılında Küresel Bilgi Teknolojileri Raporu'nun teması "Dijital Ekonomide İnovasyon (Innovating in the Digital Economy)" olarak belirlenmiştir. Bu rapora göre, Endüstri 4.0 devriminin, hem inovasyonun doğasını değiştirdiği, hem de firmaların sürekli olarak inovasyon yapma konusunda artan bir baskıya maruz kaldığı vurgusu yapılmaktadır (World Economic Forum, INSEAD ve Cornell University, 2016).

Endüstri 4.0 devriminin gelişmekte ve evrilmekte olan teknolojilerinin tüm dünyada birçok alanda kaçınılmaz olarak değişim ve dönüşüm yaratmaktadır. Bu değişim ve dönüşüm sonucunda istenen pek çok olumlu sonucun dışında, istenmeyen bazı olumsuz sonuçlar ve tehditler de ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle uyum sağlanması gereken Endüstri 4.0 devriminin olumlu sonuçlarından maksimum fayda sağlamak, bunun yanında olumsuz sonuçlarını ve tehditlerini minimuma indirmek için sürdürülebilirlik kapsamında ele alınması oldukça önemlidir (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2019b; Fırat ve Fırat, 2017b).

Sürdürülebilirlik genel olarak ekonomik boyut, sosyal boyut ve çevre boyutu olmak üzere üç başlık altında ele alınmaktadır. Bu üç boyut birbirinden kesin çizgilerle ayrıtırlanamamak ve pek çok kesişen alt konular bulunmaktadır. Bu kesişim alanında yer alan en önemli aktörlerden biri inovasyondur. İnovasyon olumlu veya olumsuz etkileri ile hem toplumu, hem ekonomiyi, hem de çevreyi değiştirmekte ve dönüştürmektedir.

Yaşanmakta olan Endüstri 4.0 devrimi inovasyonla son derece çok ilişkilidir. Endüstri 4.0, veri, bilgi, BİT (bilgi ve iletişim teknolojileri – ICT/information and communication technology), IoT vb. kavramlar ile inovasyona dayalı bir ekonomiye geçişi temsil etmektedir. Bu, endüstriyel çağın iş süreçlerini, pazarlarını ve mevcut yapısını etkileyecek ve yeni bir dijitalleşme çağına geçişe, üretim sistemleri ağının daha akıllı olmasına ve birbirlerine bağlı iş süreçlerine yol açacaktır (Morrar, Arman ve Mousa, 2017). Şekil 1'de (Morrar ve diğ., 2017) Endüstri 4.0, sürdürülebilirlik ve inovasyon arasındaki etkileşim gösterilmektedir.



Şekil 1. Endüstri 4.0, Sürdürülebilirlik ve İnovasyon Etkileşimi

Şekil 1'de de izlendiği gibi, bu üç kavram arasındaki yoğun etkileşim küresel bazda bakıldığında ülkelerin sürdürülebilir kalkınma düzeylerine yansımaktadır.

2.1 Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre

Spesifik disiplin ve alanlarla ilgili olarak literatürde 500'den fazla sürdürülebilirlik tanımı bulunmaktadır. Değişik sürdürülebilir tanımlarına karşılık, konsept şu temel prensipleri içermektedir (Young ve Dhanda, 2013).

- Yeryüzünde yaşamının çevresel sınırları vardır.
- İnsanlar kirlenmeyi önleme veya bunu düzeltme sorumluluğuna sahiptir.

- Ekonomi, çevre ve toplum birbirine bağlı ve birbirine bağımlıdır.

Sürdürülebilir kalkınma alanındaki sürdürülebilirlik tanımı en yaygın kullanılanlardan biridir (Young ve Dhanda, 2013). Literatürde hala en sık karşılaşılan ve en çok atıf yapılan (Akpulat, 2019) sürdürülebilir kalkınma tanımı ise, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından ilk yapılan tanımlamadır (WCED, 1987, s.41): “Sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden, bugünün ihtiyaçlarını karşılayan bir gelişmedir”. Tanımda ihtiyaç kavramı ile çevrenin, bugünün ve geleceğin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğine teknolojinin ve sosyal örgütlenmenin getirdiği sınırlama düşüncesi yer almaktadır. Bu nedenle, ekonomik ve sosyal kalkınma amaçları kapsamında, gelişmiş ve gelişmekte olan, piyasa ekonomisine ve merkezi planlamaya dönük tüm ülkelerde sürdürülebilirlik esas alınmalıdır. Sürdürülebilir kalkınma stratejisinde, baştan sona karar vermede ekonomik ve ekolojik düşünceleri bütünleştirmek temel prensiptir (Bilgili, 2017).

Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevre olmak üzere üç temel boyutu bulunmaktadır (Tıraş, 2012):

- *Ekonomik boyut:* Mal ve hizmetleri devamlılık esaslarına göre üretebilen, tarımsal ve endüstriyel üretime zarar veren sektörel dengesizliklerden sakınan, iç ve dış borçların yönetebilir düzeyde sürdürülebilirliğini sağlayan sistem, ekonomik olarak sürdürülebilir bir sistemdir.
- *Sosyal boyut:* Eğitim ve sağlık gibi sosyal hizmetlerin yeterliliği ve eşit dağılımı, cinsiyet eşitliği, politik sorumluluk ve katılımı sağlayabilen sistem, sosyal olarak sürdürülebilir bir sistemdir.
- *Çevre boyutu:* Kaynak temelini sabit tutarak, yenilenebilir kaynak sistemlerinin ya da çevresel yatırım fonksiyonlarının istismarından kaçınan ve yenilenemeyen kaynaklardan yalnızca yatırımlarla yerine yeterince konulmuş olanları tüketen, biyolojik çeşitlilik, atmosferik denge ve diğer ekosistem unsurlarının korunmasını da içeren sistem, çevresel olarak sürdürülebilir bir sistemdir.

Sürdürülebilir kalkınma ile ilgili olarak küresel kurumlar tarafından yapılan önemli çalışmaların

tarihçesi Tablo 1’deki gibi özetlenebilir (Baidoc ve Bacalı, 2017; Bilgili, 2017; Feil ve Schreiber, 2017; Tıraş, 2012).

Tablo 2’de görülen 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı (SKA) (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019), küresel boyutta bilinçlenme ve harekete geçmek için yapılan evrensel eylem çağrısıdır.

2016 yılından beri Bertelsmann Stiftung ve Sürdürülebilir Kalkınma Çözümleri Ağı (Sustainable Development Solutions Network - SDSN) tarafından hazırlanan Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Endeksi Raporu, ülkelerin sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşmak için konumlarını değerlendiren dünya çapında yapılan ilk çalışmadır. Bu rapor, ülkelerin sürdürülebilirlik hedef maddesi bağlamındaki mevcut konumlarını tanımlamakta ve 2030 yılına kadar ülkeler tarafından gerçekleştirilmesi beklenen sürdürülebilir kalkınma amaçlarında hangi sorunlara öncelik verilmesi gerektiği konusunda önemli ipuçları sunmaktadır (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2019a; Sachs, Schmidt-Traub, Kroll, Lafortune ve Fuller, 2018a).

Çevre politikasına veri odaklı yaklaşımların öncüsü durumunda olan Çevresel Performans Endeksi (ÇPE), ülkelerin çevresel performansları hakkında küresel bir değerlendirme yapabilmesine olanak vermesi ve sürdürülebilirlik konusunda ülkelere rehberlik etmesi açısından önemlidir. ÇPE 2018 çerçevesi, sürdürülebilir kalkınmanın “çevresel sağlık” ve “ekosistem canlılığı” olarak iki temel boyutta, 10 kategoriye içermektedir (Fırat, Yurtsever, İleri ve Kılıncım, 2017; Wendling ve diğ., 2018a).

Tablo 1
Sürdürülebilir Kalkınmada Kilometre Taşları

Yıl	Yapılan Çalışma	Önemi
1972	Birleşmiş Milletler İnsan Çevre Konferansı (United Nations Conference on the Human Environment (UNCHE))	Stockholm'de düzenlenen bu konferans dünyanın ilk çevresel etkinliği kabul edilir. Çevreye zarar vermeden ekonomik ve endüstriyel büyümeye ulaşmanın mümkün olduğunu göstermek amaçlanmıştır.
1980	"Sürdürülebilir Kalkınma için Doğal Kaynaklarda Küresel Koruma Stratejisi" belgesi yayınlandı.	Dünya Koruma Birliği (World Conservation Union) ve Doğa Vakfı için Dünya (World for Nature Foundation) tarafından yayınlanan bu belgede, tarihte ilk kez sürdürülebilir kalkınma kavramı uluslararası bir belgede yer almıştır.
1987	Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından Ortak Geleceğimiz (Brundtland Raporu) yayınlanmıştır.	Sürdürülebilir kalkınma kavramı tanımlanarak, dünyadaki gündem konulardan biri olmuştur.
1992	Rio de Janeiro'da Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı	Rio deklarasyonu ve Gündem 21 (Agenda 21) adlı iki temel belge kabul edilmiştir.
1997	Kyoto Protokolü	Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele amacıyla, sera gazı etkisi yaratan gaz salınımlarını azaltmaya yönelik olarak sanayileşmiş ülkelere çeşitli hedefler belirleyen uluslararası bir anlaşmadır.
1997	Rio +5 Zirvesi	1992 Rio Konferansı'nda alınan karar ve sorumluluklar gözden geçirilerek değerlendirilmiştir.
2002	Johannesburg'da Sürdürülebilir Kalkınma Dünya Zirvesi	Sürdürülebilirliğin en önemli bileşenlerinden olan toplumun da zirveye dahil edilmesi gerekliliğinin önemi göz önüne alınarak, devlet ve hükümet temsilcileri dışında, sivil toplum kuruluşları, özel sektör ve çeşitli toplumsal örgütler de zirveye katılmıştır.
2012	Rio de Janeiro'da Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı (Rio +20)	Birçok ülkede önceki konferanslarda resmileştirilmiş sürdürülebilir kalkınma taahhüdünün yenilenmesine odaklanılmıştır.
2016	Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA'lar)	Sürdürülebilir kalkınma için 17 evrensel eylem çağrısı yapılmıştır.

Tablo 2

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA'lar)

No	SKA	No	SKA
SKA 1	Yoksulluğa son	SKA 10	Eşitsizliklerin azaltılması
SKA 2	Açlığa son	SKA 11	Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar
SKA 3	Sağlıklı ve kaliteli yaşam	SKA 12	Sorumlu üretim ve tüketim
SKA 4	Nitelikli eğitim	SKA 13	İklim eylemi
SKA 5	Toplumsal cinsiyet eşitliği	SKA 14	Sudaki yaşam
SKA 6	Temiz su ve sanitasyon	SKA 15	Karasal yaşam
SKA 7	Erişilebilir ve temiz enerji	SKA 16	Barış, adalet ve güçlü kurumlar
SKA 8	İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme	SKA 17	Amaçlar için ortaklıklar
SKA 9	Sanayi, yenilikçilik ve alt yapı		

2.1 İnovasyon

Yaşamakta olan Endüstri 4.0 evriminin veya dijital devrimin “inovasyonların devrimi” olduğu açıktır. İnovasyon; dijital teknolojiler, BİT’ler ve diğer bileşenler kadar hatta onlardan daha fazla olarak bu yeni çağa damgasını vurmaktadır.

İlk kez 20. yüzyılın başlarında Schumpeter tarafından önemi vurgulanan inovasyonun farklı tanımları yapılmış olup, 2005 yılında Eurostat (Avrupa istatistik ofisi – statistical office of the European Union) ve OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü - Organisation for Economic Co-operation and Development) tarafından ortaklaşa geliştirilen The Oslo Manuel’de yer alan, tüm yaklaşımlar için kullanılabilecek tanımı: “iş uygulamalarında, iş yeri organizasyonunda ya da dış ilişkilerde; yeni veya önemli derecede geliştirilmiş bir ürünün (mal ya da hizmet) ya da sürecin, yeni bir pazarlama yöntemi ya da yeni bir organizasyonel yöntemin uygulanması” (OECD, 2005, p. 46) olarak yapılmıştır.

Son yıllarda literatürde inovasyon; teknolojik inovasyon, ürün inovasyonu, süreç inovasyonu, hizmet inovasyonu, iş modeli inovasyonu, yıkıcı inovasyon, radikal inovasyon, tasarım odaklı inovasyon, sosyal inovasyon ve sorumlu inovasyon olarak çeşitlendirilmektedir (Edwards-Schachter, 2018). İnovasyon sadece teknolojik değil aynı zamanda sosyal, kültürel, kurumsal, kapsayıcı, yeşil, eko, açık, kullanıcı odaklı, yalın, düşük-maliyetli, köklü, kamuyu kapsayıcı ve dönüştürücü özellikler taşımaktadır (Edwards-Schachter, 2018).

Literatürde sürdürülebilirlik açısından inovasyon türlerini gruplayarak, çevresel ve sosyal boyutlarda derecelendiren araştırmalar da vardır. Bu çalışmalardan Silvestre ve Tîrcă (2019), herhangi bir inovasyonun sürdürülebilirliğin çevresel ve sosyal zorluklarını dikkate alma derecesine bağlı olarak değişiklik gösterdiği ifade etmektedir. Çevresel ve sosyal zorluklara yüksek veya düşük vurgu yapma derecesi ile gezegenimizin geleceği için etkileri ve nasıl değiştiklerine ilişkin kombinasyonlar dikkate alınarak dört ayrı inovasyon türü tanımlamıştır. Bu gruplayıcı tanımlamaları Şekil 2’deki gibi göstermişlerdir.

İnovasyon yaygın bir şekilde, küresel büyümeyi hızlandırmanın yanı sıra, ekonomik büyümeyi sağlayan merkezi bir süreç ve hem şirketlerin, hem de ülkelerin sürdürülebilir rekabet avantajları olarak kabul edilir. Gelişmiş ekonomilerin tümü, sadece inovasyonun devamlı yeni ekonomik büyümeyi teşvik edebileceğinin bilincindeyken, gelişmekte olan ülkeler ulusal rekabet edebilirliklerini artırmak için inovasyon yoluyla endüstriyel yapılarını durmadan yükseltmeye yöneltmektedir (Chen, Yin ve Mei, 2018).

Sosyal Vurgu	Yüksek	<u>SOSYAL İNOVASYONLAR</u> • Bu tür bir inovasyonu geliştirirken ve/veya benimserken sosyal boyut ve buna ilişkin önceliklere yer verilir. • Genellikle sosyal boyutu en üste çıkarmak için çevre boyutu ve ekonomik boyut riske atılır.	<u>SÜRDÜRÜLEBİLİR İNOVASYONLAR</u> • Bu tür bir inovasyonu geliştirirken ve/veya benimserken sosyal, çevre ve ekonomik boyutlar dengeli bir yaklaşımla değerlendirilir. • Maksimizasyon fırsatları yoktur, ancak her üç boyutun aynı anda değerlendirilmesine izin veren tatmin edici çözümler vardır.
	Düşük	<u>GELENEKSEL İNOVASYONLAR</u> • Bu tür bir inovasyonu geliştirirken ve/veya benimserken ekonomik boyut ve buna ilişkin önceliklere yer verilir. • Genellikle ekonomik boyutu en üste çıkarmak için çevre boyutu ve sosyal boyut riske atılır.	<u>YEŞİL İNOVASYONLAR</u> • Bu tür bir inovasyonu geliştirirken ve/veya benimserken çevre boyutu ve buna ilişkin önceliklere yer verilir. • Genellikle çevre boyutunu en üste çıkarmak için ekonomik boyut ve sosyal boyut riske atılır.

Çevre Vurgusu

Düşük Yüksek

Şekil 2. Sürdürülebilir Kalkınma İçin İnovasyon Türleri

Ashında iktisat teorisi Ar-Ge birikimini, ekonomik büyüme için gerekli görmektedir. Ancak çevresel açıdan, fosil yakıtların tüketimine dayanan ekonomik büyüme, çevresel bozulma ile yakından ilgilidir. Doksanlı yıllardan beri, deneysel araştırmaların çoğu ekonomik büyüme ve emisyon arasındaki ilişkiyi Çevresel Kuznets Eğrisi (Environmental Kuznets Curve - EKC) olarak adlandırılan ters U biçimindeki bir fonksiyonla analiz eder. Literatürde Çevresel Kuznet Eğrisi hipotezini destekleyen ve desteklemeyen çalışmalar mevcuttur ancak Çevresel Kuznet Eğrisi ile ilgili ampirik sonuçlar yetersizdir (Dogan ve Seker 2016; Fernáandez, López ve Blanco, 2018).

Teknolojik ilerlemenin ekonomik büyüme ve çevre arasındaki ilişkinin gelişimi üzerindeki etkileri, kirlenici kaynakların daha çevre dostu olan diğer kaynaklarla değiştirilme kapasitesinin artırılmasıyla üretim süreçlerinin iyileştirildiğini düşünen içsel büyüme teorisi (endogenous growth theory) ile açıklanmıştır. Bu modeller, çevreye adanmış, gelirleri arttıkça koruma için daha fazla kaynak harcaabilecek bir topluma dayanmaktadır. Eğer gelirler arttıkça emisyonlar azalırsa, teknoloji kilit bir rol oynayacaktır ve emisyonlardaki azalmanın

nedeni, uyarılmış inovasyon (induced innovation) olacaktır. İnovasyon, ekonomik büyümenin temel değişkenidir ve çevre üzerindeki nihai etkisi belirsiz olabilir. Bir yandan, daha yüksek bir ekonomik aktivite seviyesi, daha yüksek düzeyde enerji tüketimine ve belki de kirlenici emisyonlara yol açabilir. Öte yandan, inovatif bir süreç daha az enerji tüketen ve daha az kirlenici olabilir. Bu durumda net etkinin ne olduğu konusu soru işareti olarak kalmaktadır. Burada cevaplanması gereken, “teknolojik inovasyonların emisyonların indirgenmesi üzerindeki etkisi nedir?” şeklinde temel bir soru öne çıkmaktadır. Literatürde enerji alanında gerek sektörel, gerekse ulusal kapsamda gerçekleştirilmiş pek çok araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmaların hemen hemen hepsinde enerji sektöründe çevrenin iyileştirilmesine, Ar-Ge harcamalarının etkisi üzerine odaklanma görülmektedir. Fakat toplam Ar-Ge faaliyetlerinin emisyon azaltımındaki etkilerine ilişkin analizlere çok azında yer verilmektedir (Fernáandez ve diğ., 2018).

Toplumdaki tüm çabalar yaşama standartları iyileştirmeye yönelik olmakla birlikte büyüme ve gelişmenin iklim değişikliğine ve petrol gibi fosil

yakıtların tüketimine çok anlamlı bir etki yaptığı görülmektedir. Yani üretimdeki mevcut gelişmelerin hepsinin sürdürülebilir özellikte olmadığı söylenebilir. Sanayi kesimi yüksek kalite ürünleri üretmeye devam ederken, daha fazla sürdürülebilir imalat planlarına ve donanımlara ihtiyaç duymaktadır. Bu noktada Endüstri 4.0, sürdürülebilir imalat kurmak için yaşayan bir strateji olarak kabul edilmekte ve Endüstri 4.0 adaptasyonlarının imalat üzerindeki teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri tartışılmaktadır. Akıllı imalat sistemlerinin çevresel etkilerini inceleyen çalışmalarda; akıllı sistemlerin süreçlerini besleyecek çok büyük kütsel veri merkezlerine ve destek almak için de çok geniş ağ sistemlerine ihtiyaç duyduğu belirtilmektedir. Veri merkezlerinin çok büyük miktarlarda enerji ve enerji

üretimi için de aşırı kaynak tüketmeleri çevreyi negatif yönde etkileyeceği açıklanmaktadır. Ayrıca yeni (inovatif) teçhizat ve donanımların imal edilmesinin çevreye ilave yük getireceğine de dikkat çekilmektedir (Waibel, Steenkamp, Moloko ve Oosthuizen, 2017).

Bu çalışmada ülkelerin Endüstri 4.0 seviyesini temsil etmek üzere kapsama alınan Küresel İnovasyon Endeksi (KİE), 2007 yılından beri yayınlanmaktadır. KİE ile inovasyon göstergeleri sürekli olarak değerlendirilerek, ülkelerin inovasyon performansları ölçülebilmektedir. Tablo 3'de görüldüğü gibi, 2018 yılı KİE temel çerçevesinde, inovasyon girdi ve inovasyon çıktı olmak üzere iki alt endeks ve toplamda 7 boyut bulunmaktadır (Cornell University, INSEAD ve WIPO, 2018a).

Tablo 3

2018 Yılı Küresel İnovasyon Endeksi Temel Çerçevesi

1. Alt Endeks: İnovasyon Girdi Alt Endeksi

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Kurumlar | 2. Beşeri Sermaye ve Araştırma |
| 1.1. Siyasi ortam | 2.1. Eğitim |
| 1.2. Düzenleyici ortam | 2.2. Yükseköğretim |
| 1.3. İş ortamı | 2.3. Ar-Ge |
| 3. Altyapı | 4. Pazar Gelişmişliği |
| 3.1. Bilgi ve iletişim teknolojileri | 4.1. Kredi |
| 3.2. Genel altyapı | 4.2. Yatırım |
| 3.3. Ekolojik sürdürülebilirlik | 4.3. Ticaret, rekabet, pazar ölçeği |
| 5. İş Gelişmişliği | |
| 5.1. Bilgi işçileri | |
| 5.2. İnovasyon bağlantıları | |
| 5.3. Bilgi absorpsiyonu | |

2. Alt Endeks: İnovasyon Çıktı Alt Endeksi

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 6. Bilgi ve Teknoloji Çıktıları | 7. Yaratıcı Çıktılar |
| 6.1. Yaratılan bilgi | 7.1. Maddi olmayan varlıklar |
| 6.2. Bilgi etkisi | 7.2. Yaratıcı ürün ve hizmetler |
| 6.3. Bilginin difüzyonu | 7.3. Online yaratıcılık |

3. Uygulama: Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilir Kalkınma İlişkinin Analizi

Bu çalışmada, ülkelerin Endüstri 4.0 seviyelerinin, sürdürülebilir kalkınma düzeylerine etkisinin Doğrusal Regresyon Analizi ile belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ülkelerin Endüstri 4.0 seviyelerini temsilen KİE (Cornell University, INSEAD ve WIPO, 2018b), sürdürülebilir kalkınma düzeylerini temsilen ise SKA endeksi (Sachs, Schmidt-Traub, Kroll, Lafortune ve Fuller, 2018b) ve ÇPE (Wendling ve diğ., 2018b) belirlenmiş ve 2018 yılına ait verileri kullanılmıştır.

Doğrusal Regresyon Analizi uygulanması için bağımsız değişkenler KİE'ye ait 7 boyut olarak

seçilirken, bağımlı değişkenler ise SKA'lar ve ÇPE'nin iki boyutu olarak belirlenmiştir.

17 SKA'nın her biri ile model kurulması yerine, Doğruel Anuşlu ve Fırat'ın (2019a) çalışmasındaki 17 SKA için oluşturulan faktör analizi sonuçlarından yararlanılmıştır. Doğruel Anuşlu ve Fırat'ın (2019a) çalışmasında; SKA endeksi verisinde eksik değerlere sahip olan SKA 10 ve SKA 14 için R programında Miss Forest metodu ile veri tamamlama çalışması ve ardından 17 SKA için Temel Bileşenler Analizi uygulaması yapılmıştır. Uygulanan Temel Bileşenler Analizi ile 17 SKA, Tablo 4'te gösterildiği gibi, toplam açıklayıcılığı %83,425 olan 6 faktöre indirgenmiş ve bu faktörler kavramsal anlamlılığa göre isimlendirilmiştir (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2019a):

Tablo 4
Temel Bileşenler Analizi ile Elde Edilen 6 Faktör

Faktör	Değişkenler	Faktör İsmi	Açıklama Oranı (%)
F1	SKA 12, SKA 16, SKA 9, SKA 8, SKA 13, SKA 2	Yenilikçi endüstri ve sürdürülebilir toplum	25,547
F2	SKA 1, SKA 7, SKA 3, SKA 4	Bireylerin yaşam standartlarını yükseltmek için hedefler	19,323
F3	SKA 6, SKA5, SKA 11	Sürdürülebilir ve modern şehircilik	17,228
F4	SKA 15, SKA 10	Karadaki yaşam	8,294
F5	SKA 14	Sudaki yaşam	6,689
F6	SKA 17	Hedefler için ortaklıklar	6,343
Toplam Açıklanabilirlik			83,425

Doğrusal Regresyon Analizi ile modeli kurulmak üzere, Temel Bileşenler Analizindeki en yüksek açıklayıcılığa sahip ilk 3 faktördeki, faktör yükleri 0,8'in üzerinde olan değişkenler (SKA 12, SKA 16, SKA 9, SKA 1, SKA 7, SKA 6 ve SKA 5) bağımlı değişkenler olarak belirlenmiştir. Belirlenen bağımlı değişkenler ve KİE'nin 7 boyutu olan bağımsız değişkenler ile SPSS 25 versiyonunda Stepwise metodu seçilerek Doğrusal Regresyon Analizi yapılmıştır. Tablo 5'te elde edilen anlamlı 9 model yer almaktadır.

Tablo 5
Doğrusal Regresyon Modelleri

Model No	Bağımlı Değişken	R ²	F	p değerleri (alfa=0,01)	Modeldeki Anlamlı Bağımsız Değişkenler
1*	SKA 12	0,617	91,197	0,000	KİE_Altyapı; KİE_Kurumlar
2*	SKA 16	0,617	91,122	0,000	KİE_Kurumlar; KİE_Altyapı
3*	SKA 9	0,928	283,346	0,000	KİE_Altyapı; KİE_Beşeri Sermaye ve Araştırma; KİE_Kurumlar; KİE_Bilgi ve Teknoloji Çıktıları; KİE_Pazar Gelişmişliği
4	SKA 1	0,404	10,475	0,000	KİE_Kurumlar; KİE_Beşeri Sermaye ve Araştırma; KİE_Altyapı; KİE_Pazar Gelişmişliği; KİE_İş Gelişmişliği; KİE_Bilgi ve Teknoloji Çıktıları; KİE_Yaratıcı Çıktılar
5	SKA 7	0,539	43,707	0,000	KİE_Altyapı; KİE_İş Gelişmişliği; KİE_Beşeri Sermaye ve Araştırma
6	SKA 6	0,139	18,387	0,000	KİE_İş Gelişmişliği
7	SKA 5	0,431	42,737	0,000	KİE_Yaratıcı Çıktılar; KİE_Pazar Gelişmişliği
8*	ÇPE_Çevresel Sağlık	0,677	46,200	0,000	KİE_Altyapı; KİE_Beşeri Sermaye ve Araştırma; KİE_Bilgi ve Teknoloji Çıktıları; KİE_Yaratıcı Çıktılar; KİE_Pazar Gelişmişliği
9	ÇPE_Ekosistem Canlılığı	0,509	38,683	0,000	KİE_Altyapı; KİE_İş Gelişmişliği; KİE_Beşeri Sermaye ve Araştırma

* R²>0,60 eşik değeri ile seçilen modeller

Elde edilen anlamlı 9 modelden değerlendirme yapmak için, determinasyon katsayısı (R^2) 0,60 olmak üzere bir eşik değeri belirlenmiştir. Tablo 5'te görüldüğü üzere; R^2 değeri 0,60'dan büyük olan Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 8 için doğrusal regresyon denklemleri aşağıda yer almaktadır:

Model 1;

$$SKA_{12} = 108,510 - 0,486KİE_{Altyapı} - 0,302KİE_{Kurumlar}$$

Model 2;

$$SKA_{16} = 22,316 + 0,423KİE_{Kurumlar} + 0,373KİE_{Altyapı}$$

Model 3;

$$SKA_9 = -36,336 + 0,656KİE_{Altyapı} + 0,440KİE_{Beşeri Sermaye ve Araştırma} + 0,253KİE_{Kurumlar} + 0,278KİE_{Bilgi ve Teknoloji Çıktıları} + 0,203KİE_{Pazar Gelişmişliği}$$

Model 8;

$$ÇPE_{Çevresel Sağlık} = 22,642 + 0,787KİE_{Altyapı} + 0,765KİE_{Beşeri Sermaye ve Araştırma} - 0,531KİE_{Bilgi ve Teknoloji Çıktıları} + 0,481KİE_{Yaratıcı Çıktılar} - 0,382KİE_{Pazar Gelişmişliği}$$

Değerlendirmek üzere ele alınan Model 1, Model 2 ve Model 3'deki bağımlı değişkenler olan SKA 12, SKA 16 ve SKA 9'un açıklayıcılığı en yüksek (%25,547) faktör olan Faktör 1'in içerisinde yer aldığı görülmektedir. Ayrıca Faktör Analizi ile elde edilen Dönüştürülmüş Bileşen Matrisi incelendiğinde (Rotated Component Matrix); SKA 12, SKA 16 ve SKA 9'un Faktör 1'deki en yüksek faktör yüklerine sahip olduğu belirlenmiştir (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2019a).

Modellerin bulguları gözden geçirildiğinde sırasıyla aşağıdaki yorumlar yapılabilmektedir:

Model 1;

KİE'nin altyapı ve kurumlar boyutu ile SKA 12'deki (sorumlu üretim ve tüketim) değişkenliğin %62'si açıklanmaktadır.

Kurumlar değişkeni sabit tutulduğunda, altyapıdaki bir birimlik değişimin SKA 12'de negatif yönde 0,486'lık bir değişme yarattığı, altyapı değişkeni sabit tutulduğunda ise, kurumlardaki bir birimlik değişimin SKA'da negatif yönde 0,302'lik bir değişme yarattığı görülmektedir.

Model 2;

KİE'nin kurumlar ve altyapı boyutu ile SKA 16'daki (barış, adalet ve güçlü kurumlar) değişkenliğin %62'si açıklanmaktadır.

Altyapı değişkeni sabit tutulduğunda, kurumlardaki bir birimlik değişimin SKA 16'da 0,423'lük bir değişme yarattığı, kurumlar değişkeni sabit tutulduğunda ise, altyapıdaki bir birimlik değişimin SKA'da 0,373'lük bir değişme yarattığı görülmektedir.

Model 3;

KİE'nin altyapı, beşeri sermaye ve araştırma, kurumlar, bilgi ve teknoloji çıktıları, yaratıcı çıktılar, pazar gelişmişliği boyutları, SKA 9'daki (sanayi, yenilikçilik ve altyapı) değişkenliğin %93'ünü açıklanmaktadır. Bu değer oldukça yüksek olup güçlü bir modele işaret etmektedir ve analizde elde edilen modeller arasında da en yüksek belirlilik katsayısıdır (R^2).

Diğer değişkenler sabit tutulduğunda, altyapıdaki bir birimlik değişim SKA 9'da 0,656'lık bir değişme yaratırken, diğer değişkenler sabit tutulduğunda, beşeri sermaye ve araştırmadaki bir birimlik değişim SKA 9'da 0,440'lık bir değişim oluşturmakta, diğer değişkenler sabit tutulduğunda, kurumlardaki bir birimlik değişim SKA 9'da 0,253'lük bir değişim yaratmakta, diğer değişkenler sabit tutulduğunda, bilgi ve teknoloji çıktılarındaki bir birimlik değişim SKA 9'da 0,278'lik bir değişim yaratmakta ve diğer değişkenler sabit tutulduğunda, pazar gelişmişliğindeki bir birimlik değişim SKA 9'da 0,203'lük bir değişim yaratmaktadır. R^2 değeri oldukça yüksek olan bu modelde, KİE'nin 7 boyutundan 5'i de modelde istatistik anlamlılık taşıyan değişkenler olarak yer almaktadır.

Model 8;

KİE'nin altyapı, beşeri sermaye ve araştırma, bilgi ve teknoloji çıktıları, yaratıcı çıktılar ve pazar

gelişmişliği boyutları, ÇPE'nin Çevresel Sağlık boyutu üzerindeki değişkenliğin %68'ini açıklamaktadır.

Diğer değişkenler sabit tutulduğunda, altyapıdaki bir birimlik değişme Çevresel Sağlık'ta 0,787'lik bir değişme yaratırken, diğer değişkenler sabit tutulduğunda, beşeri sermaye ve araştırmadaki bir birimlik değişme Çevresel Sağlık'ta 0,765'lik bir değişme yaratmaktadır. Yine diğer değişkenler sabit tutulduğunda, bilgi ve teknoloji çıktılarındaki bir birimlik değişme Çevresel Sağlık'ta negatif yönde 0,531'lik bir değişme yaratmakta benzer şekilde diğer değişkenler sabit tutulduğunda, yaratıcı çıktılardaki bir birimlik değişme Çevresel Sağlık'ta 0,481'lik bir değişme oluşturmaktadır. Son olarak, diğer değişkenler sabit tutulduğunda, pazar gelişmişliğindeki bir birimlik değişme Çevresel Sağlık'ta 0,382'lik bir değişmeye yol açmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Endüstri 4.0 aktörlerinin ve araçlarının, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel performanslar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla veri madenciliğinde de sıklıkla kullanılan Regresyon Analizi ile nicel bir çalışma yapılmıştır. Endüstri 4.0'da endüstriyel değer yaratmanın potansiyelini sürdürülebilir kalkınmaya katkıları açısından değerlendiren Stock, Obenaus, Kunz ve Kohl (2018), sonuç olarak mevcut araştırmaların Endüstri 4.0'ın sürdürülebilir kalkınmaya olası katkılarının yanında, sosyal ve ekolojik etkilerinin metot tabanlı olduğunu ve bu konuda nicel araştırmaların da yeterince yapılmadığını belirtmişlerdir. Stock ve diğ., (2018) verilerin değerlendirilmesi için Delphi yöntemi kullanarak uzman görüşleri almıştır. Sadece madencilik sektörü özelinde makalelerin; makale başlığı, anahtar kelime ve özetlerden hareketle sistematik olarak incelendiği bibliyometrik yöntemli literatür çalışması bulunmaktadır (Aznar- Sánchez ve diğ., 2019). Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirlik çerçevesinde Kamble ve diğ. (2018) yaptığı literatür çalışmasında kavramsal bir diğer gruplandırma yapmıştır. Çalışmada esnek görsel yardım sağlayan ve filtreleme yapabilen bir araç olan açık kaynaklı Gephi yazılım paketi kullanılarak network analizi yapılmıştır. Bu araç ile yine literatür üzerinde bağlantılar belirlenmiştir. Aynı çalışmada tanımlayıcı istatistikler ve grafikler kullanılarak başlıklar için anahtar kelime, yazar, yayıncı, ülke bazlı değerlemeler yapılmıştır. Görüldüğü gibi ölçmeye yönelik değişkenler kullanılmadan metot tabanlı olarak literatür araştırmaları ve görüşlere

dayalı değerlendirmeler ile ulaşılan sonuçların içerildiği çalışmalara daha sık rastlanılmaktadır.

Santana, Rebelatto, Périco, Moralles ve Filho, (2015), teknolojik yeniliğin ülkelerin ekonomik büyümesi için önemini göz önünde bulundurarak, teknolojik yeniliğe yönelik yatırımlar ile BRICS grubunu oluşturan gelişmekte olan ülkeler (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika) ve G7 grubunu oluşturan gelişmiş ülkelerin (Kanada, Fransa, Almanya, İtalya, Japonya, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri) sürdürülebilir kalkınma beklentileri arasındaki ilişkisini ekonometrik bir model ile analiz etmişlerdir. Çalışmada bağımsız değişkenler brüt sabit sermaye oluşumu, çalışan nüfus, Ar-Ge harcamaları olarak belirlenirken, bağımlı değişkenler ise gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), CO₂ emisyonları ve yaşam beklentisi olarak belirlenmiştir.

Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirlik etkileşimini nicel olarak araştıran araştırmamızın literatüre önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Santana ve diğ. (2015) nicel çalışması ile karşılaştırdığında, çok sayıda değişkenin (göstergenin) kapsanmış olması, değişkenler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi, sebep-sonuç modellerinin kurulmuş olması önemli bulunan farklılıklardır. Ayrıca bu çalışmada veriler, bir veri boyutu indirgeme aşaması olan Temel Bileşenler Analizi'nden geçirildikten sonra kullanılmış olması sebebi ile daha derinlemesine bir istatistik analiz kullanılmıştır.

Regresyon Analizi'nde, uluslararası kuruluşlarca yayınlanan küresel endekslerden Küresel İnovasyon Endeksi etkileyen (bağımsız) değişken, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Çevresel Performans Endeksine ait Çevresel Sağlık ve Ekosistem Canlılığı boyutları etkilenen (bağımlı) değişkenler olarak belirlenmiştir. 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı için; faktör analizi sonucu en yüksek açıklayıcılığa sahip 1. faktördeki, faktör yükleri 0,8'in üzerindeki SKA 12, SKA 16, SKA 9, SKA 1, SKA 7, SKA 6 ve SKA 5 olmak üzere 7 amaç seçilmiştir. SKA'lardan seçilen 7 amaç ve ÇPE'ye ait 2 boyut ile toplamda 9 adet etkilenen (bağımlı) değişken üzerinde, KİE'nin 7 boyutu etkileyen (bağımsız) değişken olarak atanarak regresyon modelleri kurulmuştur. Aslında kurulan 9 modelin de istatistiksel olarak anlamlı olduğu ancak genel olarak elde edilen modellerin determinasyon katsayılarının (R²) çok yüksek olmadığı görülmüştür.

En yüksek R² değerini veren 4 model incelendiğinde, literatür ile paralel sonuçlar elde edildiğini söylemek mümkündür. Endüstri 4.0'ı temsil eden

göstergelerin, genellikle sürdürülebilir kalkınma üzerinde olumlu etkiler yarattığı (pozitif işaretli kısmi korelasyon katsayıları) görülürken, bazı göstergelerin ise sürdürülebilir kalkınma üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu (negatif işaretli kısmi korelasyon katsayıları) görülmüştür.

Fernández ve diğ. (2018) çalışmasında, inovasyonun çevre üzerindeki olumlu etkisine rağmen, enerji tüketiminin olumsuz etkisinin dengelenmesinde yeterli olmadığının belirtilmesine dikkat çekilmektedir. Ayrıca, inovasyonu teşvik etmek için hem kamu kesiminde, hem de özel sektörde daha fazla kaynak tahsis edilmesi ihtiyacını ve sürdürülebilir bir kalkınmayı hedefleyen inovasyonlar için tamamlayıcı önlemler alınması gerekliliğini vurgulamışlardır. Fernández ve diğ. (2018) makalesindeki belirlemeler, bu çalışmanın bulguları ile örtüşmektedir. Bu çalışmada da, inovasyon ile çok sıkı bir şekilde bağlantılı olan Endüstri 4.0'ın, genellikle sürdürülebilir kalkınma üzerinde olumlu etkileri olduğu, bununla beraber sürdürülebilir kalkınma için bazı olumsuz etkileri de olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Endüstri 4.0'ın KİE'ye ait hemen hemen tüm boyutlarda en çok da SKA 9'da (sanayi, yenilikçilik ve alt yapı) büyük etkisinin olduğu belirlenmiş olmakla beraber, elde edilen anlamlı modeller incelendiğinde, Endüstri 4.0'a ait belirli bir veya birkaç göstergenin sürdürülebilir kalkınma üzerinde çok net bir etkisi tespit edilememiştir.

Madencilik sektörü için Aznar-Sánchez ve diğ. (2019), gelecekteki araştırmalara yönelik olarak, bir madenin yaşam döngüsünün her bir aşamasına dayanan, farklı sosyal, çevresel ve ekonomik yönleri içeren, inovasyon ve teknolojinin gelişimi için özel sürdürülebilirlik göstergelerinin geliştirilmesini önermektedir. Araştırma, bu göstergelerin, sektördeki sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasındaki etkinliği değerlendirmesi, inovasyon ve teknolojinin planlama ve tasarım sürecine rehberlik etmesi gerektiğine değinmektedir. Aznar- Sánchez ve diğ. (2019), madencilik sektörü özelinde bir madenin yaşam döngüsünün farklı sosyal, çevresel ve ekonomik yönlerini içeren her aşamasına dayanarak yenilik ve teknolojinin geliştirilmesi için belirli sürdürülebilirlik göstergelerinin geliştirilmesini önermektedir.

Bu çalışmada ise makro olarak da, Endüstri 4.0'ın ülkelerin gelişmişlik düzeylerindeki etkisini daha net belirlemek için sektörel bazda çalışmalar yapılması önerilmektedir.

İncelenen literatürde yer alan nicel araştırmalarda kullanılan araştırma değişkenleri arasında çok net ve güçlü ilişkilerden bahsedilememekte bir diğer deyişle bu konuda bir netlik bulunmamaktadır. Bizim çalışmamızda da, bu belirsizliği destekleyen sonuçlar yanında, güçlü ilişkiler sergileyen bir model de elde edilmiştir. Çalışmada Model 3 olarak adlandırılan modelde; bağımlı değişken olan SKA 9'daki (sanayi, yenilikçilik ve altyapı) değişkenliğinin %93'ünün KİE boyutlarından; altyapı, beşeri sermaye ve araştırma, kurumlar, bilgi ve teknoloji çıktıları ile pazar gelişmişliği tarafından açıklanmakta olduğu belirlenmiştir. Oldukça yüksek bir R^2 değerinin elde edildiği bu modelde, KİE'nin 7 boyutundan 5'i modelde istatistik anlamlılık taşıyan değişkenler olarak ve pozitif katsayılar ile yer almaktadır.

Ayrıca ileride yapılacak çalışmalarda, Endüstri 4.0 ile ülkelerin sürdürülebilir kalkınma düzeyleri arasındaki ilişkinin daha netleştirilmesi için, farklı değişkenler ile Yapısal Eşitlik Modeli, Kanonik Korelasyon Analizi, Çok Boyutlu Ölçekleme gibi daha ileri nicel yöntemler uygulanarak analizlerin yapılmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Akpulat, F. (2019). *Sürdürülebilirlik kavramına farklı yaklaşımlar: Üniversite öğrencileri üzerine bir araştırma*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Aznar- Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., Belmonte-Ureña, L. J. & Manzano-Agugliaro, F. (2019). Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment. *Journal of Cleaner Production*, 221, 38-54. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.243>
- Bilgili M. Y. (2017). Ekonomik, ekolojik ve sosyal boyutlarıyla sürdürülebilir kalkınma. *Uluslararası Sosyal Araştırma Dergisi*, 10(49), 559-569. Erişim adresi: http://www.sosyalarastirmalar.com/cilt10/sayi49/pdf/6iksisat_kamu_isletme/bilgili_my.pdf
- Baidoc, D. & Bacali, L. (2017). Impact of innovation on sustainable development of organizations. *Review of Applied Socio- Economic Research*, 14(2), 5-18. Erişim adresi: https://econpapers.repec.org/article/rsewpaper/v_3a14_3ay_3a2017_3ai_3a2_3ap_3a5-18.htm

- Chen, J., Yin, X. & Mei, L. (2018). Holistic innovation: An emerging innovation paradigm. *International Journal of Innovation Studies*, 2, 1-13. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2018.02.001>
- Cornell University, INSEAD & WIPO. (2018a). The Global Innovation Index 2018: Energizing the World with Innovation. Ithaca, Fontainebleau, and Geneva. Erişim adresi: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2018.pdf
- Cornell University, INSEAD & WIPO. (2018b). Global Innovation Index view rankings by indicator. Erişim adresi: <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator>
- Dogan, E. & Seker, F. (2016). Determinants of CO2 emissions in the European Union: The role of renewable and non-renewable energy. *Renewable Energy*, 94, 429-439. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.078>
- Doğruel Anuşlu, M. & Fırat, S. Ü. (2019a). Clustering analysis application on Industry 4.0-driven global indexes. *Procedia Computer Science*, 158, 145-152. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.037>
- Doğruel Anuşlu, M. ve Fırat, S. Ü. (2019b). *Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirlik etkileşimi: Küresel endesklerle değerlendirmeler*. İçinde E. S. Bayrak Meydanoğlu, M. Klein, ve D. Kurt (Edler). Dijital dönüşüm trendleri (ss 56-100). Vefa, İstanbul: Filiz Kitapevi.
- Edwards-Schachter, M. (2018). The nature and variety of innovation. *International Journal of Innovation Studies*, 2, 65-79. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2018.08.004>
- Feil, A. A. & Schreiber, D. (2017). Sustainability and sustainable development: unraveling overlays and scope of their meanings. *CADERNOS EBAPE.BR*, 14(3), 667-681. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395157473>
- Fernández, Y. F., López, M. A. F. & Blanco, B. O. (2018). Innovation for sustainability: The impact of R&D spending on CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3459-3467. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.001>
- Fırat, O. Z. ve Fırat, S. Ü. (2017a). Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. *Istanbul University Journal of the School of Business*, 46-2, 211-223. Doi: <https://doi.org/10.5152/ijusb.2017.005>
- Fırat, S. Ü. O. ve Fırat, O. Z. (2017b) Dördüncü Sanayi Devriminde riskler robotlar ve yapay zekanın yönetim sorunları. *Global Sanayici Dergisi*. Erişim adresi: <http://www.sanayicidergisi.com.tr/dorduncu-sanayi-devriminde-riskler-robotlar-ve-yapay-zekanin-yonetisim-sorunlari-makale.644.html>
- Fırat, S. Ü., Yurtsever, Ö., İleri, Ç. ve Kılıncım, İ. (2017). *Sürdürülebilir bir dünyaya doğru: Küresel gündem ve Türkiye*. İstanbul: İktisadi Kalkınma Vakfı. Erişim adresi: https://www.ikv.org.tr/images/files/Surdurulebilir_Bir_Dunyaya_Dogru_Kuresel_Gundem_Turkiye.pdf
- Fırat, S. Ü. O., Yurtsever, Ö. ve Bilsel, M. (2015). Taşıtlarda enerji verimliliği. İstanbul: İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği (SKD Derneği). Erişim adresi: <http://www.skdturkiye.org/tasitlardaenerjiverimliliği.pdf>
- Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2015). Design principles for Industrie 4.0 scenarios: A literature review. (Working Paper, No. 01). Technische Universität Dortmund. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_4.0_Scenarios_A_Literature_Review
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A. & 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. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- Morrar, R., Arman, H. & Mousa, S. (2017). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): A social innovation perspective. *Technology Innovation Management Review*, 7(11), 12-20. Erişim adresi: https://timreview.ca/sites/default/files/article_PDF/Morrar_et_al_TIMReview_November2017.pdf
- Organisation For Economic Co-operation and Development (OECD). (2005). *Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data* (3rd ed.). Paris, France: OECD Publishing. Erişim adresi: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264013100-en.pdf?expires=1582725826&id=id&accname=guest&checksum=4B6FBD61B2B6EDF224684C7778B77390>

- Sabancı Üniversitesi. (2017). Sanayide Dijitalleşme Stratejileri Çalıştayı. Erişim adresi: http://research.sabanciuniv.edu/34507/1/Taslak_Rapor_v3.pdf
- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G. & Fuller, G. (2018a). SDG Index and Dashboards Report 2018. New York: Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN). Erişim adresi: https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopment.report/2018/2018_sdg_index_and_dashboards_report.pdf
- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G. & Fuller, G. (2018b). SDG Index and Dashboards Report 2018 download the data. Erişim adresi: <https://www.sdgindex.org/reports/sdg-index-and-dashboards-2018/>
- Santana, N. B., Rebelatto, D. A. D. N., Périco, A. E., Morales, H. F. & Filho, W. L. (2015). Technological innovation for sustainable development: an analysis of different types of impacts for countries in the BRICS and G7 groups. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 22(5), 425-436. Doi: <https://doi.org/10.1080/13504509.2015.1069766>
- Silvestre, B. S. & Tîrcă, D. M. (2019). Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, 208, 325-332. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.244>
- Stock, T., Obenaus, M., Kunz, S. & Kohl, H. (2018). Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 254-267. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.026>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). Türkiye ve sürdürülebilir kalkınma amaçları. Erişim adresi: <http://www.surdurulebilir.kalkinma.gov.tr/>
- Tıraş, H. (2012). Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: Teorik bir inceleme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 57-73. Erişim adresi: <http://iibfdergisi.ksu.edu.tr/tr/download/article-file/107656>
- Waibel, M. W., Steenkamp, L. P., Moloko, N. & Oosthuizen, G. A. (2017). Investigating the effects of Smart Production Systems on sustainability elements. *Procedia Manufacturing*, 8, 731-737. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.094>
- Wendling, Z.A., Emerson, J. W., Esty, D. C., Levy, M. A., de Sherbinin, A. et al. (2018a). 2018 Environmental Performance Index. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. Erişim adresi: <https://epi.yale.edu/>
- Wendling, Z.A., Emerson, J. W., Esty, D. C., Levy, M. A., de Sherbinin, A. et al. (2018b). Environmental Performance Index 2018 results. Erişim adresi: <https://epi.envirocenter.yale.edu/epi-topline>
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). Our Common Future. Erişim adresi: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- World Economic Forum, INSEAD & Cornell University. (2016). The Global Information Technology Report 2016: Innovating in the Digital Economy. Geneva, Fontainebleau ve Ithaca. Erişim adresi: http://www3.weforum.org/docs/GITR2016/WEF_GITR_Full_Report.pdf
- Young, S. T. & Dhanda, K. K. (2013). *Sustainability: Essentials for business*. Los Angeles, California: Sage.