

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.52122/nisantasisbd.1347955

DÖNGÜSEL BİR EKONOMİYE DOĞRU: AB27'DE MAKROEKONOMİK,
ÇEVRESEL VE TEKNOLOJİK ETKENLERİN ANALİZİ¹

Canan ŞENTÜRK*

* Süleyman Demirel
Üniversitesi, İktisat Bölümü.

canansenturk@sdu.edu.tr

ORCID 0000-0001-7714-844X

Aykut SEZGİN*

* Süleyman Demirel
Üniversitesi, İktisat Bölümü.

aykutsezgin@sdu.edu.tr

ORCID 0000-0001-7039-8032

Onur DEMİREL*

* Süleyman Demirel
Üniversitesi, İktisat Bölümü.

onurdemirel@sdu.edu.tr

ORCID 0000-0002-4476-0066

Hakan DEMİRGİL*

* Süleyman Demirel
Üniversitesi, Ekonometri
Bölümü.

hakandemirgil@sdu.edu.tr

ORCID 0000-0002-9509-7751

ÖZ

21. yüzyılın ana gündem maddeleri arasında yer alan küresel iklim değişikliği ve çevresel bozulma, ülkeleri sürdürülebilirlik ile ekonomik büyümeyi dengeleyici hem ulusal hem de küresel ölçekte yeni strateji arayışlarına yönlendirmektedir. Çoğu ülke, sanayi stratejisini değiştirmekte ve sürdürülebilir büyüme/kalkınmanın bir unsuru olarak döngüsel ekonomiyi merkeze almaktadır. Öyle ki, döngüsel ekonomi tüm boyutlarıyla sürdürülebilir bir gelecek için ön koşul olarak görülmektedir. Kaynak ve enerji döngülerinin yavaşlatılması/daraltılması/ kapatılmasıyla; girdi, atık, emisyon ve enerji kayıplarının en aza indirilerek; yeniliği, tasarımı, bakım ve onarımı, yeniden kullanım ve üretimi, yenileme ve geri-dönüşümünü de içeren bir ekonomik sistemin yaratılmasını destekleyen; refah, istihdam ve sürdürülebilirliği artırma gücü sağlayan kapsamlı bir dönüşümü ifade etmektedir. Bu anlayışla, kaynak tüketiminde artış olmaksızın (kaynak verimliliğini temel alan bir sistemle) ekonomik büyüme hedefleyen; hem üretim zincirini hem de ticaret kalıpları ve tüketim alışkanlıklarını değiştiren bir yapı kurgulanmaktadır. Böylelikle, endüstriyel sistemlerin yeniden tasarlandığı bir kalkınma stratejisi de oluşturmaktadır. Çalışmada 2010-2021 dönemi AB27 ülkelerinde döngüsel ekonominin makro düzeyde potansiyel belirleyicileri arasında değerlendirilebilen ticari açıklık, temiz enerji, sanayileşme, beşeri sermaye ve teknolojinin etkisi panel veri analizi yöntemiyle incelenmektedir. Sonuçlara göre, döngüsellik oranının bir dönem gecikmesi, değişkenin cari değerlerinde pozitif, ticari açıklık ve yenilenebilir enerji, döngüsellik oranını negatif bir etki yaratmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Ekonomi, Ticari Açıklık, Yenilenebilir Enerji, Beşeri Sermaye, Teknoloji

Jel Kodları: F18, Q56, Q43, C22.

TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY: ANALYSIS OF MACROECONOMIC, ENVIRONMENTAL
AND TECHNOLOGICAL DRIVERS IN EU27

ABSTRACT

Global climate change and environmental degradation, which are among the main agenda items of the 21st century, are directing countries towards new strategies both national and global scales to achieve a balance between sustainability and economic growth. Many countries are changing their industrial strategy and focusing on the circular economy (CE) as an element of sustainable growth and development. CE is considered a prerequisite for a sustainable future with all its dimensions. It refers to a comprehensive transformation that supports the creation of an economic system that includes minimizing input, waste, emission and energy losses by slowing/constricting/closing resource and energy cycles, innovation, design, maintenance and repair, reuse and production, renewal and recycling. Furthermore, this transformation provides the power to increase welfare, employment and sustainability. With this understanding, a structure is being designed that changes both the production chain, pattern of trade and consumption patterns, aiming for economic growth without increasing resource consumption (through a system based on resource efficiency). In this study, trade openness, clean energy, industrialization, human capital and technology will be included among the macro-level drivers of the CE. The effect of these drivers on the circular economy in EU27 countries between 2010-2021 is analysed by panel data analysis.

Keywords: Circular Economy, Trade Openness, Renewable Energy, Human Capital, Technology

Jel Codes: F18, Q56, Q43, C22.

Geliş Tarihi/Received: 22.08.2023

Kabul Tarihi/Accepted: 12.10.2023

Yayın Tarihi/Printed Date: 20.10.2023

Kaynak Gösterme: Şentürk, C., Sezgin, A., Demirel, O., Demirgil, H.,(2023). "Döngüsel Bir Ekonomiye Doğru: AB27'de Makroekonomik, Çevresel Ve Teknolojik Etkenlerin Analizi". *İstanbul Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Özel Sayı(11) 163-179.

¹ IERFM2023 Kongresinde sunulan bildirinin gözden geçirilmiş ve düzenlenmiş halidir.

GİRİŞ

Sanayi devrimi sonrası teknolojideki hızlı dönüşüm tüm dünyada üretim kapasitesinin hızla gelişmesine sebep olmuştur. Ancak teknolojik dönüşümün üretim ve tüketim sistemlerinde yarattığı dönüşüm, bazı ekolojik sorunları da beraberinde getirmektedir. Bununla beraber ortaya çıkan ekolojik hasarlar da teknoloji sayesinde bertaraf edilebilmektedir. Bu konu hakkında en önemli tartışma konularından biri üretim hızı yavaşlatılmadan çevresel zararların en aza indirilmesidir. Kaynak ve enerji tasarruflarını artırmak büyüme hızını en düşük düzeyde etkileyerek, döngüsel ekonomiyi inşa ederek, çevreyi korumanın etkili bir yoludur (Rammelt ve Crisp, 2014). Çevresel etkilerin azaltılması için mevcut teknolojilere bağlı karşılaşılan zorlukların ele alınması; malzemelerin yaşam döngüsünde yenilikçi uygulamalara dayalı ticareti ve büyümeyi, beşeri sermaye artışını, temiz enerjiyi teşvik eden politikaların geliştirilmesi ve uygulanması esastır. Son yıllarda 'Döngüsel Ekonomi' (Circular Economy-CE), sürekli büyüme ve artan kaynak akışına dayalı 'al, kullan ve at' olarak adlandırılan doğrusal ekonominin yarattığı üretim ve tüketim modeline daha iyi bir alternatif sağlamak amacıyla dünya çapında artan ilgi görmektedir (Ness, 2008). Döngüsel ekonomi genel bir ifadeyle "iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, atık ve kirlilik gibi küresel zorlukların üstesinden gelen bir sistem çözümü çerçevesi" olarak tanımlanmaktadır (Ellen MacArthur Foundation; 2021). 3R'ye (reduce-reuse-recycle) dayalı bu sistem çözümü çerçevesinde döngüsel ekonomi uygulamalarına artan ilginin odağında ise, doğal kaynakların hızla tükenmesi ve iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkileri ile ilişkilendirilen Endüstri 4.0 gelişmeleri yatmaktadır (Nunes vd., 2023). Çünkü doğrusal modeller, ekonomilerin istikrarını ve doğal ekosistemlerin bütünlüğünü tehdit etmekte, sürdürülebilirlik açısından yetersizlik arz etmektedir. Oysa döngüsel bir ekonomiye geçiş için ekonomideki kaynak kullanımında izlenecek aşamalar arasında; malzeme döngülerinin kapatılması, eko-tasarım vasıtasıyla malzeme döngülerinin genişletilmesi ve kaynak verimliliği sağlayan uygulamalarla malzeme döngülerinin daraltılması yer almaktadır. Dolayısıyla döngüsel ekonomi, malzeme döngülerini kapatarak, genişleterek ve daraltarak yaşam döngüleri boyunca kaynakları daha verimli kullanmayı önermektedir. Bu doğrultuda döngüsel bir ekonomiye geçiş, birincil hammadde kullanımını azaltarak doğal kaynakların daha düşük oranda çıkarılmasına ve kullanılmasına imkan sağlayan yaklaşımları gerektirmektedir (OECD, 2022: 7). Söz konusu konsept, geri dönüşüm veya yeniden kullanım için atık akışlarından malzemeleri geri kazanarak, ürünleri daha uzun süre kullanarak ve paylaşım ekonomisinin potansiyelinden yararlanarak sınırlı malzeme kaynaklarının tüketimini azaltmak için mevcut doğrusal ekonomiyi döngüsel bir modele dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Bu da, kaynak verimliliğinin artmasına ve sürdürülebilirliğin desteklenmesine yol açmaktadır. Bu sayede yeni bir iş modeli sunmanın yanı sıra, refah artışı, yenilikçi teknolojiler, yenilikçi istihdam olanakları yaratarak (McCarthy vd., 2018), daha yeşil bir ekonomiyle kaynakların daha uygun ve çevreye duyarlı kullanımını teşvik etmektedir.

Öte yandan, günümüzde pek çok ülke sanayi stratejisini değiştirmekte ve sürdürülebilir kalkınmanın bir unsuru olarak döngüsel ekonomiyi merkeze almaktadır. Aslında temelde ülkelerde çevresel baskının ekonomik büyümeden ayrıştırılması hedeflenmektedir. Döngüsel ekonomi, Çin'de ulusal bir siyasi hedef olarak teşvik edilmekte, Avrupa Birliği, Japonya ve ABD'de öncelikli olarak çevre ve atık yönetimi politikaları tasarlamak için bir araç olarak kullanılmaktadır (Ghisellini, 2016: 11). Çin, "Temiz Üretim Teşvik Yasası" ile 2003 yılında döngüsel ekonominin benimsenmesi için ilk düzenleyici eylemde bulunan öncü ülkelerdendir. Bu düzenlemenin ardından, 2009 yılında yürürlüğe giren "Döngüsel Ekonomi Teşvik Yasası" ile kaynak verimliliği, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma odaklı döngüsel ekonomi modelinin gelişimi teşvik edilmektedir (Geng vd., 2012). Döngüsel ekonomi bağlamında dünyada önde gelen ülkelere Almanya'da ise konuya dair ilk yasal düzenleme 1996 yılında "Kapalı Materyal Döngüsü ve Atık Yönetimi Yasası" ile gerçekleştirilmiştir. Döngüsel ekonomi yasası ise 2012 yılında yürürlüğe girmiştir. Almanya'nın döngüsel ekonomi kapsamında önde gelmesinin en önemli sebebi ise etkin bir atık yönetim sistemine sahip olmasıdır (Özsoy, 2018). Öte yandan Avrupa Birliği, Döngüsel Ekonomi Eylem Planı (EC, 2015a; 2015b) ile başlattığı süreci takiben İzleme Çerçevesi (EC, 2018), Yeni Döngüsel Ekonomi Eylem Planı (EC, 2020) ve Yeşil Mutabakat ile döngüsel ekonomiye geçiş önemli bir politika gündem maddesi olarak

vurgulamaktadır. Süreçte, üretim sürecinde Avrupa endüstrilerine yüksek kaliteli ikincil ham maddelerin sağlanması, sürdürülebilir bir ekonominin teşvik edilmesi ve atıkların yarattığı çevresel sorunların azaltılması amaçlanmaktadır (Giannakitsidou vd., 2020). Sektörlerin değer zincirleriyle birlikte dönüşümü, yaklaşık 25 yıllık bir sürece dayandırılmakta ve sürdürülebilirlik odaklı, sıfır atık ve karbon nötr ilkesiyle ürün, hizmet ve iş modelleriyle, güçlü ve tutarlı bir politika çerçevesi tasarlanmaktadır. Ayrıca, çok sayıda OECD ülkesi, ekonomilerini kaynak verimliliğini temel alan, düşük karbonlu süreçlere yönlendirmek için çeşitli eylem planları, yol haritaları ve platformlar geliştirmektedir (OECD, 2022: 8).

Bu doğrultuda sıklıkla işaret edilen bir çözüm, mevcut doğrusal ekonominin daha dögüsel bir ekonomiye dönüştürülmesidir. Verimlilik ilkesi üzerine kurulu olan sistemin, ihtiyaç duyduğu itici faktörleri belirlemek, söz konusu dönüşümün sağlanması açısından önem arz etmektedir. Çalışmada esas alınan araştırma sorusu aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

Dögüsel ekonominin makro ölçekte potansiyel ekonomik, çevresel ve teknolojik belirleyici etkenleri nelerdir ve bu etkenler dögüsel ekonomiyi nasıl etkiler?

Bu bağlamda çalışmanın sonraki aşamaları, ikinci bölüm literatür incelemesi, üçüncü bölüm dögüsel ekonominin potansiyel belirleyicileri ve hipotezlerin oluşturulması, sonrasında ise veri seti/yöntem ve araştırma bulguları bölümleri yer almaktadır. Son bölüm ise sonuç ve tartışmayı içerecek şekilde organize edilmektedir.

1. Dögüsel Ekonomi Literatür Özeti

Dögüsel ekonomi kavramsal olarak uygulamaya yönelik araştırmalara daha uygun olmasına rağmen, konuyla ilgili araştırmaların ağırlıklı olarak teorik, dögüsellik ölçęği yaratma/endeks oluşturmaya ve bibliyometrik incelemeye dayandığı gözlenmektedir. Ayrıca mikro ölçekte firma/sektör/birey/kurum bazında nitel araştırma tekniklerine dayalı dögüsel ekonomi algı düzeyi ve yine firma ölçęğinde dögüsel ekonomi performans ölçümlerine dayalı çalışmalardan söz edilebilir. Bu durum, literatürde nicel analize dayalı çalışmaları arttırma ihtiyacını vurgulamaktadır (Goyal vd., 2021). Çin ve AB başta olmak üzere tüm dünyada artan oranda ilgi gören konuya ilişkin (özellikle makro ölçekte) ampirik bulgulara dayalı çalışma sayısının az olması dikkat çekicidir (Kirchherr ve van Santen, 2019: 1). Tablo 1'de seçilmiş çalışmalara ait bir özet sunulmaktadır.

Tablo 1. Dögüsel Ekonomi Üzerine Önceki Çalışmalar

Çalışma	Zaman ve Ülke(ler)	Method	Sonuç
Tantau vd., (2018)	2010-2014 AB 28	Panel Veri OLS	CE (belediye atıklarının geri dönüşüm oranı) Ar-Ge (+), geri dönüştürülebilir hammadde ticareti (+), çevre vergileri (-), kaynak verimliliği ve yerli malzeme tüketimi (+)
Busu ve Trica (2019)	2010-2017 AB 27	Panel Veri FE (PLS)	Büyüme (GSYİH) CE (Dögüsel malzeme (+), belediye atığı (+), işgücü verimliliği (+), dögüsel malzeme ticareti (+) çevre vergisi (+) ve kaynak verimliliği (+).
Trica vd., (2019)	2007-2016 AB27	Panel Veri FE ve RE	Büyüme (GSYİH) CE (kaynak verimliliği (+), geri dönüşüm oranı (+), çevresel istihdam (+) ve yenilik (+)).
Giannakitsidou vd., (2020)	2014,2016,2017 AB 26	Veri Zarflama	CE (Dögüsel Malzeme Kullanımı) Hem çevresel hem de dögüsel ekonomi performansına göre Avrupa'da en iyi performans gösteren ülkeler Belçika, Almanya, Slovenya, İsveç ve Hollanda.
Georgescu vd., (2021)	2000-2018 AB 25	Panel Veri FE ve Tobit Dimitrescu-Hurlin Nedensellik	CE (belediye atıklarının geri dönüşüm oranı) GSYİH büyümesi (+), belediye atık miktarı (+), Ar-Ge harcamaları (+)
Hysa vd., (2020)	2000-2017 AB28	Panel Veri FE Arellano-Bond Dinamik panel Veri	Büyüme (GSYİH) CE (çevre vergisi gelirleri (+), belediye atıklarının geri dönüşüm oranı (+), özel yatırım (+), inovasyon (+) takas edilebilir geri dönüştürülebilir ham maddeler (etkisi bulunmadı)
Lehmann vd.,	2011-2017	Dinamik Panel Veri	CE (faktör analizi ile hesaplanır)

(2022)	AB 27 Birleşik Krallık		Döngüsel yatırım (+), büyüme (-), yenilikçilik (+), yüksek eğitim seviyesi (insan sermayesi) (CE üzerinde etkisi bulunmadı)
Mahmood, (2022)	1980-2019 GCC Ülkeleri	PMG FMOLS DOLS	CE (CO2 Emisyonu) Büyüme (-), ticari açıklık (kısa vadede +, uzun vadede -), sanayileşme (kısa vadede +, uzun vadede -), kentleşme (-).
Neves ve Marques (2022)	2010-2019 AB 19	Panel Veri	CE (Döngüsel Malzeme Kullanım Oranı) Daha yüksek eğitim seviyesi (+), belediye geri dönüşüm oranı (+), kişi başına düşen CO2 emisyonları (-), kişi başına düşen GSYİH (-), GINI endeksi (-), birincil enerji kullanımı (-).
Bianchi ve Cordella (2023)	2010-2019 AB28	Panel Veri FE ve GMM	Yurtiçi ekstraksiyon Döngüsel malzeme kullanımı (-) CE sektörlerinde istihdam (-) Bu değişkenler, yurt içi ekstraksiyonu azaltmanın itici güçleridir.

Özetle, literatür incelendiğinde döngüsel ekonominin henüz yeni bir kavram olduğu ve farklı yorumlara ve ölçümlere dayalı olduğu göze çarpmaktadır. Dolayısıyla makroekonomik çevresel ve teknolojik itici güçleri konusunda bir fikir birliği olmadığı söylenebilmektedir. Bu çalışma, AB-27 için döngüsellik için ticari açıklık, sanayileşme, temiz enerji, beşeri sermaye ve teknoloji ile ilgili boyutunun nasıl etkilendiğini belirlemek için panel veri modelleri kullanarak literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

2. Döngüsel Ekonominin Potansiyel Belirleyicileri

Döngüsel ekonominin ana fikri, belirli ekonomik faaliyetlerin yan ürünlerini diğerlerinin girdisi olarak kullanarak değerlerini korurken, atıkları azaltıp malzemelerin kullanım ömrünü uzatmak üzerine kurgulanmıştır. Bu noktada, malzeme girdisi ihtiyaçlarının ne kadarının birincil hammadde yerine ikincil malzemeler tarafından karşılandığı önemlidir (Gusmerotti vd., 2019; Jacobi vd., 2018; Tantau vd., 2018, Neves ve Marques, 2022). Bu sebeple çalışmada döngüsel ekonomiyi temsilen 'döngüsel kaynak kullanım oranı' verileri kullanılmaktadır ve bundan böyle 'döngüsellik oranı' (DO) olarak anılacaktır. Ve döngüsellik oranı aşağıdaki gibi formülize edilmektedir.

$$DO = \frac{U}{M} = \frac{(RCV_R-IMP_w+EXP_w)}{DMC+(RCV_R-IMP_w+EXP_w)} \quad (1)$$

DMC, RCV_R, U ve M sırasıyla toplam yurt içi malzeme tüketimi, geri dönüştürülen atık miktarı, malzemelerin döngüsel kullanım oranı, genel malzeme kullanımınıdır. EXP_w ve IMP_w ise geri dönüşüme yönelik atık ihracat ve ithalatını ifade etmektedir. (https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env_ac_cur_esms.htm). Gösterge, döngüsel kaynak kullanımının daha fazla olduğu bir ekonomi yaratma çabasını temsil ederken, aynı zamanda kaynak döngüsellikini temsili sebebiyle döngüsel ekonominin güvenilir bir parametresi olarak düşünülmektedir (Neves ve Marques, 2022; Giannakitsidou vd., 2020). Çünkü söz konusu gösterge ekonomiye yeniden kazandırılan (geri dönüştürülmüş) malzemeyi ifade ettiğinden; genel malzeme kullanımında birincil hammadde kullanımını azaltarak, kaynak tasarrufunu da temsil etmektedir (Eurostat, 2018). Ayrıca EC döngüsellik ölçmek için göstergeler listesinde makro göstergeler arasında döngüsel malzeme kullanım oranına yer vermektedir (EC, 2017: 11).

Döngüsel ekonominin itici güçleri arasında ise öncelikle yenilik ve teknolojinin var olduğu düşünülmektedir. Enerji ve çevre odaklı teknolojik ilerleme sürdürülebilir büyüme sürecinde oldukça etkilidir. Kirlilik azaltıcı teknolojik gelişme (backstop teknolojik ilerleme) sürdürülebilir ekonomik büyümeyi harekete geçirebilmektedir (Saidani vd., 2019). Eş zamanlı olarak kirliliği önleyici inovasyon politikaları uygulamaları sürece destek sağlamaktadır (Zhou vd., 2020). Çevresel sorunların en aza indirilmesinin bir yolu da bilgi teknolojilerinin kullanımınıdır. Bilgi teknolojileri ürünün kendisinden ya da üretim sürecinden dolayı ortaya çıkan atık ve emisyonun azaltılmasında kullanılabilmektedir (Sarkis ve Zhu, 2008). Döngüsel ekonomiye geçiş yapmak için sıfır atık odaklı imalat teknolojileri ve sistemleri inşa etmek gerekmektedir. Bunun için de akıllı atık denetimi ve toplaması, atık işleme ve tasarımı gibi süreçlerin tümünün bir araya

geldiği bir endüstriyel ortak yaşam (industrial symbiosis) platformu kurulmalıdır (Kerdlap vd., 2019).

Ek olarak son yıllarda dijital teknolojiler de ön plana çıkmaktadır. Büyük veri, nesnelerin interneti, Endüstri 4.0 gibi yeni kavramları ve teknolojileri ülkeler, döngüsel ekonomiye uyum sürecinde giderek daha fazla kullanmaktadır. Her ne kadar halihazırda sınırlılıklar olsa da, dijital teknolojiler üretim sürecinde ileri ve geri bağlantıların takibi ile döngüsel ekonomiye katkı sağlamaktadır (Pagorapulos vd., 2017). Yeni bir teknolojik hamle olarak blok zincir (blockchain) teknolojisi de döngüsel ekonomi-teknoloji tartışmalarında sıkça değinilmeye başlanan bir konudur. İşlem maliyetlerini azaltan, tedarik zinciri boyunca performans ve iletişimin artmasını sağlayan bir teknoloji olan blok zincirin karbon ayak izinin azaltılmasında önemli rol oynayacağı düşünülmektedir (Upadhyay vd., 2021). Teknoloji aynı zamanda döngüsel ekonomi ile ilişkili alanlarda farkındalığı ölçmek için de bir araç olarak düşünülmektedir. Bazı çalışmalarda teknolojiyi ifade etmek için teknoloji göstergesi olarak kabul edilen patent sayısı gösterge olarak kullanılabilir ve döngüsel materyal kullanımı ile ilişkilendirildiği görülmektedir (Moraga vd., 2019). Teknoloji, döngüsel ekonomi çalışmalarında bazen de sürdürülebilir kalkınma göstergelerinden biri olarak yer almaktadır (Saidani vd., 2019). Ar-ge harcaması, ar-ge personeli, bilimsel makale sayısı, teknoloji ithalatı ve teknoloji ihracatı gibi farklı göstergeler de kullanılabilir. Bu noktadan hareketle çalışmanın ilk hipotezi aşağıdaki gibidir:

Hipotez 1. İnovasyon, ar-ge, patent sayılarının artması çevresel bozulmayı azaltıcı, kaynak verimliliğini artırıcı etki yapar. Döngüsel ekonomiye uyum kapasitesini artırır /daha yüksek döngüsellik oranı sağlar.

Beşeri sermaye üretim süreçlerinde verimliliği yüksek üretim teknolojilerinin uygulanmasını sağlamaktadır. Aslında bu üretim teknolojilerini üreten, geliştiren ve bir sonraki aşamaya taşıyan unsur beşeri sermayedir. Beşeri sermaye bu anlamda süreci yöneten bilgi, beceri ve yetenekleri ifade etmektedir (Horbach vd., 2015). Beşerî sermaye, insan potansiyeli olarak hem firmalar için hem de ülkeler için büyümenin kaynaklarından biridir (Adroniceanu vd., 2021). Beşeri sermaye bilgi ve beceriye sahip işgücü anlamına geldiği için ulusal ve bölgesel kalkınma süreçlerinde önemli rol oynamakta ve sürdürülebilir kalkınmanın da anahtar aktörlerinden biri olmakta ve döngüsel ekonomi uygulamalarının hayata geçirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Suarez vd., 2019; Salas vd., 2021; Balbay vd. 2021). Üretim sürecinde yer alan tüm paydaşlar, sıfır atık ilkesi çerçevesinde beşeri sermayeyi harekete geçirdiği zaman daha etkili sonuçlar alınmaktadır. Böylece teknoloji transferi ve organizasyonel öğrenme yoluyla döngüsel ekonomi bağlamında daha etkili sonuçlar elde ettiğini göstermektedir (Mishra vd., 2021). Ayrıca beşeri sermaye, toplam enerji tüketimini azaltarak ve temiz enerjiye geçişi teşvik ederek döngüsel ekonomiye katkıda bulunmaktadır. Beşeri sermaye birikiminden kaynaklanan teknolojik ilerleme, doğal kaynakların ve enerjinin verimliliğini arttırmak suretiyle de döngüsellik üzerinde pozitif bir etki yaratmaktadır (Yao vd., 2019). Beşeri sermaye ile ilgili hipotez aşağıdaki gibidir:

Hipotez 2. Daha yüksek beşeri sermaye stoğuna sahip olmak, döngüsel ekonomiye uyum kapasitesini artırır /daha yüksek döngüsel ekonomi seviyesi sağlar.

Doğrusal bir ekonomide, enerji tüketimindeki bir artış, daha büyük ekonomik büyüme için endüstriyel üretimin sonucunda geri dönüştürülebilir/dönüştürülemeyen daha fazla malzeme çıktısı anlamına gelmektedir. Birincil enerji kaynaklarının kullanımı doğrusal süreçle işleyen mevcut ekonomik büyümenin bir uzantısı olarak döngüsel ekonomiyi olumsuz etkilemektedir (Neves ve Marques, 2022:8). Enerjinin veya atık malzemelerin geri dönüşümü ve temiz enerji kullanımı döngüsellik açısından önem taşımaktadır. Biyo-gaz üretmek için organik atık malzemeleri kullanımı, termal veya elektrik enerjisi üretmek için atık ısı kullanımıyla ısı geri kazanımı, binalarda enerji verimliliğinin sağlanması, endüstriyel süreç ve ulaşım, biyo-yakıt odaklı yenilenebilir enerji üretimi ve kullanımı gibi pek çok hususun döngüsel ekonomi sürecinde pozitif etkileri söz konusudur (Olabi vd., 2019; Sharma vd., 2020; İslam vd., 2021).

Yenilenebilir enerji kullanımı ise, sürdürülebilirlik ekseninde sera gazı (GHG) emisyonları ve karbon ayak izini azaltması ile ilişkilendirilmektedir. İklim değişikliğinin etkileriyle ilgili artan

kaygılarla ortaya çıkan tartışmalarda da özellikle fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçiş öne çıkmaktadır. Söz konusu geçişin sağlanmasıyla döngüsel ekonomi yaklaşımının özellikle 'hammadde için iyileştirilmiş geri dönüşüm oranı' ve 'eko-tasarım' boyutu ile yenilenebilir enerji arasında pozitif bir ilişki vurgulanmaktadır (Mutezo ve Mulopo, 2021). Beşikten beşiğe bir yaşam döngüsü temelinde, yenilebilir enerji tüketimi ve yeni nesil teknolojilerinin uygulanması düşük karbonlu ve kaynak açısından verimli sistemler olarak düşünülmektedir (Sawhney, 2021). Hibrit yenilenebilir enerjiden yararlanmak, enerji üretimi için fosil yakıtla bağımlılığı azaltmakta ve düşük karbon ayak izine sahip döngüsel ekonomi oluşturmaya yardımcı olmaktadır (Bist vd., 2020:2).

Döngüsel ekonomi paylaşım ekosistemi bağlamında incelendiğinde ise paylaşım ekonomisinin kısa geçmişine rağmen gelecekte çok hızlı büyüyeceği ve temiz enerjiyi destekleme bağlamında katkılar sağlayacağı öngörülmektedir (Koçan vd., 2019). Özetle, yenilenebilir enerji üretimini yönlendiren politika ve önlemler, kaynak tüketimi açısından döngüsel ekonomiye geçişi kolaylaştırırken; iklim değişikliğini azaltma yönünde de fayda yaratacaktır (İslam vd., 2021).

Ancak yenilenebilir enerjiye geçiş, döngüsel malzeme akışlarının arttığı ekonomilere yönelik bir adımdır. Ancak bu geçiş için gerekli malzemeler, doğal kaynak çıkarma etkilerinin en güçlü olduğu maden çıkarma endüstrileri tarafından sağlanmaktadır. Temiz enerjiye geçiş için kritik teknolojiler olan rüzgar türbini, güneş paneli, pil ve araç endüstrilerinde atıkların aksine doğal kaynaklardan gelen girdilerden yararlanılmakta, yani süreçleri hala birincil hammadde tüketimine dayanmaktadır (Mulvaney vd., 2021). Örneğin gelecekteki bir Avrupa elektrikli araç filosu, lityum ve nikel talebi dolayısıyla 2030'dan önce Avrupa metal rezervlerinin tükenmesine; kobalt talebinin ise Avrupa'nın toplam jeolojik rezervini aşmasına neden olabilir (Simon vd., 2015). Ya da güneş enerjisi santrallerinin artması fotovolvaik yarı iletkenine ihtiyacı arttırmakta; bu da düz cam endüstrisinin (flat-glass industry) kapasitesinde artışa sebep olmakta ve bu da yalnızca güneş enerjisi endüstrisinin binlerce cam fabrikasına ihtiyaç duyar hale gelmesi demektir (Mulvaney vd., 2021). Dolayısıyla bu yönüyle döngüsel ekonomiye negatif etki de doğurabilmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın temiz enerji odaklı hipotezi aşağıdaki gibidir:

Hipotez 3. Temiz enerjiye dönüşümün artması; döngüsel ekonomiye uyum kapasitesini artırır /daha yüksek döngüsellik seviyesi sağlar.

Dış ticaret hacminin gayri safi yurt içi hasılaya bölünmesiyle tahmin edilen ticari açıklık oranı, ticaretin yerel faaliyetler üzerindeki bağımlılığını ve etkisini ortaya koymaktadır. Dış ticaret hacmi toplamı ne kadar yüksekse, bir ülkenin ticarete bağımlılığı o kadar yüksektir. Ve ülke ekonomisi ticaretten o kadar fazla etkilenmektedir. Ticari açıklık oranının CE potansiyelini değerlendirmeye ilgisi, üretim ve tüketimden kaynaklanan ekonomik faaliyetlerin ne kadarının bir ülkenin kendi topraklarında ve ne kadarının ülke dışında bulunduğu dayalıdır. Makro ölçekte CE potansiyelinin değerlendirilmesi için ticari açıklık etkili bir göstergedir (Geerken, 2019). Öte yandan ticari açıklığın çevresel bozulma faktörü dolayısıyla döngüsellğe etkisi de bulunmaktadır. Bu durumda Grossman ve Krueger (1991)'dan yararlanılarak gelir atışı-çevresel bozulma ilişkisindeki ölçek, teknik ve kompozisyon etkileri ticari açıklık ve çevresel bozulma ilişkisine uyarlanmaktadır (Mutascu, 2018: 443, Antweiler vd., 2001). Ölçek etkisi, ekonomik faaliyetlerdeki artışın yarattığı tüketim artışı nedeniyle sera gazı emisyonları ve doğal kaynakların tükenmesindeki artışları ifade etmektedir. Serbest ticaret sonucu ticaret hacminin ve çıktıdaki artışın çevre üzerindeki bozucu etkisini ele almaktadır (Grossman ve Krueger, 1993, Jiang vd., 2019, Shahbaz vd., 2017). Ticaret odaklı ekonomik büyüme daha fazla üretime ve dolayısıyla enerji tüketimine neden olarak karbon emisyon artışına sebep olmaktadır. Ancak serbest ticaret ve yüksek gelir seviyesi yüksek gelişme düzeyinde çevresel gelişme sağlayabilmektedir. Dolayısıyla ölçek etkisinin doğrusal süreçlere hizmet ettiği gözlenmektedir. Örneğin elektrik enerjisi, ekonomik faaliyetlerin ana girdisi olduğundan, milli geliri artırmak için bu enerji talebini karşılamak gerekmektedir. Ticari dışa açıklık, elektriğin ulusal veya küresel kaynaklardan temininde oldukça etkilidir. Enerjinin üretim süreçlerinde ihtiyacı karşılayamaması ve dışarıdan sağlanması durumunda ticari açıklığın önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Söz konusu enerjinin fosil enerji yakıtlarından temin edilmesi ise çevresel problemlere yol açmaktadır. (Öztürk ve Acaravcı, 2010). Teknolojik etki, daha iyi teknolojiler ve

daha iyi çevresel uygulamalar nedeniyle gelir arttıkça ve ticaret genişledikçe daha temiz bir üretim sürecine sahip olma eğilimini ifade eder (Grossman ve Krueger, 1996; Alam ve Murad, 2020; Shahzad vd., 2017); ki bu durum döngüsel ekonomi için olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Son olarak bileşik etki ya da bir diğer ifadeyle kompozisyon etkisi, dışa açıklık derecesi tarafından belirlenen çıktı kompozisyonunun çevresel bozulma üzerindeki etkisini göstermektedir. Aynı zamanda ekonomik faaliyetlerde yaşanan yapısal değişiklikleri ifade etmektedir. Kompozisyon etkisi, sermaye-emek etkisi büyükse pozitif; çevresel düzenleme etkisi daha büyükse negatif olmaktadır (Shafik ve Bandyopadhyay, 1992, Kahuthu, 2006). Dolayısıyla ticari açıklık ile ilgili olarak şu varsayımda bulunmaktadır:

Hipotez 4. Ticari açıklığın artması ölçek etkisiyle negatif (çevresel bozulmayı arttırıcı); teknolojik etki ve kompozisyon etkisi dolayısıyla çevresel bozulmayı azaltıcı, kaynak verimliliğini arttırıcı etki yapar.

Son otuz yılda üretim süreçlerinde, fabrika temelli operasyonlardan uluslararası dağıtık ağlara, tedarik zinciri ortakları arasında iş birliğine doğru dönüşümler gözlenmektedir. Yüksek yoğunluklu sanayileşmeden kaynaklanan yoğun çevresel bozulma, sanayileşme ve sürdürülebilirlik arasındaki denge kurmayı zorlaştırmaktadır (Shi vd., 2021; Shi vd., 2023). Günümüzde ise endüstri 4.0 teknolojileri, yapay zeka, büyük veri ve nesnelerin interneti, daha iyi verimlilik ve etkinlik yoluyla sanayileşmeyi hızlandırmaktadır. Mevcut doğrusal endüstriyel sistemler, çevresel etki göz önünde bulundurulduğunda, sürdürülebilir büyüme ve kalkınma temelli değildir (Shi vd., 2023). Bu bakımdan ticari açıklık açısından ele alınan ölçek etkisi, teknolojik etki ve kompozisyon etkisi, sanayileşme açısından da uyarlanabilir. Bu noktada ekonomik faaliyetlerdeki teknolojik ve yapısal değişim, söz konusu etkilerden teknolojik etki ve kompozisyon etkisiyle çözüm döngüsel süreçlerde aranmakta; büyüme ve çevrenin korunması arasında giderek artan çelişkiyi sonlandırmak için döngüsel ekonominin bir alt kümesi endüstriyel simbiyoz önerilmektedir (MacArthur, 2013). Kaynakların sürekli kullanımı yoluyla kapalı bir döngü sisteminin oluşturulması (yeniden kullanım, geri dönüşüm, onarım, yeniden üretim, paylaşım ve yenileme) amaçlanmaktadır (Geissdoerfer vd., 2017). Bu süreç atık oluşumunu azaltacak, karbon emisyonlarını ve kirliliği azaltacak ve nihayetinde mal üretmek ve hizmetleri yürütmek için gereken kaynak girdilerini en aza indirecektir. Böylelikle atıklar ve yan ürünler aracılığıyla farklı endüstriler arasında simbiyotik ilişkiler kurarak bu hedefler gerçekleştirmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla sanayileşme ile ilgili hipotez aşağıdaki gibi oluşturulabilir.

Hipotez 5. Sanayileşmenin artması ölçek etkisiyle negatif (çevresel bozulmayı arttırıcı); teknik etki ve kompozisyon etkisi dolayısıyla çevresel bozulmayı azaltıcı, kaynak verimliliğini arttırıcı etki yapar.

3. Veri Seti ve Yöntem

Çalışmanın analiz kısmında Avrupa Birliği'ne üye 27 ülkeye (AB 27) ait 2010-2021 dönemi verileri kullanılmıştır. Modelimizin bağımlı değişkeni döngüsel materyal kullanım oranı veya başka bir adıyla döngüsellik oranı (do)'dır. Döngüsel ekonomi konusunda yapılan çalışmalar incelendikten sonra bağımsız değişken seçimleri yapılmıştır. Modelde kullanılan bağımsız değişkenler sanayi sektörü katma değer oranı (skd), 2015 fiyatlarıyla Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (gsyih), dış ticaretin GSYİH içindeki payı -ticari dışa açıklık- (ta), brüt nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji payı (ye), patent başvuru sayıları (pat), insani gelişme indeksi (ige)'dir. İge verileri Birleşmiş Milletler; pat, ye ve do verileri Eurostat ve gsyih, skd, da verileri Dünya Bankası veri tabanlarından elde edilmiştir. Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Ortalama	Standart	Min	Maks	Gözlem
----------	----------	----------	-----	------	--------

		Sapma				
do	Genel	8.68	6.43	1.2	33.8	N = 324
	Birim		6.21	1.79	28.1	n = 27
	Zaman		2.03	-0.21	20.08	T = 12
skd	Genel	22.56	6.07	9.97	40.21	N = 324
	Birim		5.93	11.08	32.53	n = 27
	Zaman		1.69	14.40	31.23	T = 12
gsyih	Genel	508780.3	803318.7	851.35	3596646	N = 324
	Birim		816075.7	11347.95	3379438	n = 27
	Zaman		44964.61	217313.8	725988	T = 12
ta	Genel	130.72	67.79	51.19	388.12	N = 324
	Birim		68.15	56.82	342.92	n = 27
	Zaman		10.41	81.46	175.92	T = 12
ye	Genel	20.38	11.65	0.979	62.57	N = 324
	Birim		11.48	5.97	52.92	n = 27
	Zaman		2.89	12.07	30.03	T = 12
pat	Genel	2345.58	5229.05	8	27328	N = 324
	Birim		5313.82	16.16	26116.5	n = 27
	Zaman		260.58	955.66	3557.08	T = 12
ige	Genel	0.88	0.03	0.79	0.948	N = 324
	Birim		0.03	0.803	0.93	n = 27
	Zaman		0.01	0.85	0.91	T = 12

Modelin tahmin edilmesinde dinamik panel veri tahmincileri kullanılmıştır. Dinamik panel veri regresyonu dinamik uyumun anlaşılması için kullanılmaktadır. Bağımlı değişken 'do' ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki Arellano ve Bond (1991) tarafından geliştirilen Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM) ile incelenecektir. Kullanılan ekonometrik model şu şekildedir:

$$do_{i,t} = \alpha_1 do_{i,t-1} + \alpha_2 skd_{i,t} + \alpha_3 gsyih_{i,t} + \alpha_4 ta_{i,t} + \alpha_5 ye_{i,t} + \alpha_6 pat_{i,t} + \alpha_7 ige_{i,t} + \omega_{i,t} \quad (2)$$

(1) nolu denklemde $dmk_{i,t-1}$ $i=1,2,\dots,N$ ve $t=1,2,\dots,T$ olmak üzere bağımlı değişken do'nun bir dönem gecikmeli değerini ifade etmektedir. Dinamik panel veri regresyon modelinin tahmininde kullanılan temel yaklaşım Anderson ve Hsiao (1981) tarafından önerilen birinci farklar yaklaşımıdır. Anderson ve Hsiao modelin birinci farkını aldıktan sonra araç değişken kullanımını önermişlerdir. Fakat araç değişken kullanımı moment koşullarının yerine getirilmemesine bağlı olarak etkin olamayan tahmincilerin elde edilmesine neden olmaktadır (Baltagi, 2005). Arellano ve Bond (1991) modelin araç değişken kısmında gecikmeli değişkenlerin tamamının yer almasını önermişler ve birinci fark GMM modelini geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım, yapısı bozulmuş, tutarlı ve verimli bir tahmin edici ile sonuçlanır. Dışsal değişkenleri içermeyen bir AR(1) otoregresif panel veri modeli aşağıdaki gibidir:

$$Y_{i,t} = \delta Y_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

Bir ağırlıklandırma matrisi (A_N) atanarak tek adımlı (one-step) tutarlı bir tahmin edici aşağıdaki şekilde elde edilebilir (Arellano ve Bond, 1991):

$$A_N = \left(N^{-1} \sum_{i=1}^N W_i^T GW \right)^{-1} \quad (4)$$

Araç değişkenlerinin bir matrisi olarak tek adımlı GMM Arellano-Bond tahmin edicisinin sonuçları aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\hat{\delta} = (N^{-1} \left[\sum_{i=1}^N \Delta Y_{i,t-1} W_i^T \right] A_N \left(N^{-1} \sum_{i=1}^N W_i^T \Delta T_i \right))^{-1} \left[N^{-1} \sum_{i=1}^N \Delta Y_{i,t-1} W_i^T \right] A_N \left(N^{-1} \sum_{i=1}^N W_i^T \Delta Y_i \right) \quad (5)$$

Araç değişkenler, hata terimleriyle ilişkili olmayan, ancak açıklayıcı içsel değişkenlerle ilişkili olan değişkenlerdir. İki aşamalı (two-step) bir tutarlı tahminci, ağırlıklandırma matris kullanılarak aşağıdaki gibi ikame edilerek elde edilir (Arellano ve Bond, 1991):

$$\hat{V}_N^{-1} = \left[N^{-1} \sum_{i=1}^N \Delta Y_{i,t-1} W_i^T \Delta \hat{v}_i \Delta \hat{v}_i^T W_i \right]^{-1} \quad (6)$$

(6) nolu denklemde yer alan \hat{v}_i tek adımlı tutarlı tahmincilerin olduğu denklemde elde edilen hata terimleri vektörünü temsil etmektedir.

4. Bulgular

Dinamik panel veri modelinde, iki aşamalı tahminciler Arellano Bond Fark GMM yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Model tahmin sonuçları Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Arellano-Bond GMM Fark Tahminleri

	Katsayı	Standart Hata	T istatistiği
do(-1)	0.912	0.0084	108.71*
skd	-0.004	0.015	-0.27
gsyih	-0.00268	0.243	-0.01
ta	-0.006	0.0019	-3.14**
ye	-0.028	0.0061	-4.58**
patent	-0.000019	0.000029	-0.66
ige	12.85	3.57	3.59*
Wald Test χ^2 (6) = 49882.16 [0.00]		Hansen χ^2 (28) = 20.05 [0.862]	
AR(1) = -2.98 [0.003]		AR(2) = -1.38 [0.169]	

* ve ** sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. Köşeli parantez içindeki değerler test istatistiklerinin olasılık değerlerini göstermektedir.

Wald test sonuçları bağımsız değişkenlerin bit bütün olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Ardışık bağımlılık test sonuçlarına göre birinci dereceden negatif ardışık bağımlılık (AR(1)) olmakla birlikte, modelde ikinci dereceden ardışık bağımlılık (AR(2)) yoktur. Hansen test sonuçları ise araç değişkenlerin dışsal ve geçerli olduğunu göstermektedir. Döngüsel materyal kullanım oranlarının (do) bir dönem gecikmesi, değişkenin cari değerleri üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahiptir. Bu sonuç döngüsellik oranı (do) verilerinin dinamik bir yapıda olduğunu da göstermektedir. Sanayide katma değer kullanımı (sdk) ve GSYİH değişkenlerine ait katsayılar negatif işarete sahip olmasına rağmen, bu değişkenler do üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir. Bununla birlikte ticari açıklık oranı (ta) ve yenilenebilir enerji kullanımı (ye) döngüsel materyal kullanımını negatif ve anlamlı bir şekilde etkilemektedir. Teknoloji geliştirme çabalarına ait bir gösterge olarak patent verilerinin do üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. İnsani gelişme indeksi değerlerindeki artışlar ise döngüsel materyal kullanımını anlamlı bir şekilde pozitif yönde etkilemektedir.

SONUÇ

Küresel ekonominin %90'ından fazlası halen doğal kaynakları sürdürülebilirlik ilkesinden çok uzak bir noktada kullanmaya devam etmektedir. Materyal kullanımına yönelik doğrusal "al/kullan-yap-at" yaklaşımı, pratikte hala döngüsel ekonomi fikirlerinden daha ön planda yer almaktadır. Kaynakların nasıl yönetildiği, ürünlerin nasıl üretildiği, üretilenlerin nasıl kullanıldığı ve elbette üretim sonrasında malzemelerle ne yapıldığı günümüz dünyasında önem kazanmış durumdadır. Doğrusal ekonomi süreçlerini, "yeniden düşünme" perspektifinden ele alarak ekonominin işleyiş biçiminin yeniden tasarlanması 3R'ye (reduce-reuse-recycle) dayalı döngüsel ekonomiye geçişle mümkündür. Kaynak ve enerji döngülerinin yavaşlatılması, daraltılması ve/veya kapatılmasıyla; girdi, atık, emisyon ve enerji kayıplarının en aza indirilerek; yeniliği, tasarımı, bakım ve onarımı, yeniden kullanım ve üretimi, yenileme ve geri dönüşümü de içeren bir ekonomik sistemin yaratılmasını desteklemektedir. Dolayısıyla sadece CO2 emisyonlarını, atıkları ve kirliliği azaltmayı hedefleyen değil; aynı zamanda refah, istihdam ve dayanıklılığı artırma gücü sağlayan kapsamlı bir dönüşümü ifade etmektedir.

Bu doğrultuda sıklıkla işaret edilen bir çözüm, mevcut doğrusal ekonominin daha döngüsel bir ekonomiye dönüştürülmesidir. Verimlilik ilkesi üzerine kurulu olan sistemin, ihtiyaç duyduğu

İtici faktörleri belirlemek söz konusu dönüşümün sağlanması açısından önem arz etmektedir. Bu sebeple çalışma, döngüsel ekonominin makro ölçekte potansiyel ekonomik, çevresel ve teknolojik etkenlerin neler olduğu ve bu etkenlerin döngüsel ekonomiyi nasıl etkilediği sorularına dayandırılmaktadır. 2010-2021 yılları arası AB27 ülkelerinde döngüsel ekonominin makro düzeyde itici güçleri arasında değerlendirilebilen ticari açıklık, temiz enerji, sanayileşme, beşeri sermaye ve teknolojinin döngüsel ekonomiye etkisi dinamik panel veri yöntemi (iki aşamalı GMM) ile analiz edilmektedir. Çalışma böylelikle, literatürdeki ampirik sonuçlara dayalı ve makro ölçekli çalışma eksikliğini giderme yönünde katkı sağlamayı da hedeflemektedir. Bu bağlamda, EU27 için, modelden elde edilen bulgular, öncelikle ticari açıklık ve döngüsellik oranı arasında anlamlı ve negatif yönlü bir ilişkinin varlığını desteklemektedir. Ticari açıklık için ölçek etkisinin, teknik ve kompozisyon etkisine oranla daha ön planda olduğu söylenebilmektedir. Bu durumda iklim değişikliği ne ilişkin oluşturulacak politikalarındaki ilgili paydaşlar için, karbon emisyon azaltımı ve fosil yakıt enerjisine olan talebin azaltılması için ileri teknolojiler ve çözüm geliştirilmesine dair gelişmiş ekonomilere daha fazla görev düşmektedir. Bu ülkeler küresel iklim değişikliğiyle mücadelede gelişmekte olan ülkelerin üretim teknolojisi seviyesini iyileştirmek için teknolojik ilerlemesini ve teknoloji yayılmalarını hızlandırabilir.

Bulgular beşeri sermayenin döngüsel ekonomi için temel bir kolaylaştırıcı olduğu fikrini desteklemektedir. Bu bakımdan sonuçlar Yao vd., (2019), Mishra vd., (2021); Suarez vd., (2019); Salas vd., (2021); Balbay vd. (2021) ile uyumludur. Beşeri sermaye bilgi ve beceriye sahip işgücü anlamına geldiği için sürdürülebilir kalkınmanın da anahtar aktörlerinden biri olmakta ve EU27 için döngüsel ekonomi uygulamalarının hayata geçirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Teknoloji, ekonomik büyüme ve sanayileşmenin ise döngüsellik oranı üzerinde etkisi bulunmamakta; bu da her bir değişken ile döngüsel ekonomi arasında pozitif ilişki içeren daha önceki çalışmalara ait bulgularla çelişmektedir. (Pagorapulos vd., 2017, Avrupa Komisyonu, 2015, Shi vd. 2023; Neves ve Marques, 2020). Son olarak, yenilenebilir enerji, döngüsellik oranı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir etki yaratmaktadır. Bu sonuçlar Mulvaney vd. (2021), Habib ve Wenzel (2014), Habib vd. (2020) ile uyumludur. Hızla büyüyen, değerli/nadir metaller içeren temiz enerji sektörüyle bağlantılı artan birincil malzeme kullanımı ve ürün hacmi dolayısıyla döngüsel ekonomiye negatif etkileri olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Doğal kaynakların tükenmesi ve küresel ısınma konusunda artan toplum farkındalığı, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve geleceğin iklim değişikliği sorunlarıyla mücadele etmek için ekonomileri küresel ölçekte temiz enerjiye dayalı süreçleri geliştirmeye ve kullanmaya yönelmektedir (Mathiesen vd., 2015). Ancak rüzgar türbinleri, güneş panelleri, elektrikli araçlar gibi yenilenebilir enerjiyi üretmeye ve kullanmaya yönelik teknolojiler, metaller gibi başka bir yenilenemeyen kaynak türüne büyük ölçüde bağımlılığa sahiptir (Habib ve Wenzel, 2014). Yenilenebilir ve düşük karbonlu enerji cihazları ve altyapılarında çelik, alüminyum, bakır, kuvars, kobalt, lityum, değerli ve kritik metaller ve mineraller kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması, lityum-iyon pillerin artan kullanımıyla kobalt ve lityum gibi metallerin tüketimini hızla arttırmaktadır. Sökme, toplama, tersine lojistik, geri dönüşüm ve yeniden üretim gibi döngüsel ekonominin aşamaları fotovoltaiıklar ve piller için elektrikselsel ve kimyasal riskler yaratmaktadır. Hem temiz enerjiye geçiş süreçlerinde değerli/nadir madenlere ilişkin politika oluşumlarının düzenlenmesi hem de rüzgar türbini kanatlarının geri dönüştürülmüş içeriğinin artırılmasının enerji tasarrufu yaratması gibi temiz enerjinin bağlı olduğu sektörlerde geri dönüşüm içerik ve teknolojilerindeki gelişimin uzun vadede bu açığı azaltmada önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

Özetle, döngüsel ekonomi çok çeşitli alanlarda uygulama potansiyeline sahip olmakla birlikte halen çok yeni bir alandır. Küresel sanayileşme sürecinin çevre korumanın gerekliliklerine ve kısıtlamalarına daha fazla önem atfetmesi; sanayileşme sürecindeki ekolojik gereksinimler ve üretim sistemleri tasarımında döngüsel yaklaşımları desteklemesi söz konusu dengenin sağlanmasına katkıda bulunacaktır. Ancak pratikte sanayileşme sürecinde ekolojik gerekliliklerin ne ölçüde gözetildiği henüz açık değildir. Günümüzde endüstri 4.0 teknolojileri, yapay zeka, büyük veri ve nesnelerin interneti, daha iyi verimlilik ve etkinlik yoluyla sanayileşmeyi hızlandırmaktadır. Bu nedenle döngüsel ekonomiye geçiş sürecinde sanayileşme, sürdürülebilirlik ve dijitalleşmenin birlikte uyum ve evrimini içeren net bir kılavuza ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple döngüsellik için politika çabaları sürdürülebilir bir sisteme geçiş

için sağlam bir temel oluşturmada önemli bir rol oynamaktadır. AB emisyon ticareti sisteminde revizyon yapılması, yüksek karbon emisyonlu ürünlerin ithalatında AB ülkeleri dışındaki üreticilere de karbon sınır vergisi uygulanması, yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması, sürdürülebilir yakıtların hem hava hem deniz taşımacılığında teşviki, fosil yakıt (petrol, dizel) kullanan araç satışlarının yirmi yıl içinde yasaklanması gibi önlemler içeren Fit For 55 ile iki aşamalı olarak 2030 ve 2050 yılında daha döngüsel bir ekonomiye ulaşılabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla COVID-19 sonrası kurtarma planları, AB Yeşil Mutabakatının bir uzantısı olan Fit For 55 (<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition>) gibi kapsamlı teşvikler içeren politikaların uzun vadeli faydalar yaratacağı düşünülebilmektedir.

KAYNAKÇA

- Alam, M. M., ve Murad, M. W. (2020). "The Impacts of Economic Growth, Trade Openness and Technological Progress on Renewable Energy Use in Organization for Economic Co-operation and Development Countries". *Renewable Energy*, 145, 382-390.
- An, V., Maarten, C., Veronique V.H. (2017). "Indicators of Circular Economy", Summa Circular Economy Policy Research Centre, https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/summa_-_indicators_for_a_circular_economy.pdf, [Erişim Tarihi: 11 Mach 2023].
- Anderson, T. W., ve Hsiao, C. (1981). "Estimation of Dynamic Models with Error Components". *Journal of the American statistical Association*, 76(375), 598-606.
- Androniceanu, A., Kinnunen, J., ve Georgescu, I. (2021). "Circular Economy as a Strategic Option to Promote Sustainable Economic Growth and Effective Human Development". *Journal of International Studies*, 14(1).
- Antweiler, W., Copeland, B. R., ve Taylor, M. S. (2001). "Is Free Trade Good for the Environment?". *American economic review*, 91(4), 877-908.
- Arellano, M., ve Bond, S. (1991). "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations". *The review of economic studies*, 58(2), 277-297.
- Balbay, Ş., Sarıhan, A. ve Avşar, E. (2021). "Dünya'da ve Türkiye'de "Döngüsel Ekonomi / Endüstriyel Sürdürülebilirlik" Yaklaşımı", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27, 557-569.
- Baltagi, B. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. Third Edition, John Wiley ve Sons., Kanada.
- Bianchi, M., ve Cordella, M. (2023). "Does Circular Economy Mitigate the Extraction of Natural Resources? Empirical Evidence Based on Analysis of 28 European Economies Over the Past Decade". *Ecological Economics*, 203, 107607.
- Bist, N., Sircar, A., ve Yadav, K. (2020). "Holistic Review of Hybrid Renewable Energy in Circular Economy for Valorisation and Management". *Environmental Technology ve Innovation*, 20, 101054.
- Busu, M.; Trica, C.L. "Sustainability of Circular Economy Indicators and Their Impact on Economic Growth of The European Union". *Sustainability* 2019, 11, 5481.
- EC (European Commission), (2015a). Roadmap—Circular Economy—Closing the Loop. Luxembourg: European Commission.
- EC (European Commission), (2015b). Roadmap—Circular Economy Strategy—Public Consultation on the Circular Economy. Luxembourg: European Commission.
- EC (European Commission), (2018). Closing the Loop - An EU Action Plan for the Circular Economy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614> [Erişim Tarihi: 11 Mach 2023].

- EC, (2020). Circular Economy Action Plan, https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf. [Erişim Tarihi: 11 Mach 2023].
- Ellen MacArthur Foundation (EMF) (2021). The Nature Imperative: How The Circular Economy Tackles Biodiversity Loss. United Kingdom: Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/biodiversity-report> [Erişim Tarihi: 11 Mach 2023].
- Eurostat. (2023). Recycling Rate of Municipal Waste. Available online: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env_ac_cur_esms.htm [Erişim Tarihi: 11 Mach 2023].
- Geerken, T., Schmidt, J., Boonen, K., Christis, M., ve Merciai, S. (2019). "Assessment of The Potential of a Circular Economy in Open Economies–Case of Belgium". *Journal of Cleaner Production*, 227, 683-699.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M. and Hultink, E.J. (2017), "The Circular Economy: A New Sustainability Paradigm", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 143, pp. 757-768.
- Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., ve Xue, B. (2012). "Towards a National Circular Economy Indicator System in China: An Evaluation and Critical Analysis". *Journal of cleaner production*, 23(1), 216-224.
- Georgescu, I., Kinnunen, J., ve Androniceanu, A. M. (2022). "Empirical Evidence on Circular Economy and Economic Development in Europe: A Panel Approach". *Journal of Business Economics and Management*, 23(1), 199-217.
- Ghisellini, P., Cialani, C., ve Ulgiati, S. (2016). "A Review on Circular Economy: The Expected Transition to a Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems". *Journal of Cleaner production*, 114, 11-32.
- Giannakitsidou, O., Giannikos, I., ve Chondrou, A. (2020). "Ranking European Countries on The Basis of Their Environmental and Circular Economy Performance: A Dea Application in Msw". *Waste management*, 109, 181-191.
- Goyal, S., 2020. "Reducing Waste in Circular Economy". *Encycl. Renew. Sustain. Mater.* 467–473.
- Grossman, G. M., ve Krueger, A. B. (1991). "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement". *Nber Working Papers Series*, Working Paper No. 3914.
- Grossman, G. M., ve Krueger, A. B. (1996). "The Inverted-U: What Does It Mean?". *Environment and Development Economics*, 1(1), 119-122.
- Gusmerotti, N. M., Testa, F., Corsini, F., Pretner, G., ve Iraldo, F. (2019). "Drivers and Approaches to The Circular Economy in Manufacturing Firms". *Journal of Cleaner Production*, 230, 314-327.
- Habib, K., ve Wenzel, H. (2014). "Exploring Rare Earths Supply Constraints for The Emerging Clean Energy Technologies and The Role of Recycling". *Journal of Cleaner Production*, 84, 348-359.
- Habib, K., Hansdóttir, S. T., ve Habib, H. (2020). "Critical Metals for Electromobility: Global Demand Scenarios for Passenger Vehicles, 2015–2050". *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104603.
- Horbach, J., Rennings, K., ve Sommerfeld, K. (2015). "Circular economy and employment". In 3rd IZA Workshop: Labor Market Effects of Environmental Policies, 1-39.
- Hysa, E., Kruja, A., Rehman, N. U., ve Laurenti, R. (2020). "Circular Economy Innovation and Environmental Sustainability Impact on Economic Growth: An Integrated Model for Sustainable Development". *Sustainability*, 12(12), 4831.
- Islam, K. N., Sarker, T., Taghizadeh-Hesary, F., Atri, A. C., ve Alam, M. S. (2021). "Renewable Energy Generation from Livestock Waste for a Sustainable Circular Economy in Bangladesh". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110695.

- Jacobi, N., Haas, W., Wiedenhofer, D., ve Mayer, A. (2018). "Providing an Economy-Wide Monitoring Framework for The Circular Economy in Austria: Status Quo and Challenges". *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 156-166
- Jiang, L., He, S., Zhong, Z., Zhou, H., ve He, L. (2019). "Revisiting Environmental Kuznets Curve for Carbon Dioxide Emissions: The Role of Trade". *Structural Change and Economic Dynamics*, 50, 245-257.
- Kahuthu, A. (2006). "Economic Growth and Environmental Degradation in a Global Context". *Environment, Development and Sustainability*, 8(1), 55-68.
- Kerdlap, P., Low, J. S. C., ve Ramakrishna, S. (2019). "Zero Waste Manufacturing: A Framework and Review of Technology, Research, and Implementation Barriers for Enabling A Circular Economy Transition In Singapore". *Resources, conservation and recycling*, 151, 104438.
- Kirchherr, J. W., ve van Santen, R. (2019). "Research on The Circular Economy: A Critique of The Field". *Resources, Conservation and Recycling*, 151.
- Koçan, A., Gültekin G.ve Baştuğ, M. (2019). "Yeni Ekonomi ve İş Modelleri: Döngüsel Ekonomi ve Paylaşım Ekosistemleri", Uluslararası Ekonomi Araştırmaları ve Finansal Piyasalar Kongresi 7-8-9 Kasım, Gaziantep, Türkiye.
- Lehmann, C., Cruz-Jesus, F., Oliveira, T., ve Damásio, B. (2022). "Leveraging The Circular Economy: Investment and Innovation as Drivers". *Journal of cleaner production*, 360, 132146.
- MacArthur, E. (2013). "Towards The Circular Economy". *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 23-44.
- Mahmood, H. (2022). "Trade Openness, Industrialization, Urbanization and Pollution Emissions in GCC Countries: A Way Towards Green and Circular Economies". *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(2), 309-314.
- Mathiesen, B. V., Lund, H., Connolly, D., Wenzel, H., Østergaard, P. A., Möller, B., ve Hvelplund, F. K. (2015). "Smart Energy Systems for Coherent 100% Renewable Energy and Transport Solutions". *Applied energy*, 145, 139-154.
- McCarthy, A., R. Dellink and R. Bibas (2018), "The Macroeconomics of the Circular Economy Transition: A Critical Review of Modelling Approaches", *OECD Environment Working Papers*, No. 130, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/af983f9a-en>.
- Mishra, J. L., Chiwenga, K. D., ve Ali, K. (2021). "Collaboration as an Enabler for Circular Economy: A Case Study of a Developing Country". *Management Decision*, 59(8), 1784-1800.
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., ve Dewulf, J. (2019). "Circular Economy Indicators: What Do They Measure?". *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452-461.
- Mulvaney, D., Richards, R. M., Bazilian, M. D., Hensley, E., Clough, G., ve Sridhar, S. (2021). "Progress Towards A Circular Economy in Materials to Decarbonize Electricity and Mobility". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110604.
- Mutascu, M. (2018). "A Time-Frequency Analysis of Trade Openness And CO2 Emissions in France". *Energy policy*, 115, 443-455.
- Mutezo, G., ve Mulopo, J. (2021). "A Review of Africa's Transition from Fossil Fuels to Renewable Energy Using Circular Economy Principles". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110609.
- Ness, D. (2008). "Sustainable Urban Infrastructure in China: Towards a Factor 10 Improvement in Resource Productivity Through Integrated Infrastructure Systems". *The International Journal of Sustainable Development ve World Ecology*, 15(4), 288-301.
- 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, 130865.

Nunes, A. M. M., Coelho Junior, L. M., Abrahão, R., Santos Júnior, E. P., Simioni, F. J., Rotella Junior, P., ve Rocha, L. C. S. (2023). "Public Policies for Renewable Energy: A Review of the Perspectives for a Circular Economy". *Energies*, 16(1), 485.

OECD, (2022). Synergies and Trade-Offs in the Transition to A Resource-Efficient and Circular Economy, <https://www.oecd.org/publications/synergies-and-trade-offs-in-the-transition-to-a-resource-efficient-and-circular-economy-e8bb5c6e-en.htm> [Erişim Tarihi: 11 April 2023].

Olabi, A. G. (2019). "Circular Economy and Renewable Energy". *Energy*, 181, 450-454.

ÖZSOY, T., 2018, "Döngüsel Ekonomi: Almanya'daki Durumun Bir Özeti", *Global Journal of Economics and Business Studies*, 7 (14), s. 129-143.

Öztürk, İ. ve Acaravcı, A. (2010). "CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Turkey". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 3220-3225.

Pagoropoulos, A., Pigosso, D. C., ve McAloone, T. C. (2017). "The Emergent Role of Digital Technologies in the Circular Economy: A Review". *Procedia cirp*, 64, 19-24.

Rammelt, C., ve Crisp, P. (2014). "A Systems and Thermodynamics Perspective on Technology in the Circular Economy". *Real-world economics review*, 68, 25-40.

Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., ve Kendall, A. (2019). "A Taxonomy of Circular Economy Indicators". *Journal of Cleaner Production*, 207, 542-559.

Salas, D. A., Criollo, P., ve Ramirez, A. D. (2021). "The Role of Higher Education Institutions in The Implementation of Circular Economy in Latin America". *Sustainability*, 13(17), 9805.

Sarkis, J., ve Zhu, H. (2008). "Information Technology and Systems in China's Circular Economy: Implications for Sustainability". *Journal of Systems and Information Technology*, 10(3), 202-217.

Sawhney, A. (2021). "Striving Towards A Circular Economy: Climate Policy and Renewable Energy in India". *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23, 491-499.

Shafik, N. ve Bandyopadhyay, S. (1992). "Economic Growth and Environmental Quality: Time Series And Cross-Country Evidence". *The World Bank Policy Research, Working Paper*, 1- 50.

Shahbaz, M., Nasreen, S., Ahmed, K., ve Hammoudeh, S. (2017). "Trade Openness-Carbon Emissions Nexus: The Importance of Turning Points of Trade Openness for Country Panels". *Energy Economics*, 61, 221-232.

Shahzad, S. J. H., Kumar, R. R., Zakaria, M., ve Hurr, M. (2017). "Carbon Emission, Energy Consumption, Trade Openness and Financial Development in Pakistan: A Revisit". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 185-192

Sharma, S., Basu, S., Shetti, N. P., ve Aminabhavi, T. M. (2020). "Waste-to-Energy Nexus for Circular Economy and Environmental Protection: Recent Trends in Hydrogen Energy". *Science of the Total Environment*, 713, 136633.

Shi, Y., Hu, J., Shang, D. T., Liu, Z., ve Zhang, W. (2023). "Industrialisation, Ecologicalisation and Digitalisation (Ied): Building a Theoretical Framework for Sustainable Development". *Industrial Management ve Data ve System*, 1252-1277.

Shi, Y., Lu, C., Hou, H., Zhen, L. and Hu, J. (2021), "Linking Business Ecosystem and Natural Ecosystem Together: A Sustainable Pathway for Future Industrialisation", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 38.

Simon, B., Ziemann, S., ve Weil, M. (2015). "Potential Metal Requirement of Active Materials in Lithium-Ion Battery Cells of Electric Vehicles and Its Impact on Reserves: Focus on Europe". *Resources, conservation and recycling*, 104, 300-310.

Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G., ve Soto-Oñate, D. (2019). "Operational Principles of Circular Economy for Sustainable Development: Linking Theory and Practice". *Journal of cleaner production*, 214, 952-961.

- Tantau, A. D., Maassen, M. A., ve Fratila, L. (2018). "Models for Analyzing the Dependencies Between Indicators for A Circular Economy in the European Union". *Sustainability*, 10(7), 2141
- Trica, C. L., Banacu, C. S., ve Busu, M. (2019). "Environmental Factors and Sustainability of The Circular Economy Model at the European Union Level". *Sustainability*, 11(4), 1114
- Upadhyay, A., Mukhuty, S., Kumar, V., ve Kazancoglu, Y. (2021). "Blockchain Technology and The Circular Economy: Implications for Sustainability and Social Responsibility". *Journal of Cleaner Production*, 293, 126130.
- Yao, Y.; Ivanovski, K.; Inekwe, J.; Smyth, R. (2019). "Human Capital and Energy Consumption: Evidence from OECD Countries". *Energy Econ.*, 84, 104534
- Zhou, X., Song, M., ve Cui, L. (2020). "Driving Force for China's Economic Development Under Industry 4.0 and Circular Economy: Technological Innovation or Structural Change?". *Journal of Cleaner Production*, 271, 122680.

EXTENDED ABSTRACT
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET**TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY: ANALYSIS OF MACROECONOMIC,
ENVIRONMENTAL AND TECHNOLOGICAL DRIVERS IN EU27**

Introduction and Research Purpose: Global climate change and environmental degradation, which are among the main agenda items of the 21st century, are directing countries towards new strategies both national and global scales to achieve a balance between sustainability and economic growth. Many countries are changing their industrial strategy and focusing on the circular economy (CE) as an element of sustainable growth and development. CE is considered a prerequisite for a sustainable future with all its dimensions. It refers to a comprehensive transformation that supports the creation of an economic system that includes minimizing input, waste, emission and energy losses by slowing/constricting/closing resource and energy cycles, innovation, design, maintenance and repair, reuse and production, renewal and recycling. Furthermore, this transformation provides the power to increase welfare, employment and sustainability. With this understanding, a structure is being designed that changes both the production chain, pattern of trade and consumption patterns, aiming for economic growth without increasing resource consumption. In this regard, a frequently suggested solution is to transform the current linear economy into a more circular one. Determining the driving factors that the system based on the principle of efficiency needs is important for achieving this transformation. The research question addressed in the study is as follows: What are the macro-level potential economic, environmental, and technological driving forces of CE, and how do these driving forces affect the circular economy?

Literature Review: The concept of a CE is more suitable for applied research, however, it has been observed that studies related to the subject predominantly rely on theoretical approaches, creating circularity scales/indices and bibliometric analysis. This situation emphasizes the need to increase studies based on quantitative analysis in the literature. (For example, Tantau et.al., 2018; Busu and Trica, 2019; Trica et.al., 2019; Giannakitsidou et.al., 2020; Georgescu et.al., 2021; Hysa et.al., 2020; Lehmann et.al., 2022; Mahmood., 2022; Neves and Marques, 2022; Bianchi and Cordella, 2023). It is noteworthy that there is a shortage of empirical studies on the topic, especially at the macro-level, despite the increasing interest worldwide, particularly in China and the EU. In summary, it is apparent that CE is a relatively new concept that is based on different interpretations and measurements. The study also tries to fill the gap in the literature based on empirical results and macro-scale research.

Methodology and Findings: In the current study, the impact of trade openness, clean energy, industrialization, human capital, and technology on the CE, which can be considered as driving forces for the CE at the macro level, is analysed using dynamic panel data methods (two-stage GMM) in the EU27 countries between 2010-2021. According to the results, the one-period lag in the use of circularity rate has a positive and significant effect on its current values. This result also indicates that the ce data has a dynamic structure. Although the coefficients for industrial value-added usage (skd) and 'gsyih' are negative, they do not have a significant effect on 'do'. However, the trade openness (ta) and renewable energy usage (ye) negatively and significantly affect the circularity rate. 'Patent' data, as an indicator of technology development efforts, does not have a significant effect on ce. Increases in the 'ige' values significantly positively affect the circularity rate.

Conclusions and Recommendation: The global industrialization process giving more importance to environmental protection requirements and restrictions; supporting circular approaches in ecological requirements and production system design in the industrialization process will contribute to achieving balance. Nowadays, Industry 4.0 technologies such as artificial intelligence, big data, and the Internet of Things are accelerating industrialization through better efficiency and effectiveness. Therefore, a clear guide is needed that includes the compatibility and evolution of industrialization, sustainability, and digitalization in the transition to a CE. Therefore, policy efforts for circularity play an important role in building a solid foundation for a sustainable system transition. It is thought that a more CE will be achieved in two stages by 2030 and 2050 with measures including the revision of the EU emissions trading system, applying a carbon tax to producers outside the EU for the import of high-emission products under the carbon border tax, increasing the use of renewable energy, promoting sustainable fuels in air and sea transportation (carbon tax), and banning the sale of petrol and diesel cars within 20 years, as part of the Fit For 55, which includes comprehensive incentives such as those in the EU Green Deal, which are expected to create long-term benefits in post-Covid-19 recovery plans.

KATKI ORANI BEYANI VE ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ

Sorumlu Yazar <i>Responsible/Corresponding Author</i>	CANAN ŞENTÜRK			
Makalenin Başlığı <i>Title of Manuscript</i>	DÖNGÜSEL BİR EKONOMİYE DOĞRU: AB27'DE MAKROEKONOMİK, ÇEVRESEL VE TEKNOLOJİK ETKENLERİN ANALİZİ			
Tarih <i>Date</i>	22.08.2023			
Makalenin türü (Araştırma makalesi, Derleme vb.) <i>Manuscript Type (Research Article, Review etc.)</i>	Araştırma Makalesi			
Yazarların Listesi / List of Authors				
Sıra No	Adı-Soyadı <i>Name - Surname</i>	Katkı Oranı <i>Author Contributions</i>	Çıkar Çatışması <i>Conflicts of Interest</i>	Destek ve Teşekkür (Varsa) <i>Support and Acknowledgment</i>
1	CANAN ŞENTÜRK	%40	YOKTUR.	
2	AYKUT SEZGİN	%20	YOKTUR.	
3	ONUR DEMİREL	%20	YOKTUR.	
4	HAKAN DEMİRGİL	%20	YOKTUR.	
5				