



## Döngüsel Bir Ekonomide Kaynak Verimliliğini Hangi Faktörler Etkiler? Bir Panel Veri Regresyon Analizi\*

### Which Factors Drive The Resource Efficiency in Circular Economy? A Panel Data Regression Analysis

Gonca Yılmaz\*\*

#### Öz

Döngüsel ekonomi, kaynakları verimli kullanmak ve aynı zamanda kaynakları sürekli geri bildirim döngülerinde tutmak olarak açıklanabilir. Bu nedenle, ürünler ve/veya bileşenleri için yeni değer akışları bularak ve ürünleri mümkün olduğunca çok döngüye sokarak ürünlerin ömrünün uzatılabileceği anlamına gelmektedir. Döngüsel ekonomi çatısı altında kaynaklar daha verimli kullanılarak kaynak verimliliği esas alınmakta, atıkların ortaya çıkmaması için yeni bir ürün dizaynı sağlanmakta, oluşabilecek atıkların ise tekrar kullanımı ve üretime katılması noktasında yeni bir ekonomik model olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada kaynak verimliliği üzerinde etkili olan sosyal ve ekonomik değişkenlerin belirlenmesi ve istatistikî analizlerle ortaya konması döngüsel ekonominin işleyişi için önemlidir. Bu bağlamda çalışmanın ampirik aşamasında, bağımlı değişken olarak kaynak verimliliği, bağımsız değişkenler olarak da ekonomik büyümeyi temsilen kullanılan kişi başına düşen GSYİH, çevre vergilerinin GSYİH içindeki payı, Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı, belediye atıklarının geri dönüşüm oranı, enerji verimliliği değişkenleri 26 AB ülke grubu açısından dikkate alınmıştır. Veri seti yıllık olarak gözlenmiş olup verilerin ulaşılabilirliğine bağlı olarak 2001-2019 dönemini kapsamaktadır. Çalışmada yöntem olarak ülkeler ile ilgili modellemelerde sıkça kullanılan panel veri analizi kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, çevre vergileri, Ar-Ge harcamaları, belediye atıklarının geri dönüşümü ve enerji verimliliği değişkenlerine ait katsayıların anlamlı olduğu görülmekte ve bu değişkenlerin kaynak verimliliği üzerinde pozitif yönlü etkileri bulunmaktadır. GSYİH değişkeninin ise anlamlı olmadığı gözlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

Döngüsel Ekonomi, Kaynak Verimliliği, Atık, Geri Dönüşüm

#### Abstract

The circular economy can be defined as the efficient use of resources while keeping resources in continuous feedback loops. Therefore, the life of products can be extended by finding new value streams for products and/or their components and putting products into as many cycles as possible. Resources are used more efficiently under the umbrella of the circular economy; based on resource efficiency, a new product design is provided to prevent waste from occurring, and it appears as a new economic model in terms of reuse and participation in the production of waste that may occur. At this point, it is critical for the functioning of the circular economy to identify the social and economic variables that are effective on resource efficiency and to reveal them with statistical analysis. In this context, in the empirical phase of the study, resource efficiency is the dependent variable, GDP per capita is used to represent economic growth as the independent variable, the share of environmental taxes in GDP, the share of R&D expenditures in GDP, the recycling rate of municipal waste, energy efficiency variables 26 European Union (EU) countries taken into account in terms of a

\* Bu makale, yazarın Döngüsel ekonomiye geçişte kaynak verimliliği ve AB örneği adlı doktora tezinden üretilmiştir.

\*\* **Sorumlu Yazar:** Gonca Yılmaz (Doktora öğrencisi), İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye. E-Posta: gonca\_yilmaz@hotmail.com ORCID: 0000-0002-4763-0742

**Atf:** Yılmaz, G. (2023). Döngüsel bir ekonomide kaynak verimliliğini hangi faktörler etkiler? Bir panel veri regresyon analizi. *EKOIST Journal of Econometrics and Statistics*, 38, 19-34. <https://doi.org/10.26650/ekoist.2023.38.1106880>



country group. The data set has been observed annually and ranges from 2001 to 2019, depending on data availability. Panel data analysis, which is commonly used in country modeling, was used as a method in the study. According to the findings of this study, it was seen that the coefficients of environmental taxes, R&D expenditures, recycling of municipal waste, and energy efficiency variables are significant, and these variables have positive effects on resource efficiency. GDP variable has negative effects on resource efficiency.

**Keywords**

Circular Economy, Recycling, Resource Productivity, Waste

**Extended Summary**

Industrialization, the burning of fossil fuels, the unconscious use of resources, and the destruction of forests have resulted in the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere, and in the long run, climate change on a global scale and ultimately the climate crisis due to the greenhouse effect. It has revealed that the take-make-use-dispose linear economy shaped by today's production and consumption patterns can no longer meet the needs of modern society. The gradual exhaustion of unlimited resources has made access to raw materials incredibly hard, and rising environmental pollution and climate change have pushed countries to embark on a new quest. One of the new ways of searching is the circular economy as a sustainable production/consumption model. The circular economy operates differently from the linear economy in the traditional structure. By combining sustainability, resource efficiency, and life cycle, it emerges as a new production and consumption model. To overcome this situation, the circular economy has emerged as an alternative model to the traditional linear economy. It has revealed that the linear economy approach is dependent on resource exploitation and aims to separate economic growth from primary resource dependence in order to overcome this situation. The circular economy can be defined as the efficient use of resources while keeping resources in continuous feedback loops. Resource efficiency, which is about doing more with less, is addressed in a resource-efficient European roadmap report of the EU as 'improving economic performance while reducing pressure on natural resources (EC, 2011). Similarly, the United Nations (2010) defined resource efficiency as 'consuming less material and producing more welfare while respecting the world's ecological carrying capacity. As can be seen from these two definitions, it is emphasized that economic performance and welfare should be maintained with fewer natural resources, in other words, the implementation and realization of steps following the principle of resource efficiency.

In this context, in the empirical phase of the study, resource efficiency is the dependent variable, GDP per capita is used to represent economic growth as the independent variable, the share of environmental taxes in GDP, the share of R&D expenditures in GDP, the recycling rate of municipal waste, energy efficiency variables 26 European Union (EU) countries taken into account in terms of a country group. The data set has been observed annually and covers the period 2001-2019,

depending on the availability of the data. Panel data analysis, which is commonly used in country modeling, was used as a method in the study. According to the results obtained in the study, it is seen that the coefficients of environmental taxes, R&D expenditures, recycling of municipal waste, and energy efficiency variables are significant, and these variables have positive effects on resource efficiency. GDP variable has a negative impact on resource efficiency.

This is the first study in the literature to include resource efficiency as a dependent variable in the analysis of circular economy studies.

## Giriş

Sanayileşme ile birlikte fosil yakıtların yakılması, kaynakların bilinçsizce kullanılması, ormanların tahrip edilmesi gibi sonuçlar neticesinde, sera gazları atmosferde birikmiş ve uzun vadede sera etkisi yüzünden küresel ölçekte iklim değişikliğine ve sonuçta da iklim krizine sebep olmuştur. Yaşanan bu gelişmeler neticesinde günümüzün üretim ve tüketim kalıplarıyla şekillenen al-yap-kullan-at (take-make-use-dispose) doğrusal/lineer ekonomisinin modern toplumun ihtiyaçlarını daha fazla karşılayamayacağı sonucunu ortaya koymuştur (Yılmaz ve Algur, 2021). Sınırsız olarak kullanılan kaynakların giderek azalması, hammaddele erişimini gittikçe zorlaştırmış ve artan çevre kirliliği ve neticesinde meydana gelen iklim krizi ülkeleri yeni bir arayış yoluna itmiştir. Yeni arayış yollarından birisi de sürdürülebilir bir üretim/tüketim modeli olarak döngüsel ekonomidir. Döngüsel ekonomi geleneksel yapıda ele alınan doğrusal ekonomiden farklı bir işleyiş göstermektedir. Sürdürülebilirliği, kaynak verimliliğini, yaşam döngüsünü iç içe alarak yeni bir üretim ve tüketim modeli olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu amaçla döngüsel ekonomi, geleneksel olan doğrusal ekonomiye alternatif bir model olarak karşımıza çıkmakta ve doğrusal ekonomi anlayışının kaynak sömürüsüne bağlı olduğunu ve bu durumun üstesinden gelmek için ekonomik büyümeyi birincil kaynak bağımlılığından ayırmayı amaçlamaktadır.

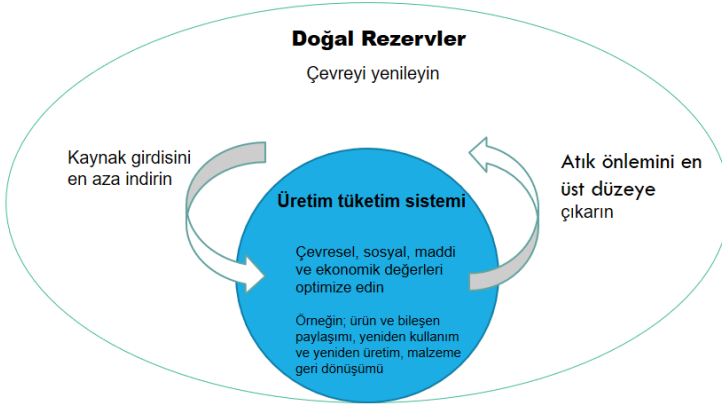
Döngüsel ekonomi, kaynakları verimli kullanmak ve aynı zamanda kaynakları sürekli geri bildirim döngülerinde tutmak olarak açıklanabilir. Bu nedenle, ürünler ve/veya bileşenleri için yeni değer akışları bularak ve ürünleri mümkün olduğunca çok döngüye sokarak ürünlerin ömrünün uzatılabileceği anlamına gelmektedir. Döngüsel ekonomi çatısı altında kaynaklar daha verimli kullanılarak kaynak verimliliği esas alınmakta, atıkların ortaya çıkmaması için yeni bir üretim dizaynı sağlanmakta, oluşabilecek atıkların ise tekrar kullanımı ve üretime katılması noktasında yeni bir ekonomik model olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu model üretim aşamasında oluşan her atığın tekrar değerlendirilerek üretime konulduğu ve oluşan hammadde maliyetinin minimize edildiği, kaynak verimliliğinin ise en üst düzeyde tutulduğu, sürdürülebilir bir modeldir. Bu noktada kaynak verimliliği üzerinde etkili olan sosyal ve ekonomik değişkenlerin belirlenmesi ve istatistiki analizlerle ortaya konması döngüsel ekonominin işleyişi için önemlidir. Döngüsel ekonomi çalışmalarında kısıtlı olarak yer alan kaynak verimliliği değişkenini bağımlı değişken olarak analize dahil eden bu çalışma literatürde ilk çalışma olmaktadır.

Bu bağlamda çalışmanın amacı, Avrupa Birliği üye ülkeleri için ele alınan kaynak verimliliği üzerinde hangi ekonomik ve sosyal değişkenlerin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığını araştırmaktır. Bu çerçevede araştırmanın ikinci kısmında döngüsel ekonomi ve kaynak verimliliği ilişkisine, üçüncü kısmında literatüre, dördüncü kısmında veri seti ve ampirik bulgulara yer verilecektir. Son kısımda ise çalışmanın çıktısı olarak elde edilen sonuçlar yorumlanacaktır.

## Döngüsel Ekonomi ve Kaynak Verimliliği

Döngüsel ekonomi, sürdürülebilirliğin de temel öncelikleri arasında sayılabilen; doğaya verilen zararın, atık ve kirliliğin en aza indirilmesi, biyoçeşitliliğin korunması ve çeşitlendirilmesi, üretim ve tüketim kalıplarının sürdürülebilir yenilikte olması, ürünlerin ve malzemelerin faydalı ömrünün uzatılması ve doğal sistemlerin yeniden oluşturulması öncüllerine dayanmaktadır.

Döngüsel bir ekonomide kaynak kullanımı, doğal kaynakların çıkarılması en aza indirilerek, atık önleme çalışmalarını en üst düzeye çıkararak ve malzemelerin, bileşenlerin ve ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çevresel, sosyal, maddi ve ekonomik değerleri optimize edilerek iyileştirilmektedir (Velenturf ve Purnell, 2021). Şekil 1’de bu yapı döngüsel bir ekonomide kaynak kullanımının işleyişi şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 1. Döngüsel Ekonomi İçerisinde Kaynak Kullanımı

Kaynak: Velenturf ve Purnell, 2021

Kaynak kullanımını çevre ve ekonomi perspektifinden ele alan döngüsel ekonomi yaklaşımı esas itibarıyla kaynak verimliliği hedefi taşımaktadır. Kaynak verimliliğinin en üst düzeyde tutularak yüksek katma değerli ürünlerin, malzemelerinin korunması ya da bu malzemelerin ikincil hammadde olarak ekonomiye tekrar geri kazandırılması yoluyla, birincil hammaddelere olan talebin azalması döngüsel ekonomi yaklaşımı ile mümkün olmaktadır (EEA, 2016, s.12).

Kaynak verimliliği, kaynak kullanımının neden olduğu çeşitli çevresel etkilerle yakından ilişkilidir ve kaynak verimliliğinin iyileştirilmesi, bir ülkenin ekonomik büyümesi ve çevresel gelişimi için büyük önem taşımaktadır (Lu ve Schandl, 2021; Pauliuk vd., 2021). Kaynak verimliliği, çevre üzerindeki etkileri en aza indirirken, Dünya'nın sınırlı kaynaklarını sürdürülebilir bir şekilde kullanmak ve daha azıyla daha fazlasını yaratmak ve daha az girdiyle daha fazla değer sunmak olarak

bilinmektedir. Kaynak verimliliği, malzeme kaybını önleme ve malzeme döngüsü yoluyla malzeme girdilerini en aza indirmeyi ve çıktıların en üst düzeyde ekonomik olmasını amaçlayarak, çevresel etkileri azaltmak noktasında çevrenin sınırlarına saygı göstermeyi hedeflemektedir.

Daha azıyla daha fazlasını yapmakla ilgili olan kaynak verimliliği örneğin, Avrupa Birliğinin (AB) kaynak verimli bir Avrupa yol haritası raporunda, “doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltırken ekonomik performansın iyileştirilmesi” olarak ele alınmıştır (EC,2011). Benzer bir ifadeyle Birleşmiş Milletler (2010) kaynak verimliliğini, “dünyanın ekolojik taşıma kapasitesine saygı gösterirken daha az malzeme tüketmek ve daha fazla refah üretmek” biçiminde tanımlamıştır. Bu iki tanımdan da anlaşılacağı üzere ekonomik performansın ve refahın devam etmesi ama bunu daha az doğal kaynakla daha fazlasını yapmak yani kaynak verimliliği ilkesine uygun adımlarla uygulamak ve gerçekleştirmek gerekliliği vurgulanmıştır.

Tarihsel süreçte kaynak verimliliği kavramına ilk kez dikkat çeken Malthus (1798) olmuştur. Malthus gıda kaynaklarının aritmetik olarak arttığını, nüfusun ise geometrik olarak arttığını ileri sürmüştür. Elbette o dönemde Malthus 21.yüzyılın dünyasında teknolojik yeniliklerin yeni gıda üretimlerinin ortaya çıkaracağını öngörememiştir ve veri teknoloji ile gıda kaynaklarının nüfus karşısında yetersiz kalacağını savunmuştur. Roma kulübünün ‘*Büyümenin Sınırları*’ raporunda ise; nüfus artışı, sanayileşme ve kaynak tüketiminin karşılıklı olarak birbirini güçlendirdiği ve doğal kaynakların hızla tükenmesine neden olduğu belirtilmiştir (Meadows et al. 1972). En ikna edici çözüm olarak kaynak verimliliğini ortaya koyan yayın yine Roma kulübü tarafından yayınlanan, ‘*Faktör Dört: Serveti İkiye Katlamak, Kaynak Kullanımını Yarıya İndirmek*’ raporunda ekonomik büyümenin ve kaynak kullanımının azaltımının mümkün olduğu ileri sürülmüştür. Bu çalışmalarda, işgücü verimliliğinden kaynak üretkenliğine odaklanılmasını ve daha az kaynak kullanımı, daha fazla istihdam ve daha fazla ekonomik çıktı içeren bir ekonomi tasavvur edilmesi belirtilmiştir (Von Weizsäcker et al. 2014).

Tarihsel süreçte çalışmalara, raporlara ve ekonomik çıktılara konu olan kaynak verimliliği zaman içerisinde de istatistiksel olarak analizlere dahil olmuştur. Bu hesaplama yönteminde, kaynak verimliliği, gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) yerli/yurtiçi malzeme tüketimine (DMC) bölünmesi ile ölçülürken, yerli malzeme tüketimi ise bir ekonomi tarafından doğrudan kullanılan toplam malzeme miktarını ölçmektedir:

$$\text{Kaynak verimliliği} = \text{GSYİH} \div \text{Yurtiçi Malzeme Tüketimi}$$

Bir diğer hesaplama yönteminde ise kaynak verimliliği, bir ekonominin yerli topraklarından yıllık olarak çıkarılan hammadde miktarı ve tüm fiziksel ithalatlardan tüm fiziksel ihracatların çıkarılması ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar

ekonomik büyüme ile doğal kaynakların kullanımı arasındaki ayrışmanın gerçekleşip gerçekleşmediğine dair fikirler vermekte ve bu fikirlere özellikle politika değerlendirmeleri içerisinde yaklaşan AB için sürdürülebilir kalkınmanın bir göstergesi olarak sayılmaktadır (Eurostat, 2016).

21 Aralık 2005'te Avrupa Komisyonu, Avrupa'da kullanılan doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımına ilişkin bir strateji önermiştir. Stratejinin amacı, kaynak kullanımıyla ilişkili çevresel etkileri azaltmak ve bunu büyüyen bir ekonomide yapmaktır. Kaynak kullanımının çevresel etkilerine odaklanmak, AB'nin sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmasına yardım etme noktasında belirleyici bir faktör olacağı yönündedir. Son yıllarda, küresel kaynak kullanım modelleri ve eğilimleri hakkındaki görüşler ve çalışmalar önemli ölçüde artmıştır (Behrens vd., 2015). Çalışmaların, raporların küresel ölçüde geliştirilmesine ve duyurulmasına katkı sağlayan Avrupa Komisyonu, döngüsel ekonomi hedefine varmak amacıyla kaynak verimliliğini desteklemektedir. Komisyon, döngüsel ekonomiyi destekleyici yatırımların önünü açabilmek adına;

- Kaynak Verimliliği Finans Kurulu (The Resource Efficiency Finance Roundtable) tarafından inovatif finansal araçlar yaratılması, şirketler için muhasebesel düzenlemeler yapılması, finansal kurumların sürdürülebilirlik sorumluluklarının netleştirilmesi, şirketler için kaynak verimliliği projelerine ilave finansman potansiyelinin araştırılması,
- Kamu ihale kanununda değişiklik yapılarak üye ülkelerin Yeşil Kamu Alımları (Green Public Procurement, GPP) konusunda rehberlik edilmesi ve desteklenmesi,
- AB finansmanına döngüsel ekonominin daha fazla entegre edilmesi ve üye devletlerin Avrupa Yapısal ve Yatırım Fonları (European Structural and Investment Funds) aracılığıyla döngüsel ekonomi ile ilgili projelerde AB finansmanının kullanımının teşvik edilmesi amaçlanmaktadır (European Commission, 2014).

## Literatür

Kaynak verimliliği ve verimlilik artışlarının ekonomik etkilerini araştırmak için kullanılan farklı üç ana model bulunmakla birlikte mühendislik, işletme, iktisat, ekonometri gibi alanlarda farklı modeller kullanılmaktadır. Bu modeller: hesaplanabilir genel denge (CGE) modelleri, sistem dinamiği modelleri ve ekonometrik modellerdir. Döngüsel ekonomi ve kaynak verimliliğine ilişkin ele alınacak çalışmalar şu şekildedir:

Trika, Banacu & Busu (2019), gerçekleştirmiş oldukları çalışmada AB düzeyinde döngüsel ekonominin sürdürülebilirliği ve çevresel faktörleri araştırmışlardır.

Çalışmada 2007-2016 yılları arasındaki veriler kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda döngüsel ekonomi faktörlerinin; kaynak verimliliği, ürünlerin geri dönüşüm oranı ve çevre koruma alanında hizmet veren çalışan oranının, büyüme üzerinde önemli pozitif bir etkisi olduğunu saptamışlardır.

Vuta vd. (2018), yapmış oldukları çalışmada AB ülkelerinde döngüsel ekonominin büyümeye etkisini araştırmışlardır. 2005-2016 yılları arasındaki veriler kullanılmış ve döngüsel ekonomiyle ilgili önlemlerin kaynak verimliliği ve büyüme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Değişkenler olarak kaynak verimliliği, gayri safi yurtiçi hasıla, belediye atıklarının geri dönüşüm oranı, ambalaj atık oranı, Ar-ge harcamaları, çevre vergisi kullanılmıştır. Döngüsel ekonomi modelinin toplumun sürdürülebilir kalkınması üzerindeki pozitif etkilerini saptamışlardır.

Ateş (2021), AB ülkeleri arasında yapılan döngüsel ekonomi kapsamında GSYİH ile geri dönüşüm ilişkisi çalışmasında panel veri yöntemiyle dirençli tahminci Prais-Winsten kullanmış, 2008-2017 yılları arasında 30 ülkeyi çalışmasına dâhil etmiştir. Sonuçlara göre plastik atıklarının ve eski otomobil aksanlarının geri dönüşüm oranlarının ekonomik büyümeyi olumsuz etkilediği, diğer bağımsız değişkenler olan elektronik, ambalaj, cam, metal, evsel ve odun atıklarının geri dönüşümlerinin ekonomik büyümeyi olumlu etkilediği görülmüştür.

AB ülkeleri arasında yapılan başka bir çalışmada Hysa vd. (2020), kişi başı GSYİH'nın bağımlı değişken, çevre vergisi gelirinin payı, evsel atıkların geri dönüşüm oranı, geri dönüşüm ile ilgili araştırma ve geliştirme harcamaları ve geri dönüşüme tabi olan ürünlerin ticaret verilerinin bağımsız değişken olduğu çalışmada panel veri analizi çalışması yapmıştır. Çalışmada ele alınan tüm değişkenlerin kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasılayı arttırdığı görülmüştür. Çalışmada döngüsel ekonomi ve ekonomik büyüme arasında güçlü ve pozitif bir korelasyon olduğu sonucuna varılmıştır.

Shah vd. (2020) tarafından 1978-2017 yılları arasındaki veriler alınarak bazı ülkeler için kaynak tüketimi ve verimlilik üzerinde yapılan çalışmada, kişi başı GSYİH'nın düşük olmasının çevre ve kaynak yönetimi için engel olduğu, sanayi sektöründe süreç yeniliği, hammadde ikamesi, malzeme kaybının azalması, yeniden yapılanma ve kaynak açısından tutumlu üretimlerin teşvik edilmesinin olumlu etkiler doğuracağını savunmuşlardır.

Çırak (2021) döngüsel ekonomi perpektifinden Almanın atık geri dönüşümü ve ekonomik büyüme üzerine yaptığı analizinde 2000-2018 dönemini ele almış, GSYH değişimi, ambalaj, kâğıt ve karton atıkları geri dönüşüm oranı değişkenlerini kullanmıştır. Analiz sonucuna göre, söz konusu değişkenler arasında nedensellik ilişkisinin olmadığını fakat uzun dönemde eş bütünleşik olduğu sonucuna varılmıştır.



Li, Dong vd. tarafından 1985-2007 yılları arasında Çin'inin döngüsel ekonomisi üzerine yaptıkları çalışmada, enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi analiz etmişler ve kişi başına düşen reel GSYİH ile enerji tüketimi arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, zaman içerisinde, kişi başına düşen reel GSYİH' deki yüzde 1'lik bir artış, enerji tüketimini yaklaşık yüzde 0,48-0,50 oranında artırmış ve bu nedenle karbondioksit emisyonlarını yaklaşık yüzde 0,41-0,43 oranında artırdığı gözlenmiştir (Li et al., 2011).

Avrupa döngüsel ekonomisindeki korelasyonlar adlı çalışmasıyla panel veri modelini kullanan Mihai vd (2018), 2007-2015 dönemini ele alarak Avrupa ülkeleri için enerji sektöründe döngüsel ekonomiye ilişkin makroekonomik göstergeleri ve yenilenebilir enerjinin payını hangi değişkenlerin etkilediğini 31 ülke için analiz etmişlerdir. Sonuçlara göre yenilenebilir enerji payı; işsizlik oranı, kişi başına düşen GSYİH ve gaz emisyonlarından etkilenir sonucuna ulaşılmıştır (Mihai vd. 2018).

İnovasyon yoluyla artan enerji ve kaynak verimliliğini inovasyon anketi verilerini kullanarak analiz eden Rennings and Rammer (2019), Almanya'da faaliyet gösteren firmalar üzerinde gerçekleştirdikleri anket çalışmasında enerji ve kaynak verimliliği yeniliklerinin firmaların hem ekonomik hem de çevresel performansı için kazan-kazan fırsatları olarak görülmüş ve firmaların ekonomik başarısına önemli ölçüde katkıda bulunduğu saptanmıştır. Çevresel yenilikler, hem ürünlerin çevresel kalitesinin iyileştirilmesine hem de ürün ve süreçlerin kaynak verimliliğinin artırılmasına katkı noktasında yorumlanmıştır.

Kaynak verimliliği ile ilgili simülasyon modeli oluşturulan bir çalışmada ise birden fazla ülkeden alınan veriler karşılaştırmış ve analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, kaynak verimliliğini etkileyen başlıca faktörlerin gelir düzeyi, nüfus yoğunluğu, ekonomik yapı, enerji yapısı ve hammadde ticareti olduğu ve bu faktörler arasında en önemli üç faktörün; gelir düzeyi, nüfus yoğunluğu ve ekonomik yapı olduğu belirlenmiştir (Gan vd. 2013).

### Veri, Yöntem ve Ampirik Bulgular

Bir veri setinin hem zaman boyutuyla hem de birim boyutuyla tanımlanması ile oluşan veri seti panel veri seti olarak tanımlanmaktadır ve bu biçimde oluşturulan veri setleri ile tahmin edilen modellere de panel veri modelleri olarak adlandırılmaktadır. Bir panel veri modeli genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir;

$$Y_{it} = \beta_{oit} + \beta_{1it} X_{it} + u_{it} \quad i=1,2,\dots,N \quad t=1,2,3,\dots,T \quad (1)$$

(1) no'lu gösterimde sunulan panel veri modelinde Y bağımlı değişken, X bağımsız değişken,  $\beta_{oit}$  sabit parametre,  $\beta_{1it}$  ise eğim parametresi ve  $u_{it}$  hata terimidir. Birden fazla bağımsız değişkene sahip  $k = 1,2,3 \dots K$  sayıda parametrelili panel veri modeli ise aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir:

$$Y_{it} = \beta_{1it} + \beta_{2it} X_{2t} + \dots + \beta_{kit} X_{kit} + u_{it} \quad (2)$$

Diğer taraftan birim ve zaman etkinin varlığı durumunda panel veri modeli aşağıdaki biçimde gösterilebilir

$$Y_{it} = (\beta + \mu_i + \lambda_t) + \sum_{k=2}^K \beta_{kit} X_{kit} + u_{it} \quad (3)$$

$$\beta_{1it} = \beta + \mu_i + \lambda_t \quad (4)$$

(3) no'lu modelde yer alan  $\mu_i$  birim etkinin varlığını ifade eden parametreyken,  $\lambda_t$  zaman etkisini gösteren parametredir. Bu parametrelerden hareketle  $\mu_i$  ve  $\lambda_t$  sabit ise *sabit etkiler modeli*, rassal (tesadüfi) ise *rassal etkiler modeli* olarak tanımlanmaktadır.

Panel veri modellerinde yukarıda bahsedilen farklıklar olduğu gibi tahmin yöntemleri arasında da bazı farklılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle modele uygun tahmin yönteminin seçilmesi son derece önemlidir. Panel veri modellerinin tahmininde kullanılan yöntemlerden birisi en küçük kareler yöntemidir. Bu temel yöntemin kullanılması durumunda klasik regresyon modellerinde geçerli olan ekonometrik varsayımların sağlanması beklenmektedir. Bu varsayımlardan bir ya da daha fazlasının yerine gelmemesi durumunda varsayımlardan sapma ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemin dışında uygunluk durumuna göre sabit etkiler modeli ya da rassal etkiler modeli dikkate alınmaktadır.

Araştırmanın ampirik aşamasında, bağımlı değişken olarak kaynak verimliliği, bağımsız değişkenler olarak da iktisadi büyüme (kişi başına düşen, %), çevre vergilerinin GSYİH içindeki payı (%), Ar-Ge harcamalarının GSYİH (%) içindeki payı, belediye atıklarının geri dönüşüm oranı (%), enerji verimliliğindeki değişim oranı (artış oranı %) değişkenleri 26 AB ülke grubu açısından dikkate alınmıştır.

AB ülke grubu olarak; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç çalışmaya dâhil edilmiş, Romanya ise veri eksikliğinden dolayı dahil edilmemiştir. Veri seti yıllık olarak gözlenmiş olup verilerin ulaşılabilirliğine bağlı olarak 2001-2019 dönemini kapsamaktadır. Değişkenlere ait tüm veriler Avrupa İstatistik Ofisi olan Eurostat veri tabanından elde edilmiştir. Araştırmada yöntem olarak ülkeler ile ilgili modellemelerde sıkça kullanılan panel veri analizi kullanılmıştır.

Tablo 1  
*Değişkenler ve Birim Değerleri*

Değişkenlerin Sembolleri	Değişkenler ve Birim Değerleri
Inkv	Kaynak verimliliği (Kilogram başına satın alma gücü standardının logaritması)
Gsyih	İktisadi büyüme (Kişi başına düşen, %)
Çevre vergisi	Çevre vergilerinin GSYİH içindeki payı (%)
Atık	Belediye atıklarının geri dönüşüm oranı (%)
Ar-Ge	Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı (%)
Enerji	Enerji verimliliği (Artış oranı, %)

Tahmin edilecek uygun modele karar verebilmek için ilk olarak birim ve/veya zaman etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Birim ve zaman etkisinin varlığının testi için kullanılan F ve LM sınamalarına ait sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2  
*F,LM, Testi Sonuçları (Birim Etki)*

	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
<b>F (25, 459):</b>	28.00	0.0000*
<b>Chi(5) X<sup>2</sup> :</b>	270.62	0.0000*

\* %5 anlamlılık düzeyinde temel hipotezin reddedildiğini ifade etmektedir.

Tablo 3  
*F, Testi Sonuçları (Zaman Etkisi)*

	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
<b>F (19, 491):</b>	13.85	0.000*

\* %5 anlamlılık düzeyinde temel hipotezin reddedildiğini ifade etmektedir.

Tablo 2’de sunulan F testi sonucuna göre klasik modelin dikkate alınamayacağı sabit etkili birim etkisinin varlığı belirlenmiş olup bu birim etkisinin sabit olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 2’de verilen LM testi sonuçlarına göre ise yine klasik modelin geçerli olmadığı ve birim etkisinin var olduğu anlaşılmaktadır. Bu birim etkisinin tesadüfi olduğu belirlenmiştir. Tablo 3’de sunulan F testi sonucuna göre ise zaman etkisinin varlığı anlaşılmaktadır.

Bu sonuçların elde edilmesinin ardından sabit etkili ve tesadüfi etkili modelin geçerli olup olmadığının sınanması amacıyla Hausman testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 4 ve Tablo 5’te sunulmuştur.

Tablo 4  
*Birim Etkisi İçin Hausman Testi Sonuçları*

	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
<b>Chi(5) X<sup>2</sup> :</b>	273.34	0.0000*

\* %5 anlamlılık düzeyinde temel hipotezin reddedildiğini ifade etmektedir.

Tablo 5

*Zaman Etkisi İçin Hausman Testi Sonuçları*

	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
<b>Chi(5) X<sup>2</sup> :</b>	161.88	0.000*

\* %5 anlamlılık düzeyinde temel hipotezin reddedildiğini ifade etmektedir.

Hausman testi sonuçlarını içeren Tablo 4 ve Tablo 5'deki sonuçlar incelendiğinde %5 anlamlılık düzeyinde tesadüfi etkiler tahmincisinin tutarsız olduğu, sabit etkiler tahmincisinin geçerli olduğuna karar verilmiştir.

Sabit etkiler modelinin geçerli model olduğunun belirlenmesinin ardından modele ait varsayımlardan sabit varyans varsayımı, otokorelasyonun varlığı ve birimler arası korelasyonun varlığı sınanmış ve sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6

*Wald, DW – LBI, Pesaran Testi Sonuçları*

	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
<b>Chi(26) X<sup>2</sup> :</b>	5421.27	0.0000*
<b>Durbin-Watson (DW):</b>	0.53	0.0000*
<b>Baltagi-Wu (LBI):</b>	0.64	0.0000*
<b>Pesaran:</b>	4.737	0.0000*

\* %5 anlamlılık düzeyinde temel hipotezin reddedildiğini ifade etmektedir.

İlk olarak sabit varyans varsayımının geçerli olup olmadığının sınanması için Değiştirilmiş Wald testi uygulanmıştır ve sabit etkiler modelinde değişen varyans sorununun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu modelde otokorelasyon sorunu olup olmadığı Bhargava, Franzini ve Narendranathan'ın Durbin Watson testi ile araştırılmıştır. Tablo 6'daki sonuçlardan hareketle Bhargava, Franzini ve Narendranathan'ın Durbin Watson testi ve Baltagi-Wu'nun yerel en iyi değişmez test değerinin 2'den küçük değerler alması nedeniyle modelde otokorelasyon sorunun olduğu anlaşılmıştır. Son olarak Pesaran'ın CD test istatistiği sonucu dikkate alındığında sıfır hipotezi olan birimler arası korelasyonun olmadığını ifade eden hipotez reddedilmektedir ve sabit etkiler modelinde birimler arası korelasyonun varlığı görülmüştür.

Sabit etkiler modelinde birimler arası korelasyonun varlığının, değişen varyans ve otokorelasyon sorunlarının belirlenmesi nedeniyle dirençli tahmin yöntemi olan Driscoll- Kraay yöntemi uygulanmıştır ve sabit etkiler model tahmin edilmiştir. Modele ait nihai sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7

*Driscoll-Kraay Standart Hatalı Test Sonuçları*

Değişkenler	Katsayı	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
<b>Atık</b>	0.00283	3.56	0.002*
<b>Vergi</b>	0.08509	2.61	0.018*
<b>Arge</b>	0.13204	8.83	0.000*
<b>Enerji</b>	0.10717	27.36	0.000*

\* %5 anlamlılık düzeyinde temel hipotezin reddedildiğini ifade etmektedir.

Tablo 7'deki model sonuçları incelendiğinde daha önceden modelde yer alan kişi başı GSYİH değişkeninin olmadığı görülmektedir. Bu değişken istatistiksel açıdan anlamlı bir değişken olmadığı için modelden dışlanmıştır ve kalan değişkenlerle tahmin edilen modele ait tahmin sonuçlarını içermektedir. Bu sonuçlara göre çevre vergileri, Ar-Ge harcamaları, belediye atıklarının geri dönüşümü ve enerji verimliliği değişkenlerine ait katsayıların %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir. Bu değişkenlerin kaynak verimliliği üzerinde pozitif yönlü etkileri bulunmaktadır. Belediye atıklarının geri dönüşümünde meydana gelecek yüzde 1'lik artış kaynak verimliliğini yüzde 0.002, çevre vergilerindeki yüzde 1'lik artış kaynak verimliliğini yüzde 0.085, Ar-Ge harcamalarındaki yüzde 1'lik artış kaynak verimliliğini yüzde 0.132 kadar arttırmaktadır. Son olarak enerji verimliliğindeki yüzde 1'lik artış kaynak verimliliğini yüzde 0.107 kadar arttırmaktadır. Bu sonuçlara göre kaynak verimliliği üzerinde en büyük etki Ar-Ge harcamalarına aitken, en küçük etki belediye atıklarının geri dönüşümüne aittir. Bu veriler ışığında, sürdürülebilir kalkınma çatısı altında ele alınan döngüsel ekonomi yaklaşımının önemli bileşenlerinden sayılan kaynak korunumu ve kaynak yönetimi için olmazsa olmaz olan kaynak verimliliğinin oldukça önemli olduğunu, atıkların geri dönüşümü, çevre vergileri, enerji verimliliği ve Ar-ge çalışmalarının kaynak verimliliği üzerinde pozitif etkisi olduğu görülmektedir.

Kaynak kullanımının çevresel ve ekonomik etkilerine odaklanmak, AB'nin sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmasına yardım etme noktasında belirleyici bir faktör olacağı yönündedir. Tüm canlılar için sağlıklı sürdürülebilir bir gelecek ancak sürdürülebilir bir gezegen ile mümkündür ve bu sadece insanların daha adil ve kaliteli yaşamları için değil, tüm canlılar için sağlıklı bir ekosistem, yaşanabilir bir iklim sağlamak olmalıdır (Çetin ve Yılmaz, 2021).

### Sonuç

Sürdürülebilirliği, kaynak verimliliğini, yaşam döngüsünü iç içe alarak yeni bir üretim ve tüketim modeli olarak bilinen döngüsel ekonomi modeli, geleneksel olan doğrusal ekonomiye alternatif bir model olarak ortaya çıkmış ve doğrusal ekonomi anlayışının kaynak sömürüsüne bağlı olduğunu ve bu durumun üstesinden gelmek için ekonomik büyümeyi birincil kaynak bağımlılığından ayırmayı amaçlamaktadır. Bu noktada kaynak verimliliğinin döngüsel bir ekonomi modeli için önemi ortaya çıkmış, kaynak verimliliği üzerinde etkili olan sosyal ve ekonomik değişkenlerin belirlenmesi ve istatistiki analizlerle ortaya konması döngüsel ekonominin işleyişi için ihtiyaç haline gelmiştir. Bu nedenle kaynak verimliliğinin önemine dikkat çekmek ve analizlere konu olması amacıyla, döngüsel bir ekonomide kaynak verimliliğini temel unsur olarak kabul edip, bağımlı değişken olarak analize dahil eden ve panel regresyon modelini kullanan bu çalışma literatürdeki ilk çalışma olmaktadır.

Avrupa Birliği (AB) üye ülkeleri için ele alınan kaynak verimliliği üzerinde hangi ekonomik ve sosyal değişkenlerin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığını araştıran bu çalışmada, bağımlı değişken olarak kaynak verimliliği, bağımsız değişkenler olarak da ekonomik büyüme yi temsilen kullanılan kişi başına düşen GSYİH, çevre vergilerinin GSYİH içindeki payı, Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı, belediye atıklarının geri dönüşüm oranı, enerji verimliliği değişkenleri, 26 AB ülke grubu açısından dikkate alınmıştır. Veri seti yıllık olarak gözlenmiş olup verilerin ulaşılabilirliğine bağlı olarak 2001-2019 dönemini kapsamıştır ve çalışmada yöntem olarak ülkeler ile ilgili modellemelerde sıkça kullanılan panel veri analizi kullanılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, çevre vergileri, Ar-Ge harcamaları, belediye atıklarının geri dönüşümü ve enerji verimliliği değişkenlerine ait katsayıların anlamlı olduğu görülmüş ve bu değişkenlerin kaynak verimliliği üzerinde pozitif yönlü etkileri bulunmuştur. GSYİH değişkeninin ise anlamlı olduğu görülmemiş ve modelden dışlanmıştır. Bu veriler ışığında, sürdürülebilir kalkınma çatısı altında ele alınan döngüsel ekonomi yaklaşımının önemli bileşenlerinden sayılan kaynak korunumu ve kaynak yönetimi için olmazsa olmaz olan kaynak verimliliğinin oldukça önemli olduğunu, atıkların geri dönüşümü, çevre vergileri, enerji verimliliği ve Ar-ge çalışmalarının kaynak verimliliği üzerinde pozitif etkisi olduğu görülmektedir. Çevresel performansı iyileştirmek ve kaynak verimliliğini en üst düzeyde tutabilecek Ar-ge çalışmaları tasarım aşamaları için bir fırsat niteliğindedir. Kaynakları tekrar döngüde tutabilecek yeni uygulamalar, yenilik çalışmaları eko-etkin tasarımlar, yeşil tasarımlar döngüsel ekonomi için oldukça önemlidir. AB üye ülkelerinin Ar-ge çalışmalarının döngüsel ekonomi ve kaynak verimliliği üzerinde pozitif katkısının olması, döngüsel hedefler ve kaynak verimliliği için ayrılan fonlara, yeni projelere ve teşviklere bağlı olduğu söylenebilmektedir. Döngüsel ekonominin üzerinde ağırlıklı durduğu bir alan atık yönetimi için farklı bir yaklaşımın gerçekleşmesi gerektiği yani atığı meydana getirmeyecek bir tasarım anlayışının olması gerekliliği burada önemlidir. Bu yüzden atıklar ve geri dönüşümün kaynak verimliliği üzerinde katkı sağladığı açıktır ve kaynak verimliliği üzerinde pozitif etkisi bulunmaktadır.

Dışsal etki olarak da ele alınan dışsal maliyetlerin çözümünde vergi politikaları gibi çözüm önerilerinden faydalanılmaktadır. Örneğin, ürün atık miktarının üzerinden vergilendirme kaynakların daha etkin ve verimli kullanımı aynı zamanda atık yönetimi için teşvik edici olmakta, uygulanan vergiler ile maliyetler azaltılabilmektedir. Ayrıca elde edilen vergi gelirleri de devlet bütçesine kaynak olarak tahsis edilebilmektedir. Bu bağlamda çevre vergilerinin döngüsel bir ekonomi içerisinde kaynak verimliliği üzerinde katkısı anlamlı ve pozitifdir. Buna rağmen atıkların hiç meydana gelmemesi, tasarım aşamasında ürünlerin kapalı döngüye uygun tasarımı döngüsel ekonominin özellikle üzerinde durduğu konudur ve nihai hedefidir.

Sonuç olarak, kaynakların da etkin ve verimli kullanarak yaşam döngüsü içerisinde kalmasını sağlayan döngüsel ekonomi yaklaşımı için daha etkin bir kaynak verimliliği yol haritası oluşturulması önemlidir. Önemli sayıda AB ülkesinin yol haritası olarak açıkladığı raporlar oldukça önemlidir fakat hala bu çözümler yeterli değildir. Yasal çerçevede çevresel ve atık düzenlemeleri, farkındalık yaratacak projeler, döngüsel ekonomiye geçişi hızlandıracak fonlar ve yatırımlar, Ar-ge harcamaları için ayrılan destekleyici fonlar, belediyelerin katılımcı etkin çözümleri önemli çözüm yolları olacaktır.

---

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Çıkar Çatışması:** Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

**Finansal Destek:** Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Conflict of Interest:** The author have no conflict of interest to declare.

**Grant Support:** The author declared that this study has received no financial support.

---

## Kaynakça/References

- Ateş, E. (2021). Döngüsel Ekonomi Kapsamında GSYİH ile Geri Dönüşüm İlişkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (67), 125-137.
- Behrens, A., Taranic, I., & Rizos, V. (2015). Resource Efficiency Indicators for Policy-Making. CEPS.
- Çetin, M., & Yılmaz, G. (2021). Pandemilerin Sürekliliği Tehlikesine Karşı Döngüsel Ekonomi İhtiyacı. *Journal of Economic Policy Researches*, 8(2), 225-255.
- Çırak, A. N. (2021). Almanya Özelinde Döngüsel Ekonomi Perspektifinden Gsyih Ve Geri Dönüşüm İlişkisi: Zaman Serileri Analizi. 19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi, 2(4), 816-836.
- European Commission (EC). (2011). Roadmap to a resource efficient Europe. COM(2011)571 Final Eurostat, 2016. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Resource\\_productivity\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Resource_productivity_statistics)
- European Environment Agency (EEA). (2016). EEA Report. Circular Economy in Europe: Developing the knowledge base. <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>.
- Gan, Y., Zhang, T., Liang, S., Zhao, Z., & Li, N. (2013). How to deal with resource productivity: Relationships between socioeconomic factors and resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 17(3), 440-451.
- Li, X., Deng, B., & Ye, H. (2011). The Research Based on the 3-R Principle of Agro-circular Economy Model-The Erhai Lake Basin as an Example; *Energy Procedia*, 5, 2011, 1399-1404.
- Lu, Y., & Schandl, H. (2021). Do sectoral material efficiency improvements add up to greenhouse gas emissions reduction on an economy-wide level?. *Journal of Industrial Ecology*, 25(2), 523-536.
- Malthus, T. R. (1798). On population.
- Mihai, M., Manea, D., Titan, E., & Vasile, V. (2018). Correlations in the european circular economy. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 52(4), 61-78.
- Meadows, D. H., Meadows, D. H., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). The limits to growth: a report to the club of Rome (1972). *Google Scholar*, 91.

- Pauliuk, S., Heeren, N., Berrill, P., Fishman, T., Nistad, A., Tu, Q., ... & Hertwich, E. G. (2021). Global scenarios of resource and emission savings from material efficiency in residential buildings and cars. *Nature communications*, 12(1), 1-10.
- Rennings, K., & Rammer, C. (2009). Increasing energy and resource efficiency through innovation—an explorative analysis using innovation survey data. ZEW-Centre for European Economic Research Discussion, (09-056).
- Trica, C. L., Banacu, C. S., & Busu, M. (2019). Environmental factors and sustainability of the circular economy model at the European Union level. *Sustainability*, 11(4), 1114.
- Velenturf, A. P., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457.
- Yılmaz, G., & Algur, H. (2021). Sürdürülebilir Kaynak Yönetiminin Değerlendirilmesinde Döngüsel Yaşam Örneği: Findhorn Ekoköy'ü. *Social Sciences Research Journal*, 10(1), 174-184.
- Vuță, M., Vuță, M., Enciu, A., & Cioacă, S. I. (2018). Assessment of the circular economy's impact in the EU economic growth. *Amfiteatru Economic*, 20(48), 248-261.
- Weizsäcker, E. U. V., Lovins, A. B., & Lovins, L. H. (2014). Factor Four: Doubling Wealth—Halving Resource Use: A New Report to the Club of Rome. In Ernst Ulrich von Weizsäcker. Springer, Cham. 127-141.