

G-20 Ülkelerinde CO₂ Emisyonu, Ekonomik Büyüme, Kentleşme ve Yenilenebilir Enerji Tüketimi İlişkisi

Relationship Between CO₂ Emissions, Economic Growth, Urbanization and Renewable Energy Consumption in G-20 Countries

 Neslihan AKIN ÖZDEMİR¹

Özet

Sera gazı emisyonlarının küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi insan sağlığı ve çevre açısından ciddi tehdit oluşturan olaylara sebebiyet vermesi ülkeleri, sera gazı emisyonlarının büyük bir bölümünü oluşturan CO₂ emisyonlarının azaltmak için önlemler almaya yönlendirmiştir. Mevcut çalışmada; kişi başı CO₂ emisyonu, kişi başı gayri safi yurtiçi hâsıla, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkinin G-20 ülkeleri için 2020 verileri kullanılarak Robust Regresyon Analizi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Analizde CO₂ emisyonu bağımlı değişken; kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla, kentsel nüfus oranı ve yenilenebilir enerji tüketimini ise bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Robust regresyon analizi sonucuna göre Kanada ve Brezilya'nın aykırı gözlem olduğu tespit edilmiştir. Kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki pozitif iken; yenilenebilir enerji tüketimi ve kentsel nüfus oranının ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki negatif yönlü olarak tespit edilmiştir. Tüm bu bağımsız değişkenler %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: CO₂ Emisyonu, Ekonomik Büyüme, Kentleşme, Robust Regresyon, Yenilenebilir Enerji

Abstract

The fact that greenhouse gas emissions cause events that pose serious threats to human health and the environment, such as global warming and climate change, has led countries to take measures to reduce CO₂ emissions, which constitute a large part of greenhouse gas emissions. In the current study; It is aimed to determine the relationship between CO₂ emissions per capita, gross domestic product per capita, urbanization and renewable energy consumption by Robust Regression Analysis using 2020 data for G-20 countries. CO₂ emission was used as dependent variable; Gross domestic product per capita, urban population rate and renewable energy consumption were used as independent variables in the analysis. According to the results of robust regression analysis, Canada and Brazil were found to be outliers. While the relationship between gross domestic product per capita and CO₂ emissions is positive; The relationship between renewable energy consumption and urban population rate and CO₂ emissions has been determined to be negative. All these independent variables were found to be statistically significant at the 5% significance level.

Keywords: CO₂ Emissions, Economic Growth, Renewable Energy, Robust Regression, Urbanization

1. Giriş

Sanayileşmenin yol açtığı yüksek ekonomik büyüme oranları sera gazı emisyonlarının (GHG) artmasına neden olmaktadır. Bu emisyonlar, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi insan sağlığı ve çevre açısından ciddi tehdit oluşturan doğal olaylara yol açmaktadır. Bu nedenle ülkeler, sera gazı emisyonlarının büyük bir bölümünü oluşturan CO₂ emisyonlarını azaltmak için politikalar üretmektedir (Pata, 2018). Hangi faktörlerin CO₂ emisyonları üzerinde etkisi olduğunun belirlenmesi her ülke için CO₂ azaltım önlemlerinin, politikalarının ve stratejilerinin oluşturulmasını doğrudan etkileyeceği için büyük öneme sahiptir (Fan ve ark., 2006).

Enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları, sanayileşmiş ülkelere kıyasla 1990'lı yıllardan bu yana yeni sanayileşmiş ülkelerde önemli ölçüde artmıştır. Çevre kalitesindeki bozulmanın endişe verici boyutlara ulaşması çevresel bozulmanın ardındaki nedenleri ve bunun ekonomik büyüme ile ilişkisini anlamak son yıllarda giderek önem kazanmıştır (Kasman ve Duman, 2015). Yapılan çalışmaların çoğu GSYİH'nın CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi bağlamında analiz etmeye (Sun ve ark., 2022; Li ve Haneklous, 2021; Gierałtowska ve ark., 2022) odaklanmıştır. EKC kavramı, ekonomik büyümenin ilk aşamalarındaki ekonomilerin öncelikle sanayi sektörüne odaklandığını göstermiştir. Katı çevre düzenlemelerinin yokluğunda, ekonomiler CO₂ emisyonlarında bir artışla karşı karşıya kalacaktır. Ancak belli bir süre sonra ekonomiler ekonomik büyüme merdivenini tırmandığında sanayi sektöründen hizmet sektörüne geçiş yapmakta, daha temiz enerjileri teşvik etmekte ve sıkı çevre düzenlemeleri uygulamaktadırlar (Sun ve ark., 2022).

CO₂ emisyonları üzerinde etkisi olan bir diğer faktör kentleşmedir. Kentleşme sosyal ve ekonomik bir dönüşüm sürecidir. Bu sadece kırsal kesimden kentlere nüfus kayması değil, aynı zamanda tarıma dayalı ekonominin sanayiye dayalı ekonomiye sistematik dönüşümüdür. Daha yüksek kentleşme, daha yüksek ekonomik faaliyetle ilişkilidir. Ülkeler gelişmeye başladıkça insanların kentsel alanlara taşınmayı düşünecekleri konusunda bir görüş mevcuttur. Yüksek ekonomik faaliyetin neden olduğu zenginlik varlıklı sakinleri karbondioksit emisyonlarını artıracak enerji yoğun ürünler (örn. otomobiller, klimalar vb.) kullanımına yönlendirebilir. Zengin sakinlerin çevreye daha fazla önem vermeleri de muhtemeldir. Artan kentleşme aynı zamanda teknolojik yenilikler, yani üretime dayalı ekonomilerden bilgi ve hizmete dayalı ekonomilere geçiş, çevresel düzenlemelerde ayarlamalar ve elektrik dahil enerji dağıtımından kaynaklanan atıkların azaltılması yoluyla

emisyolları azaltabilir. Dolayısıyla kentleşmenin çevre kalitesi üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olabilmektedir. (Muhammad ve ark., 2020; Sadorsky, 2014; Shahnazi ve Shabani, 2021.; Mahmood ve ark., 2020).

CO₂ emisyonları üzerinde etkisi olan bir diğerk faktör yenilenebilir enerjidir. İklim değışikliğine ilişkin artan endişeler yenilenebilir enerjiyi (hidroelektrik, rüzgar, güneş, biyokütle ve jeotermal) önemli bir araştırma konusu haline getirmiştir. Yenilenebilir enerjinin çevreye ve halk sağlığına zarar vermemesi nedeniyle önemli bir enerji kaynağı olduğu bilinmektedir. Bu enerji türü, bir ülkenin fosil yakıtlara bağımlılığını azaltarak enerji güvenliğini artırabilen sürekli bir kaynaktır (Al-Mulali ve ark., 2015). Ayrıca yenilenebilir enerji alternatiflerinin kullanılması ekonomilerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına yardımcı olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen nedenlerle çalışmanın problemleri şu şekilde belirlenmiştir:

- Türkiye'nin de içinde yer aldığı G-20 ülkeleri için gelir, yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkileri nelerdir?
- Bahsedilen faktörlerden hangileri CO₂ emisyonunu etkilemektedir? CO₂ emisyonunu arttıran faktörler mevcut ise bu faktörlere yönelik olarak nasıl bir politika izlenmesi gerekmektedir?

Mevcut çalışmanın amacı; kişi başı CO₂ emisyonu, kişi başı gayri safi yurtiçi hâsıla, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkinin G-20 (Türkiye, ABD, Almanya, Arjantin, Avustralya, Brezilya, Birleşik Krallık, Çin, Endonezya, Fransa, Güney Afrika, Güney Kore, Hindistan, İtalya, Japonya, Kanada, Meksika, Rusya ve Suudi Arabistan) ülkeleri için 2020 verileri kullanılarak Robust Regresyon Analizi ile belirlenmesidir.

2. Literatür

Shafiei ve Salim (2014) çalışmasında OECD ülkeleri için 1980-2011 verileri kullanarak STIRPAT modeli ile CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini tespit edilmeye çalışılmıştır. Ampirik sonuçlar, yenilenemeyen enerjinin tüketimi CO₂ emisyonunu artırırken, yenilenebilir enerji tüketiminin ise CO₂ emisyonunu azalttığını göstermiştir. Sonuçlar ayrıca toplam nüfus büyüklüğünün, kişi başına düşen GSYİH'nın, sanayileşmenin ve kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerinde olumlu ve anlamlı etkileri olduğunu ortaya koymuştur.

Sun ve ark. (2022) çalışmalarında 1991-2019 dönemi için MENA bölgesinde yenilenebilir enerji tüketimi, kentleşme, ekonomik büyüme ve karbon emisyonları (CE)

arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Bu çalışmada, uzun vadede Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, hızlı kentleşme ve ekonomik büyüme daha yüksek CE'ye katkıda bulunurken, yenilenebilir enerji tüketiminin CE'yi azaltmak için en uygun çözüm olduğu görülmüştür.

Li ve Haneklous (2021) çalışmalarında, yenilenebilir enerji, fosil yakıt tüketimi, ekonomik büyüme, kentleşme ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi Çin özelinde, 1990-2020 dönemi için Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi altında Otoresif Dağıtılmış Gecikme (ARDL) modeli aracılığıyla araştırmışlardır. Bulgular, hem uzun hem de kısa vadede CO₂ emisyonları ile kişi başına düşen GSYİH arasında ters U şeklinde bir ilişkinin varlığını güçlü bir şekilde desteklemiştir. Kişi başına fosil yakıt tüketimindeki %1'lik artışın uzun vadede kişi başına CO₂ emisyonunu %0,235 artırdığı tespit edilmiştir. Kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi ile kişi başına CO₂ emisyonunu arasındaki ilişki uzun vadede negatif iken kısa vadede ise pozitif olarak tespit edilmiştir.

Gierałtowska ve ark. (2022) çalışmalarında 2000-2016 dönemi için 163 ülkeyi kapsayan veri seti için sabit etkiler regresyonu ve iki aşamalı genelleştirilmiş momentler yöntemi (GMM) kullanılmıştır. Çalışmada yenilenebilir enerji, kentleşme ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişki test etmişlerdir. Ampirik sonuçlar, kentleşmenin CO₂ emisyonları ile ters U şeklinde bir ilişkiye sahip olduğunu, yenilenebilir enerji tüketiminin ise CO₂ emisyonlarını azalttığını göstermiştir. Sonuçlar ayrıca Çevresel Kuznets Eğrisinin geçerliliğini doğrulamıştır.

Anwar ve ark. (2022) çalışmalarında 1990-2014 dönemi için 15 Asya ekonomisinde kentleşmenin, yenilenebilir enerji tüketiminin, finansal kalkınmanın, tarımın ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ampirik kanıtlar kentleşmenin, finansal gelişmenin ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarını artırdığını, yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını azalttığını ve tarımın etkisinin önemsiz olduğunu göstermiştir.

Yazdi ve Shakouri (2018) çalışmasında, kentleşme, yenilenebilir enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları arasındaki uzun vadeli denge ilişkilerini ve nedensel ilişkileri ampirik olarak araştırmıştır. 1992–2014 dönemi için Dinamik Sıradan En Küçük Kareler (DOLS) ve Tamamen Değiştirilmiş Sıradan En Küçük Kareler (FMOLS) yaklaşımları kullanılmıştır. Granger nedensellik sonuçları, CO₂ emisyonlarından kentleşmeye doğru tek yönlü bir ilişkinin olduğunu, yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasında nedenselliğin bulunmadığını göstermiştir.

Koengkan ve ark. (2020) çalışmalarında karbondioksit emisyonları, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve kentleşme arasındaki nedensellikler, Arjantin, Brezilya, Paraguay, Uruguay ve Venezuela için araştırmışlardır. 1980-2014 dönemi için panel vektör otoregresyonun kullanıldığı çalışmada fosil yakıt tüketimi, ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonları arasında çift yönlü nedenselliğin varlığı tespit edilirken; yenilenebilir enerji tüketimi ile kentleşme arasında tek yönlü bir ilişki belirlenmiştir.

Sharma (2011) çalışmasında, dinamik panel veri modelini kullanarak 69 ülkeden oluşan küresel bir panel için karbondioksit emisyonlarının belirleyicilerini araştırmıştır. Ülkeler gelir seviyelerine göre yüksek gelir, orta gelir ve düşük gelir olarak gruplandırılmıştır. 1985–2005 dönemini kapsayan çalışmada ticari açıklığın, kişi başına düşen GSYİH'nın ve kişi başına elektrik enerjisi tüketiminin CO₂ emisyonları üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Kentleşmenin yüksek gelir, orta gelir ve düşük gelir panellerinde CO₂ emisyonları üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur.

Shahbaz ve ark. (2016) çalışmalarında kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini, 1970Q1–2011Q4 döneminde Malezya örneğinde STIRPAT modelini uygulayarak araştırmışlardır. Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi VECM Granger nedensellik testi uygulanarak araştırılmaktadır. Ampirik sonuçlar, ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarına önemli bir katkı sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca enerji tüketiminin emisyon yoğunluğunu arttırdığı, sermaye stoğunun ise enerji tüketimini arttırdığı tespit edilmiştir. Kentleşme ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkinin U şeklinde olduğu, yani kentleşmenin başlangıçta CO₂ emisyonlarını azalttığını, ancak bir eşik seviyesinden sonra CO₂ emisyonlarını artırdığı belirtilmiştir. Nedensellik analizi kentleşmesinin CO₂ emisyonlarının Granger nedeni olduğunu göstermiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı ülke ya da ülke gruplarına yönelik olarak yenilenebilir enerji, kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla ve kentleşme ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkileri belirlemeye yönelik olarak farklı dönemler ve farklı yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar bulunmasına rağmen literatürde Türkiye'nin de içinde yer aldığı G-20 ülkelerini içine alan yenilenebilir enerji, kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla ve kentleşmeyle CO₂ emisyonu arasındaki ilişkileri belirlemek için Robust Regresyon analizinin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Mevcut çalışmanın bu yönleri ile literatürdeki boşluğu doldurması ve literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

3. Yöntem

Olağan en küçük kareler yöntemi regresyon çözümlemesinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin kullanılabilmesi artıkların; normal dağılması, varyansının sabit olması ve otokorelasyonsuz olması gibi çeşitli varsayımlar gerektirir. Aykırı değerler, artıkların normal dağılmamasına, varyansın homojen olmamasına ve aralık tahminlerinin geniş bir aralığa sahip olmasına neden olabilmektedir (Prahutama ve Rusgiyono, 2020: 2). Robust regresyonun temel amacı aykırı değerlerin varlığında dirençli (kararlı) sonuçlar sağlamaktır. Bu istikrarı sağlamak için robust regresyon aykırı değerlerin etkisini sınırlandırır (Chen, 2002).

Robust regresyon tahminçileri yüksek kırılma noktalı tahminçiler, yüksek etkinlik tahminçileri ve çoklu özellik tahmin edicileri (etkin ve yüksek kırılma tahmin ediciler) olarak üç kategoriye ayrılabilirler (Gad ve Qura, 2016). Kırılma noktası, tahmini tamamen bozacak aykırı değerlerin minimum oranını gösterirken; etki fonksiyonu ise bir tahmincinin aykırı gözlemlere karşı gösterdiği tepkidir. MM tahminçileri hem yüksek kırılma noktasına hem de yüksek etkinliğe sahip tahminçilerdir (Lopuhaa ve Rousseeuw, 1991; Yorulmaz, 2016).

$$\sum_{i=1}^n p_1'(u_i) X_{ij} = 0 \text{ ya da } \sum_{i=1}^n p_1'\left(\frac{Y_i - \sum_{j=0}^k X_{ij}\hat{\beta}_j}{S_{MM}}\right) X_{ij} = 0$$

MM tahminçisi, S_{MM} 'nin S tahmininin artığından elde edilen standart sapma olduğu çözümdür ve ρ Tukey'in biweight fonksiyonudur:

$$p(u_i) = \begin{cases} \frac{u_i^2}{2} + \frac{u_i^4}{2c^2} + \frac{u_i^6}{6c^2} & , -c \leq u_i \leq c \\ \frac{c^2}{6} & , u_i < -c \text{ ya da } u_i > c \end{cases}$$

Algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir:

1. OLS kullanılarak verilerdeki regresyon katsayıları tahmin edilir.
2. Klasik regresyon modelinin varsayımları test edilir
3. Verilerdeki aykırı değerler tespit edilir.
4. S tahmininin artık değeri $e_i = y_i - \hat{y}_i$ hesaplanır.
5. $\hat{\sigma}_i$ değeri hesaplanır. $\hat{\sigma}_i = \hat{\sigma}_{sn}$
6. u_i değeri $u_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}_i}$ hesaplanır.
7. Ağırlıklandırılmış değer hesaplanır.

$$w_i = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{u_i}{4.685}\right)^2\right]^2, & |u_i| \leq 4.685 \\ 0, & |u_i| > 4.685 \end{cases}$$

8. Ağırlıklı değer w_i ile WLS yöntemini kullanarak $\hat{\beta}_M M$ hesaplanır.
9. $\hat{\beta}_M M$ 'nin yakınsak değerini elde etmek için 5-8 arasındaki adımlar tekrarlanır.
10. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerinde anlamlı etkisinin olup olmadığını belirlemek için test yapılır (Susanti ve ark., 2014).

4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmanın temel amacı, kişi başı CO₂ emisyonu, kişi başı gayri safi yurtiçi hâsıla, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkinin G-20 ülkeleri için Robust Regresyon Analizi ile belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak çalışmada kullanılan değişkenler Tablo 1’de yer almaktadır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan değişkenler

Değişken		
Carb	Kişi başına CO ₂ emisyonu (metrik ton)	Dünya Bankası
Gdp	Kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla (Euro)	Dünya Bankası
Urban	Kentsel nüfus oranı (toplam nüfusun yüzdesi)	Dünya Bankası
Energy	Yenilenebilir enerji tüketimi (toplam nihai enerji tüketiminin yüzdesi)	Dünya Bankası

Robust Regresyon Analizinde CO₂ emisyonunun bağımlı; kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla, Kentsel nüfus oranı ve Yenilenebilir enerji tüketiminin bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Regresyon denklemleri katsayıları MM tahmincisi ile elde edilmiştir. İlgili literatür incelemesine dayanarak, çalışmanın temel modeli aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

$$carb = \beta_0 + \beta_1 gdp + \beta_2 urban + \beta_3 energy + \varepsilon$$

Elde edilen sonuçlara aşağıda yer verilmiştir:

Çizelge 2. Robust regresyon analizi sonuçları

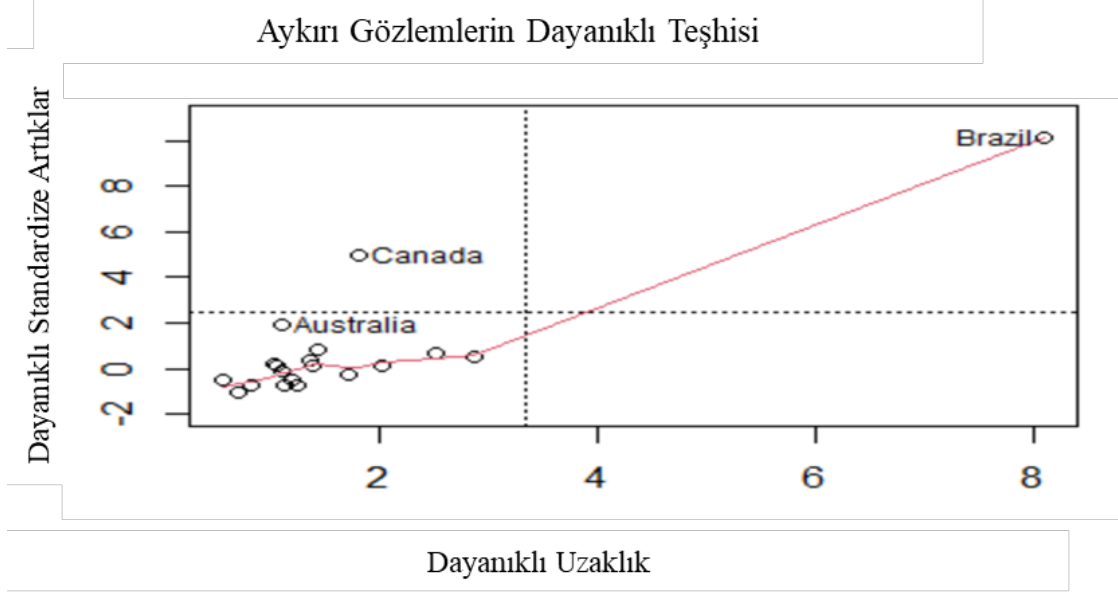
Katsayılar:				
	β katsayısı	Standart Hata	t değeri	p
Sabit	3.151e+01	3.905e+00	8.070	7.74e-07 ***
gdp	1.627e-04	2.519e-05	6.461	1.07e-05 ***
Energy	-6.310e-01	7.516e-02	-8.395	4.73e-07 ***

Katsayılar:				
	β katsayısı	Standart Hata	t değeri	p
Urban	-2.666e-01	4.372e-02	-6.098	2.04e-05 ***
‘***’, ‘**’, ‘*’ işaretleri sırasıyla 0.001, 0.01 ve 0.05 düzeylerinde anlamlı olduğunu göstermektedir.				
Dayanıklı artık standart hata: 2.387				
R^2 : 0.8187, Düzeltilmiş R^2 : 0.7824				
8 IRWLS yinelemesinde yakınsama				
Dayanıklı ağırlıklar:				
2 gözlem $c(3,4)$ ağırlık == 0 ($< 0,0053$) ile aykırı değerlerdir				

Elde edilen sonuçlara göre kişi başına gayri safi yurtiçi hâsıla ile kişi başına CO₂ emisyonu arasındaki ilişki pozitif yönlüdür ve %0.1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. 2. ve 3. bağımsız değişkenler sabitken (analize girip çıktıktan sonra) kişi başına gayri safi yurtiçi hasıladaki 1 birimlik artış kişi başına CO₂ emisyonunu 0.1627 metrik ton arttırmaktadır.

Yenilenebilir enerji tüketimi ile kişi başına CO₂ emisyonu arasındaki ilişki negatif yönlüdür ve %0.1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. 1. ve 3. bağımsız değişkenler sabitken (analize girip çıktıktan sonra) yenilenebilir enerji tüketimindeki 1 birimlik artış kişi başına CO₂ emisyonunu 631 metrik ton azaltmaktadır.

Kentsel nüfus oranı ile kişi başına CO₂ emisyonu arasındaki ilişki negatif yönlüdür ve %0.1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. 1. ve 2. bağımsız değişkenler sabitken (analize girip çıktıktan sonra) kentsel nüfus oranındaki 1 birimlik artış kişi başına CO₂ emisyonunu 266.6 metrik ton azaltmaktadır. Kentsel nüfus oranı ile kişi başına CO₂ emisyonu arasındaki negatif ilişki şu şekilde izah edilebilir. Artan kentleşme teknolojik yenilikler, yani üretime dayalı ekonomilerden bilgi ve hizmete dayalı ekonomilere geçiş, çevresel düzenlemelerde ayarlamalar ve elektrik dahil enerji dağıtımından kaynaklanan atıkların azaltılması yoluyla emisyonları azaltabilir (Shahnazi ve Shabani, 2021).



Şekil 1. Aykırı gözlemlerin belirlenmesi

Modele ilişkin olarak elde edilen Şekil 1 incelendiğinde Kanada ve Brezilya'nın aykırı gözlem olduğu tespit edilmiştir.

5. Sonuçlar

Yüksek ekonomik büyüme oranlarının sera gazı emisyonlarının (GHG) artmasına neden olması ve bu durumun da küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi insan sağlığı ve çevre açısından ciddi tehdit oluşturan doğal olaylara sebebiyet vermesi ülkeleri, sera gazı emisyonlarının büyük bir bölümünü oluşturan CO₂ emisyonlarını azaltmak için önlemlerinin, politikalarının ve stratejilerinin oluşturulmasını yönlendirmiştir. Bu nedenle mevcut çalışmada; kişi başı CO₂ emisyonu, kişi başı gayri safi yurtiçi hâsıla, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkinin G-20 ülkeleri için 2020 verileri kullanılarak Robust Regresyon Analizi ile belirlenmesi amaçlanmıştır.

Robust Regresyon Analizinde CO₂ emisyonunun bağımlı; kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla, kentsel nüfus oranı ve yenilenebilir enerji tüketiminin bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Robust regresyon analizi sonucuna göre Kanada ve Brezilya'nın aykırı gözlem olduğu tespit edilmiştir. Kişi başına gayri safi yurtiçi hasılanın CO₂ emisyonlarındaki artışa katkıda bulunduğu; yenilenebilir enerji tüketimi ve kentsel nüfus oranının ise CO₂ emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunduğunu tespit edilmiştir. Ampirik kanıtlar, yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kullanımında süreklilik sağlamak adına

ülkeler, yeni yenilenebilir enerji teknolojilerine yatırımı teşvik edecek politikalar tasarlamalıdır.

Bu bağlamda ülkeler yenilenebilir enerji teknolojilerinin özel sektör ve hane halkı tarafından benimsenmesini teşvik etmek için hibeler, düşük faizli krediler, vergi indirimleri veya sübvansiyonlar gibi araçlar kullanılabilirler. Halk-özel-kamu ortaklığı bu misyonu gerçekleştirmek için gerekli üç temel sacayağıdır. Bu ortaklık, vatandaşlara temiz enerji çözümlerinin avantajlarından daha iyi yararlanmalarına ve yenilenemeyen enerji kaynaklarına olan bağımlılıklarını yenilenebilir kaynaklarla değiştirme yönünde kararlar almaları açısından fayda sağlayacaktır (Gierałowska ve ark., 2022).

Kentsel nüfus oranının CO₂ emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda karar vericilerin alabileceği bazı önlemler bulunmaktadır. Örneğin hükümetler etkili arazi kullanım planlaması uygulamalı, kentsel genişlemeyi rasyonel olarak kontrol etmeli ve kentsel arazinin verimli kullanımını teşvik etmelidirler. Ayrıca kentsel toplu taşıma hizmetlerinin geliştirilmesine ve çoklu ulaşım modlarının birbirine bağlanmasına öncelik verilmelidir (Wang ve ark., 2019).

Kaynaklar

- Al-Mulali, U., Ozturk, I., & Lean, H. H. (2015). The influence of economic growth, urbanization, trade openness, financial development, and renewable energy on pollution in Europe. *Natural Hazards*, 79, 621-644.
- Anwar, A., Sinha, A., Sharif, A., Siddique, M., Irshad, S., Anwar, W., & Malik, S. (2022). The nexus between urbanization, renewable energy consumption, financial development, and CO₂ emissions: Evidence from selected Asian countries. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 6556-6576
- Chen, C. (2002). Paper 265-27 Robust regression and outlier detection with the ROBUSTREG procedure. In Proceedings of the Proceedings of the Twenty-Seventh Annual SAS Users Group International Conference.
- Fan, Y., Liu, L. C., Wu, G., & Wei, Y. M. (2006). Analyzing impact factors of CO₂ emissions using the STIRPAT model. *Environmental Impact Assessment Review*, 26(4), 377-395.
- Gad, A. M. & Qura, M. E. (2016). Regression Estimation in the presence of outliers: A comparative study. *International Journal of Probability and Statistics*, 5(3), 65-72
- Gierałowska, U., Asyngier, R., Nakonieczny, J., & Salahodjaev, R. (2022). Renewable energy, urbanization, and CO₂ emissions: a global test. *Energies*, 15(9), 3390.

- Kasman, A., & Duman, Y. S. (2015). CO₂ emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: a panel data analysis. *Economic modelling*, 44, 97-103.
- Koengkan, M., Fuinhas, J. A., & Santiago, R. (2020). The relationship between CO₂ emissions, renewable and non-renewable energy consumption, economic growth, and urbanisation in the Southern Common Market. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 9(4), 383-401.
- Li, B., & Haneklaus, N. (2021). The role of renewable energy, fossil fuel consumption, urbanization and economic growth on CO₂ emissions in China. *Energy Reports*, 7, 783-791.
- Lopuhaa, H. P., & Rousseeuw, P. J. (1991). Breakdown points of affine equivariant estimators of multivariate location and covariance matrices. *The Annals of Statistics*, 19(1), 229-248.
- Mahmood, H., Alkhateeb, T. T. Y., & Furqan, M. (2020). Industrialization, urbanization and CO₂ emissions in Saudi Arabia: Asymmetry analysis. *Energy Reports*, 6, 1553-1560.
- Muhammad, S., Long, X., Salman, M., & Dauda, L. (2020). Effect of urbanization and international trade on CO₂ emissions across 65 belt and road initiative countries. *Energy*, 196, 117102.
- Pata, U. K. (2018). Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO₂ emissions in Turkey: testing EKC hypothesis with structural breaks. *Journal of cleaner production*, 187, 770-779.
- Prahitama, A., & Rusgiyono, A. (2021, July). Robust regression with MM-estimator for modelling the number maternal mortality of pregnancy in Central Java, Indonesia. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1943, No. 1, p. 012148). IOP Publishing.
- Sadorsky, P. (2014). The effect of urbanization on CO₂ emissions in emerging economies. *Energy economics*, 41, 147-153.
- Shafiei, S., & Salim, R. A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO₂ emissions in OECD countries: a comparative analysis. *Energy policy*, 66, 547-556.
- Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A. T., Ahmed, K., & Jabran, M. A. (2016). How urbanization affects CO₂ emissions in Malaysia? The application of STIRPAT model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 83-93.

- Shahnazi, R., & Shabani, Z. D. (2021). The effects of renewable energy, spatial spillover of CO₂ emissions and economic freedom on CO₂ emissions in the EU. *Renewable Energy*, *169*, 293-307.
- Sharma, S. S. (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: empirical evidence from 69 countries. *Applied Energy*, *88*(1), 376-382.
- Sun, Y., Li, H., Andlib, Z., & Genie, M. G. (2022). How do renewable energy and urbanization cause carbon emissions? Evidence from advanced panel estimation techniques. *Renewable Energy*, *185*, 996-1005.
- Susanti, Y., Pratiwi, H., Sulistijowati, S., & Liana, T. (2014). M estimation, S estimation, and MM estimation in robust regression. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, *91*(3), 349-360.
- Wang, Y., Li, X., Kang, Y., Chen, W., Zhao, M., & Li, W. (2019). Analyzing the impact of urbanization quality on CO₂ emissions: What can geographically weighted regression tell us? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *104*, 127-136.
- Yorulmaz, Ö. (2016). *Dayanıklı istatistiksel yöntemler ve R uygulamaları*. İstanbul: Beta.