Geliş/Received: 18.10.2025 | Revizyon/Revised: 20.01.2026 |Kabul/Accepted: 16.02.2026 | Erken Görünüm/Early View: 08.05.2026

Research Article | Araştırma Makalesi

Küresel ısınmanın etkilerini azaltmada iklim politikalarının rolü: Robit modeli

Ebru Çağlayan Akay
Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, ecaglayan@marmara.edu.tr, 0000-0002-9998-5334

Zeynep Şengül
Öğretim Görevlisi, İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, zzeynepsengul@gmail.com, 0000-0002-0461-6203

Corresponding author/Sorumlu yazar: Zeynep Şengül

Öz

Bu çalışma, Birleşmiş Milletler'in 2015 yılında ilan etmiş olduğu hedeflerden 13. Hedef: İklim Eylemi ve Paris Anlaşması'nın imzalanması sebebiyle ülkelerin uyguladığı iklim politikalarının küresel ısınma üzerindeki etkisini iki kategorili nitel tercih modelleriyle incelemektedir. Çalışmada, Paris Anlaşması'nın sıcaklık artışını yavaşlatmak ve 2°C altında tutma hedefini dikkate alarak; bağımlı değişken, ortalama sıcaklık artışının 2°C ve üzerini aşması ve aşmaması olarak belirlenmiştir. Model logit, probit ve dayanıklı olasılık regresyon yöntemi robit ile tahmin edilmiştir. Model seçim metrikleri incelendiğinde en iyi model performansını robit tahmin yöntemi sergilemektedir. Robit regresyon sonucuna göre, doğal kaynak rantının sıcaklık artış olasılığını azaltırken iklim riskinin, karbon emisyon yoğunluğunun ve gelir grubunun sıcaklık artış olasılığını arttırdığı bulunmuştur. İklim riskinin, ülkelerin iklim politikaları uygulama başarısıyla değerlendirildiğinde sıcaklığı azaltma potansiyeli olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, karbon emisyonları karbon vergisi uygulanmasıyla değerlendirildiğinde küresel ısınma olasılığını arttırdığı fakat bu artışın karbon emisyonuna kıyasla düşüktür. Bu sonuç, karbon vergisi alınmasının küresel ısınmanın gücünü karbon emisyonu salınıma kıyasla azaltabileceğini göstermektedir. Bulgular, iklim politikalarının uzun vadede çevresel ve ekonomik faydalar sağlayabileceğini ve politikaların bir yük değil, istikrarlı başarı sağlandığında küresel ısınma hızının yavaşlayabileceğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, sürdürülebilir ve kararlı iklim politikalarının çevresel düzeyde önemli kazanımlar sağlayabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Robit regresyon, Küresel ısınma, İklim politikaları **JEL Kodları:** Q54, B21, C21

The role of climate policies in mitigating the effects of global warming: The Robit model

Abstract

This study examines the impact of climate policies implemented by countries on global warming using binary qualitative choice models, in line with the United Nations' 13th Goal: Climate Action, announced in 2015, and the signing of the Paris Agreement. Considering the Paris Agreement's goal of slowing temperature rise and keeping it below 2°C, the dependent variable is defined as whether the average temperature increase exceeds or does not exceed 2°C. The model is estimated using the logit, probit, and robust probability regression method, robit. Based on model selection metrics, the robit estimation method demonstrates the best model performance. According to the results of the robit regression, natural resource rent reduces the probability of temperature increase, while climate risk, carbon emission intensity, and income group increase the likelihood of temperature rise. When climate risk is evaluated in relation to countries' success in implementing climate policies, it appears to have the potential to reduce temperature levels. Additionally, when carbon emissions are evaluated in the context of carbon taxation, the probability of global warming increases, but this increase is smaller compared to carbon emissions alone. This result indicates that imposing a carbon tax can reduce the intensity of global warming compared to carbon emission release. The findings suggest that climate policies can provide long-term environmental and economic benefits and that, rather than being a burden, such policies can slow the pace of global warming when implemented consistently and effectively. In conclusion, sustainable and stable climate policies are projected to yield significant environmental gains.

Keywords: Robit regression, Global warming, Climate policies **JEL Codes:** Q54, B21, C21

Extended Abstract

Global warming is the increase in average temperature following the industrial revolution, primarily resulting from greenhouse gas emissions. According to the IPCC (2025) report, in recent years, global warming has manifested not only as rising temperatures but also through extreme weather events, human casualties, and economic losses. Therefore, to combat climate change and ensure adaptation, the 13th Goal of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), announced in 2015, promotes the transition to conscious consumption, strengthening national infrastructure, and the development of sustainable policies to limit

How to cite this article / Bu makaleye atıf vermek için:
Çağlayan-Akay, E., & Şengül, Z. (2026). üresel ısınmanın etkilerini azaltmada iklim politikalarının rolü: Robit modeli. *KOCATEPEİİBFD, 28*(1), 204-219. https://doi.org/10.33707/akuiibfd.1806312

global warming. In the same period, the Paris Agreement aims to keep the global average temperature increase below 2°C compared to pre-industrial levels, ideally limiting it to 1.5°C. The success of this target depends on the effectiveness and implementation of policies by countries.

In this context, the study examines the effect of national climate policies on global temperature rise and evaluates data deviations using different probability models. The main objective is to determine whether implemented climate policies can genuinely reduce global warming, given that their implementation involves both labor and financial costs. In addition to widely used logit and probit models, the study considers the robit model, which provides robust estimates against outliers. Unlike the probit model, which relies on a normal distribution and may be influenced by outliers, the robit model employs a t-distribution to produce reliable estimates. This allows estimation using robit models with different degrees of freedom.

The study considers data from 2022 across 141 countries. The dependent variable, temperature increase (SCK), is binary: 0 if the increase does not exceed 2°C and 1 if it exceeds 2°C. Independent variables include Natural Resource Rents (DĞL), Carbon Intensity (KRBN), Carbon Tax implementation (KV), Climate Risk Status (İR), Climate Policy Success (İP), and Income Group (GG). Additionally, interaction terms IR*IP and KRBN*KV were created to determine how climate risk and carbon emissions behave under policy implementation.

Binary response data are typically modeled using logit and probit regression methods; however, these models rely on maximum likelihood estimation, which may not produce reliable results in the presence of outliers. The probit model is particularly sensitive due to its normality assumption. Therefore, the robit model, which yields robust results under outlier presence, was also considered. This model replaces the normal distribution with a t-distribution to ensure reliable estimates against outliers.

Four models were compared: logit, probit, 2-degree-of-freedom robit, and 4-degree-of-freedom robit.

Outlier detection for the logit model was conducted using Cook's distance and Beta Bubble Plots, confirming the presence of outliers. Furthermore, comparison of AIC, BIC, F1 score, Brier score, and AUC criteria indicated that the 2-degree-of-freedom robit model is most appropriate.

Robit (s.d.=2) estimation results show that the coefficients of DĞL and İP are negative and significant, while KRBN, KV, and upper-middle and high-income groups (GG) are positive and significant. Interaction terms IR*IP and KRBN*KV are negative and significant.

Marginal effects of the robit (s.d.=2) model indicate that KRBN increases the probability of temperature rise by 98.69%, while KV has a positive and significant marginal effect (34.95%). The fact that policy implementation appears to increase the probability of temperature rise is understandable because carbon emissions are global, and a single country's carbon tax may be insufficient. Long-term studies would better clarify this effect. The IR variable, representing climate risk perception, has a positive and significant marginal effect (75.16%), suggesting that countries with higher climate vulnerability are more likely to experience temperature increases. The DĞL variable has a small but significant negative effect (-1.32%), indicating that countries with abundant natural resources may place less emphasis on environmental policies and sustainable practices. The effect of İP is negative and significant (-7.95%), showing that climate policy implementation can reduce global warming. Income group (GG) effects show that the lower-middle income group has an insignificant marginal effect (5.68%), while upper-middle and high-income groups have positive and significant marginal effects (23.76% and 50.25%, respectively), likely due to more intensive industrialization leading to higher emissions.

Findings indicate that climate policies do not necessarily conflict with economic growth; rather, consistent and long-term policies can provide both environmental and economic benefits. The main conclusion is that sustainable and stable climate policies play a decisive role in reducing the rate of global warming. According to the robit model, climate policies should be applied particularly carefully in countries with high climate risk, and international funding support is necessary. For upper-middle and high-income countries, higher carbon tax rates should be implemented. Although carbon tax alone has a positive effect on temperature rise, interaction terms with carbon emissions indicate that carbon tax implementation along with global cooperation is required.

Giriş

Küresel ısınma, son yüzyılda ekonomik faaliyetlerin yapısı, doğal kaynaklara bağımlılık ve uygulanan kamu politikalarının bileşimi sonucunda ortaya çıkan çok boyutlu bir süreçtir. Sanayileşme düzeyi, karbon yoğun ekonomik faaliyetler, küresel ölçekte sıcaklık artışının temel belirleyicileri arasında yer almaktadır. Bunula birlikte, ülkeler arasında iklim değişikliğine verilen politik tepkiler ve uygulanan çevre politikalarının etkinliği önemli farklılıklar göstermekte; bu durum benzer ekonomik yapılara sahip ülkelerde dahi sıcaklık artışlarının farklılaşmasına yol açabilmektedir. Artan sıcaklıklar, buzulların erimesi, kuraklıklar, orman yangınları, sel felaketleri, deniz seviyelerinin yükselmesi ve aşırı hava olaylarının sıklaşması gibi olaylar küresel ısınmanın doğrudan etkileri olarak görülmekte ve iklim krizinin küresel ölçekte yarattığı tahribatı gözler önüne sermektedir. Küresel ısınmanın etkileri gün geçtikçe

daha görünür hale gelirken, bu soruna karşı geliştirilen iklim politikaları da giderek daha büyük önem kazanmaktadır. Bu kapsamda Birleşmiş Milletler (BM) tarafından ilan edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ve Paris Anlaşması gibi küresel girişimler, bu soruna karşı alınan önlemlerin temelini oluşturmaktadır. Bu politikaların temel amacı, iklim değişikliğinin neden olduğu krizleri önlemek, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve gelecek nesiller için yaşanabilir bir dünya bırakmaktır.

Küresel sıcaklık artışı, tek bir faktörden ziyade ekonomik faaliyetlerin yapısı, doğal kaynaklara bağımlılık ve uygulanan kamu politikalarının bileşimi sonucunda ortaya çıkan çok boyutlu bir süreçtir. Sanayileşme düzeyi, karbon yoğun ekonomik faaliyetler, küresel ölçekte sıcaklık artışının temel belirleyicileri arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, ülkeler arasında iklim değişikliğine verilen politik tepkiler ve uygulanan çevre politikalarının etkinliği önemli farklılıklar göstermekte; bu durum benzer ekonomik yapılara sahip ülkelerde dahi sıcaklık artışlarının farklılaşmasına yol açabilmektedir. Dolayısıyla iklim değişikliğinin belirleyicilerini anlamak, yalnızca çevresel göstergeleri değil, yanı zamanda ekonomik yapı ve politika tercihlerini birlikte ele alan bütüncül bir analiz yaklaşımını gerektirmektedir.

BM tarafından 2015 yılında kabul edilen SKA 13, ülkelerin iklim değişikliğiyle mücadele etmesini ve bu sürece uyum sağlamasını amaçlayan temel politika çerçevelerinden biridir. SKA 13, iklim kaynaklı risklere karşı dayanıklılığının artırılmasını, iklim politikalarının ulusal planlara entegre edilmesini ve bu alandaki kurumsal kapasitenin güçlendirilmesini hedefleyerek iklim eylemini yalnızca çevresel değil, aynı zamanda yönetsel ve toplumsal boyutlarıyla ele alan bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır (United Nation, 2015).

SDG 13'ün hedefleri ile doğrudan ilişkili olan Paris Anlaşması ise iklim değişikliğiyle küresel mücadelede kilit rol oynamaktadır. 2016'da yürürlüğe giren bu anlaşma ile tüm taraf ülkeler, sera gazı emisyonlarını azaltma ve iklim değişikliğine uyum sağlama taahhüdünde bulunmuştur. Paris Anlaşması'nın temel hedefi, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere göre 2°C'nin oldukça altında tutmak ve mümkünse 1.5°C ile sınırlandırmaktır.

Buna karşın güncel veriler, küresel ortalama sıcaklık artışının sanayi öncesi döneme kıyasla 1.3-1.4°C'ye ulaştığını, Avrupa'da ise bu artışın 3.3°C düzeyine çıktığını göstermektedir (Copernicus Climate Change Service, 2025). Bu durum, birçok ülke için 2°C eşiğinin fiilen aşılmış olabileceğine işaret etmekte ve Paris Anlaşması hedeflerinin ampirik olarak değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Küresel sıcaklık artışı, aşırı hava ve doğa olaylarının sıklığını ve şiddetini artırarak sel felaketleri, orman yangınları ve uzun süreli kuraklıklar gibi riskleri derinleştirmektedir. Bu gelişmeler, özellikle tarımsal üretim, su kaynakları ve ekosistemler üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) raporları, küresel sıcaklığın yükselmesinin buzulların erimesine ve deniz seviyelerinin yükselmesine rol açarak kıyı yerleşimlerini önemli risklere karşı karşıya bırakacağını ortaya koymaktadır. (IPCC, 2023). Bu etkilerin sınırlanabilmesi, iklim değişikliğine yönelik etkin uyum politikalarının geliştirilmesine bağlıdır. Aksi takdirde, çevresel ve ekonomik açıdan büyük yıkımların ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle sıcaklık artışının kritik eşiklerinin anlaşılması, yalnızca iklim biliminin değil, ekonomi ve kamu politikaları gibi disiplinler arası yaklaşım, ülkelerin iklim değişikliğine uyum sağlamasına ve karbon nötr hedefler doğrultusunda somut politika adımları geliştirmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışma, küresel sıcaklık artışının 2°C eşiğini aşma olasılığını etkileyen temel faktörleri belirleyerek, iklim değişikliğiyle mücadelede hangi değişkenlerin ve özellikle hangi politika araçlarının belirleyici rol oynadığını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu çerçevede, karbon emisyon yoğunluğu, karbon vergisi uygulayan ülkelerin varlığı, iklim riski düzeyi, doğal kaynak rantı, iklim politikalarının etkinliği ve ülkelerin gelir grubu gibi çeşitli yapısal ve politik faktörlerin etkileri incelenmektedir. Bu faktörler; çevresel göstergeler, sosyo-ekonomik yapı ve özellikle iklim politikaları olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmıştır. Bu faktörlerin birlikte değerlendirilmesi, iklim değişikliği ile mücadelede politika geliştirme sürecine disiplinler arası katkılar sunmayı hedeflemektedir. Elde edilecek bulgular, iklim değişikliğini yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve politik karar alma boyutları ile ele alarak, somut öneriler geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Bu çerçevede, bu çalışma üç temel araştırma sorusuna cevap aramaktadır: (i) Küresel sıcaklık artışının 2°C eşiğini aşmasında hangi faktörler belirleyici rol oynamaktadır? (ii) Karbon emisyon yoğunluğu ve karbon vergisi uygulamaları, ülkelerin 2°C eşiğini aşma olasılığını azaltmakta mıdır? (iii) Mevcut iklim politikaları, küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutma hedefi açısından istatiksel olarak anlamlı bir etki ortaya koymakta mıdır?

Literatürde bu sorulara doğrudan yanıt verebilen ekonometrik çalışmaların sınırlı olması çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır. Bu çerçevede, çalışmada, 2022 yılına ait veriler kullanılarak, ülkeler 2°C eşiğini aşanlar ve aşmayanlar şeklinde iki kategoriye ayrılmış ve iklim politikalarının etkileri bu kritik eşik üzerinden değerlendirilmiştir. Bağımlı değişkenin iki kategorili yapısı nedeniyle analizlerde nitel tercih modelleri kullanılmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan logit ve probit modelleri, ülkeler arasındaki sosyo-ekonomik, coğrafi ve çevresel heterojenlik nedeniyle aykırı gözlemlere karşı hassas kalabilmekte ve bu durum tahmin sonuçlarının güvenirliliğini zayıflatabilmektedir. Bu nedenle çalışmada, logit ve probit modellere ek olarak, aykırı gözlemlere karşı daha dayanıklı bir yaklaşım sunan robit modeli de tahmin edilmiş ve karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Robit modelinin iklim değişikliği bağlamında nadir kullanılması, çalışmanın yöntemsel yeniliğini ve politika analizlerine sağladığı güvenilir katkıyı ortaya koymaktadır.

Bu çalışma yedi ana bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, konuya ilişkin güncel literatür incelenerek teorik arka plan sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, iki kategorili nitel tercih modellerinden biri olan Robit regresyon yöntemi detaylı şekilde ele alınmaktadır. Dördüncü bölümde, kullanılan modellerin başarısını değerlendirmek amacı ile kullanılan model performans ölçüleri açıklanmaktadır. Beşinci bölüm, çalışmada kullanılan veri seti ve değişkenlere ilişkin bilgileri kapsamaktadır. Altıncı bölümde, tahmin sonuçları sunulmakta ve elde edilen bulgular tartışılmaktadır. Son olarak, yedinci bölümde çalışmanın sonuçları ve politika önerileri sunulmaktadır.

1. Literatür

Küresel ısınma konusuna odaklanan ilk çalışmalar, dünyadaki ortalama sıcaklık artışının emisyon salınımı sebebiyle olduğunu ortaya koymaktadır. Fourier (1984), atmosferin ısıyı tuttuğunu ve bunun sera etkisi olduğunu ifade etmiştir. Arrhenius (1896) ve Callendar (1938), çalışmalarında dünyanın karbondioksit emisyonlarından kaynaklı ısındığını vurgulamıştır. Keeling (1960), geçen zaman içerisinde sürekli karbondioksit emisyonunu ölçerek bu artışın doğrusal olduğunu; yani sürekli arttığını göstermiştir.

Güncel iklim projeksiyonları, bu erken bulguları destekler niteliktedir. IPCC (2021), nötr karbon hedefi sağlanması durumunda en iyi ihtimalle dünyadaki ortalama sıcaklığı 1.4 °C artacağını öngörmekteyken en kötü senaryoda bu değer 4.4 °C olarak tahmin edilmektedir. Armstrong McKay vd., (2022) 1 °C'lik bir artışta dahi geri döndürülemez iklim kırılmalarının tetiklenebileceğini burgulamaktadır. IPCC (2022) raporu ise küresel ısınmanın tarım, sağlık, su kaynakları ekosistemler ve insan yerleşimleri üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratacağını belirtmekte ve özellikle yerel düzeyde adaptasyon politikalarının hızlandırılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Ekonometri literatüründe küresel ısınmaya ilişki ampirik çalışmaların büyük ölçüde karbondioksit emisyonunu bağımlı değişken olarak ele aldığı görülmektedir. Mendonca vd., (2020) çalışmasında 1970-2018 yılları için Brezilya ülkesini dikkate alarak arazi kullanımı, ormansızlaşma ve üretim faaliyetlerinin karbondioksit emisyonu üzerindeki etkisini En Küçük Kareler (EKK) regresyon yöntemiyle incelemiştir; uygulanan çevre politikalarının özellikle 2010 sonrası emisyon artışını sınırladığını göstermiş. Raparthi (2021), 1999-2012 yılları için Hindistan ülkesinde kentsel planlama politikalarının belirleyici rol oynadığını vurgulamıştır. Çalışmada, düşük karbon bölgeleri oluşturulmasında yerel politikaların geliştirilmesiyle olabileceğini vurgulamıştır. Damrah vd., (2022), yüksek petrol üreticisi 9 ülke; Brezilya, Kanada, Çin, İran, Kuveyt, Rusya, Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri, Amerika için enerji tüketimi, insani gelişmişlik ve demografik özelliklerin çevresel bozulmayı artırdığını Panel Momentler Yöntemi Kantitatif yöntemiyle ortaya koymuştur. Bilgili vd. (2023), MENA bölgesini 2003 -2020 yılları arasında doğal kaynak rantları ve enerji türlerinin karbondioksit emisyonu üzerindeki etkilerini kantil regresyon yöntemiyle incelemiş; yenilebilir enerji ve orman rantının çevre kalitesini artırırken fosil yakıtlar ve ekonomik büyümenin emisyonu yükselttiğini göstermiştir. Benzer şekilde Işık vd. (2024), OECD ülkeleri için ekonomik büyüme ve rant gelirinin emisyonu artırıcı etkisini doğrulamıştır.

Son dönem çalışmalar, çevre politikalarının ve yönetişim yapılarının emisyonlar üzerindeki rolüne odaklanmaktadır. Bedair vd. (2023), iklim kırılganlığı yüksek Afrika ülkelerinde liderlerin politik katkılarının küresel sınırlayıcı etkiler yaratabildiğini göstermektedir. Answar ve Sharif (2025), E-6 ülkelerinde çevre politikalarının istikrarsızlığı, doğal kaynak rantı, yenilebilir enerji tüketimini dikkate alarak karbondioksit emisyonuna olan etkisini Panel Kantil Regresyon yöntemiyle incelemiştir. Çalışmadaki önemli bulgu, istikrarsız iklim politikalarının bile karbondioksit emisyonunu azaltıcı etkiye sahip olduğudur; yani, politikanın varlığı dahi emisyonları azaltmaya yardımcı olmaktadır. Literatürde, iklim değişikliği ile ilgili ampirik çalışmalarda çoğunlukla EKK, Panel veri modelleri, Kantil gibi farklı ekonometrik modellerinin kullanıldığı görülmektedir.

Mevcut literatür incelendiğinde, çalışmaların büyük ölçüde emisyon düzeylerini sürekli bir değişken olarak modellediği, küresel sıcaklık artışını doğrudan veya kritik eşik değerler çerçevesinde ele alan ampirik çalışmaların ise oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Oysa Paris Anlaşması'nda vurgulanan 2°C eşiğinin aşılması temel alınarak ülkeleri iki kategoriye ayırmakta ve bu kritik sınırın aşılmasını belirleyen faktörleri nitel tercih modelleri yardımıyla analiz etmektedir. Böylece mutluk sıcaklık artışları yerine, eşiğin aşılmasıyla ilişkili olabilecek yapısal, yönetsel ve politik farklılıklar daha net biçimde ortaya konulabilmektedir.

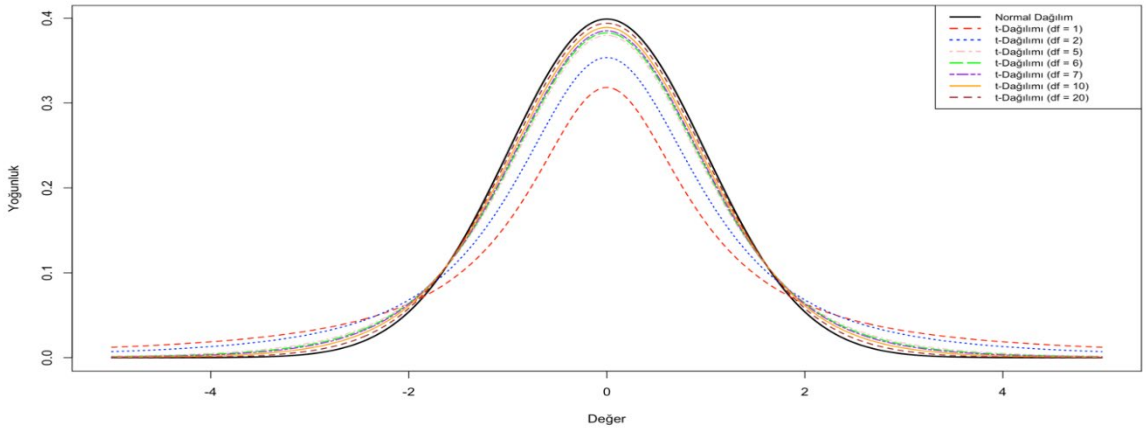
İki kategorili bağımlı değişkenin modellenmesinde literatürde yaygın olarak logit ve probit modelleri kullanılmakla birlikte, iklim değişikliği gibi ülkeler arası yüksek heterojendik içeren konularda bu modeller aykırı gözlemlere karşı hassas kalabilmektedir. Bu nedenle çalışmada logit ve probit modellere ek olarak, aykırı gözlemlere karşı daha dayanıklı bir yapı sunan robit modeli de tahmin edilmiştir. Robit modelinin iklim değişikliği literatüründeki ilk kullanımı dikkate alındığında, bu yaklaşım çalışmanın yöntemsel özgünlüğünü güçlendirmekte ve iklim politikalarının etkilerini daha güvenilir biçimde analiz etme imkanı sunmaktadır.

2. İki Kategorili Nitel Tercih Modeli: Robit

İki kategorili (nitel) bağımlı değişkenlerin modellenmesinde logit ve probit regresyon modelleri yaygın olarak kullanılır. Logit modeli, olasılıkları lojistik fonksiyon aracılığıyla tahmin ederken, probit modeli standart normal dağılım fonksiyonuna dayanır. Hem logit hem probit modellerinde parametre tahminleri En Çok Olabilirlik Tahmincisi (EÇO) ile yapılır; ancak veri setinde aykırı gözlemler varsa, bu tahminciler sapma gösterebilir. Özellikle probit modeli, normal dağılım varsayımına dayandığı için aykırı gözlemlere karşı daha hassastır. Bu durum, modelin genel tahmin performansını olumsuz etkileyebilir (Lange vd., 1989). Bu olumsuzluğu gidermek ve aykırı gözlemler varlığında güçlü tahminler elde etmek için Lange vd., (1989) doğrusal regresyon modellerinde normal dağılım yerine t-dağılımını önermiştir. Böylece, regresyon katsayıları için dayanıklı tahminciler elde edilecektir (Newson ve Falcaro, 2023). t-dağılımının normal dağılıma göre daha uzun kuyruğa sahiptir. Başka bir ifadeyle, t-dağılımı normal dağılımın katı varsayımlarını gevşeterek daha esnek ve sağlam bir yapı sunmaktadır. Bu dayanıklılıktan yararlanmak amacıyla, probit regresyon modelinde kullanılan normal dağılım yerine, $\boldsymbol{\nu}$ serbestlik dereceli t-dağılımının kullanıldığı robit regresyon modeli önerilmiştir.

Normal ve t-dağılımları arasındaki temel farklardan biri, uç değerlerdeki olasılık yoğunluklarıdır. Özellikle düşük serbestlik derecelerinde t-dağılımı, normal dağılıma göre daha kalın kuyruklara sahip olup aykırı gözlemlerin modele etkisini sınırlamaktadır. Bu nedenle robit modeli, veri setinde heterojenlik ve aykırı gözlemlerin bulunması durumunda daha güvenilir tahminler sunabilmektedir. Serbestlik derecelerine bağlı olarak t-dağılımının normal dağılımla karşılaştırılması, Şekil 1'de sunumaktadır.

Şekil 1. Normal Dağılım ve Farklı Serbestlik Derecelerine Sahip t-Dağılım Karşılaştırılması



Kaynak: Yazarlar Tarafından Oluşturulmuştur.

Robit regresyon modeli, yapısal olarak probit modele benzemekle birlikte, hata terimlerinin normal dağılım yerine $\boldsymbol{\nu}$ serbestlik derecesine sahip t-dağılımına uyduğunu varsayarak daha dayanıklı bir yaklaşım sunmaktadır ve robit($\boldsymbol{\nu}$) biçiminde ifade edilmektedir. Robit regresyon modeli $(\boldsymbol{x_i}, \boldsymbol{y_i})$: $\boldsymbol{i = 1, 2, 3, \dots, n}$ veri seti olasılık,

$$\mathbf{pr}(\boldsymbol{y_i = 1}|\boldsymbol{x_i}, \boldsymbol{\beta}) = \mathbf{1} - \mathbf{pr}(\boldsymbol{y_i = 0}|\boldsymbol{x_i}, \boldsymbol{\beta}) = \boldsymbol{F_\nu}(\boldsymbol{x_i'\beta})$$

şeklinde elde edilir. İki kategorili nitel tercih modellerinde, bağımlı değişken $\boldsymbol{y_i}$ yalnızca 0 ve 1 değerlerini alır. Robit regresyon modelinde, $\boldsymbol{y_i = 1}$ olma olasılığı ile $\boldsymbol{y_i = 0}$ olma olasılığı toplamı 1'e eşittir. Bu sebeple, $\boldsymbol{y_i = 1}$ olma olasılığı, $\boldsymbol{y_i = 0}$ olma olasılığının 1'den çıkarılmasıyla hesaplanır. Denklemde yer alan $\boldsymbol{F_\nu}(.)$ fonksiyonu ortalaması 0, ölçek parametresi 1 ve $\boldsymbol{\nu}$ serbestlik derecesine sahip t-dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonudur. $\boldsymbol{F_\nu}(.)$ fonksiyonunun olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$\boldsymbol{f_\nu}(\boldsymbol{x}) \equiv \frac{\boldsymbol{\Gamma}\left(\frac{\boldsymbol{\nu+1}}{\mathbf{2}}\right)}{(\boldsymbol{\pi\nu})^{\frac{1}{2}}\boldsymbol{\Gamma}\left(\frac{\boldsymbol{\nu}}{\mathbf{2}}\right)\left(\mathbf{1}+\frac{\boldsymbol{x}^2}{\boldsymbol{\nu}}\right)^{\frac{\boldsymbol{\nu+1}}{\mathbf{2}}}} \qquad (\boldsymbol{x} \in (-\infty, \infty))$$

şeklinde elde edilir. Robit($\boldsymbol{\nu}$) modelinin serbestlik derecesi sonsuza yaklaştıkça probit regresyon modeline dönüşür. Şekil 1'de sunulduğu gibi $\boldsymbol{\nu} \to \infty$ olduğunda yani serbestlik derecesi arttığında t-dağılımı normal dağılıma yaklaşır. Serbestlik derecesi 7 olarak belirlendiğinde, robit regresyon yöntemi logit regresyon yöntemiyle yaklaşık sonuçlar vermektedir. Bu iki yöntem arasındaki fark küçük olsa dahi, robit regresyon yöntemi aykırı gözlemler varlığında kullanılması önerilmektedir. Bu sebeple dayanıklılık ile logit modele yakınlık sağlamak arasında denge sağlamak için t-dağılım serbestlik derecesi 5 veya 6 olarak belirlenmektedir (Liu, 2006). Kang ve Schafer (2007) ise serbestlik derecesinin 4 olarak belirlenmesi gerektiğini ifade etmiştir. Serbestlik derecesi 4 olarak belirlendiğinde t-dağılımın kuyrukları hala kalın ve tepe noktası sivri olmayacaktır. Böylece, dayanıklılık ve merkezi hassasiyet arasında denge sağlanmış olur.

Bir modelin aykırı gözlemlere karşı ne kadar hassas olduğunu anlamak için bu gözlemlerin parametre tahminleri üzerindeki etkisi

incelenmektedir. Bu etkinin büyüklüğü, genellikle etki fonksiyonu (influence function) adı verilen kavramla açıklanır. Etki fonksiyonunun, tek bir gözlemin tahmin sonuçlarını ne ölçüde etkileyebildiğini göstermekte; fonksiyonun sınırsız olması durumunda modelin aykırı değerlere karşı kırılgan olduğu kabul edilmektedir.

Logit ve probit modellerinde etki fonksiyonu sınırsız olabildiğinden aykırı gözlemler parametre tahminlerinde ciddi sapmalara yol açabilmektedir. Özellikle probit model, normal dağılıma dayandığı için uç değerlere karşı daha hassastır. Bu durum tahmin güvenilirliğini azaltır. Robit regresyon ise t-dağılımı kullanarak etki fonksiyonunu sınırlı tutar. Etki fonksiyonunun sınırlı olması sayesinde, aykırı gözlemler karşısında parametre tahminlerinde aşırı sapmalara izin verilmemekte, böylece daha güvenilir ve dayanıklı sonuçlar elde edilmektedir (Liu, 2006). Robit modelinde, bir gözlemin parametre tahminleri üzerindeki yönlü etkisini belirleyen log-olabilirlik gradyanı,

$$\frac{\partial \, ln \, pr\left(y|x,\widehat{\beta}\right)}{\partial \beta} = \frac{f_v(x'\widehat{\beta})}{F_v(x'\widehat{\beta})} x'\widehat{\beta}$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada $ln\, pr\left(y|x,\widehat{\beta}\right)$, gözlem (y,x) için koşullu olasılığının logaritmasıdır ve β' ya göre türev alınmaktadır; yani log-olasılığının tahmin edilen parametreler üzerindeki duyarlılığını ölçmektedir. $f_v(x'\widehat{\beta})$ t-dağılımın yoğunluk fonksiyonunu, $F_v(x'\widehat{\beta})$ ise aynı dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonunu, $x'\widehat{\beta}$ ise bağımsız değişkenlerle tahmin edilmiş parametrelerin doğrusal birleşimini temsil etmektedir. Bu gradyan, etki fonksiyonunun temel bileşenlerinden biridir.

Robit modelinde, iki kategorili bağımlı değişkenin 0 veya 1 değerini alma olasılığı, açıklayıcı değişkenlerin değerlerine bağlı olarak tahmin edilmektedir. Açıklayıcı değişkenlerde aykırı gözlemlerin bulunması durumunda, modelin beklenen sınıflandırması ile gözlenen değer arasında uyumsuzluklar ortaya çıkabilmekte ve bu durum yanlış sınıflandırmalara yol açabilmektedir. Bu tür yanlış sınıflandırmalar, klasik nitel tercih modellerinde parametre tahminlerinde sapmalara neden olabilmektedir. Robit yaklaşımı t-dağılımının kalın kuyruklu yapısı sayesinde sapmaları minimize eder ve böylece tahmin edilen parametreler daha güvenilir ve tutarlı hale gelir. Bu özelliği Robit modelini yanlış sınıflandırma durumlarında ve aykırı gözlemler içeren veri setlerinde daha dayanıklı hale getirir (Gelman vd., 2021). Robit modelinde, normal gözlemler büyük değerler ile ağırlıklandırılırken, aykırı değerler daha küçük değerler ile ağırlıklandırılır. Bu yaklaşım sayesinde, iki kategorili bağımlı değişkenli modellerde aykırı gözlem olması durumunda, robit regresyon yöntemi önerilmektedir (Li vd., 2023).

3. Model Performans Ölçütleri

Logit ve Probit modellerinde hangi modelin daha başarılı olduğunu anlamak için karşılaştırmalarda yaygın olarak Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC) kullanılır. Bu kriterler, modellerin olabilirlik fonksiyonlarına dayalı olarak, EÇO Tahmincisi ile elde edilen değerler üzerinden hesaplanır. Kullanılan diğer ölçüler arasında Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, OHK), Brier Skoru, F1 Skoru, Doğruluk (Accuracy), Duyarlılık (Recall), Seçicilik (Specificity), Kesinlik (Precision) ve Eğri Altındaki Alan (AUC) bulunmaktadır. Bu ölçüler, modellerin tahmin doğruluğunu ve sınıflandırma yeteneklerini çok yönlü değerlendirmeye olanak sağlar. Örneğin, OHK ve Brier Skoru, tahmin edilen olasılıkların gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu ölçerken, F1 Skoru, sınıflar arasındaki dengesizliklerde bile modelin performansını dengeli bir şekilde yansıtır. Doğruluk, genel doğru sınıflandırma oranını verirken, duyarlılık ve seçicilik modelin pozitif ve negatif sınıfları ne kadar doğru ayırt ettiğini gösterir. Kesinlik ise pozitif sınıflandırmaların güvenilirliğini ölçer. AUC ise modelin farklı eşik değerlerindeki ayırt etme gücünü ifade ederek, özellikle model karşılaştırmalarında kritik bir ölçüt olarak kabul edilir. Bu ölçütlerin seçilmesinin temel nedeni, her birinin model performansının farklı yönlerini değerlendirmesi ve böylece modellerin güçlü ve zayıf yanlarının kapsamlı biçimde ortaya konabilmesidir. Çalışmada kullanılan regresyon modellerinin performanslarını karşılaştırmak için kullanılan istatistikler Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Model Performans Ölçüleri ve Tanımları

Model Performans Ölçüleri	*Formül*	*Açıklama*
AIC	$-2LL + 2p$	Burada LL, log olabilirlik değerini, p ise parametre sayısını ifade etmektedir.
BIC	$-2LL + plog(n)$	Denklemde yer alan n, örneklem sayıdır. AIC ve BIC kriterleri aykırı gözlem varlığında güvenilir sonuçlar üretmemektedir (Acquah (2017).
OHK	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\lvert y_i - \hat{y}_i\rvert$	Hataların mutlak değerinin ortalamasıdır. Aykırı gözlemlere karşı dayanıklıdır. Bu değer 0'a ne kadar yakınsa modelin o kadar iyi olduğu ifade edilir (Chicco vd., 2021).
F1 skoru (Rijsbergen, 1979)	$2.\frac{Kesinlik.Duyarlılık}{Kesinlik + Duyarlılık}$	Sınıflandırma probleminde kullanılır. Duyarlılık, model tarafında gerçek pozitiflerin doğru bir şekilde tahmin edilme olasılığıdır. Seçicilik, gerçek negatiflerin doğru tahmin edilme olasılığıdır. Başarılı bir modelde hem duyarlılık hem de seçiciliğin yüksek olması beklenir. DP,
Duyarlılık	$DP/(DP + YN)$	
Seçicilik	$DN/(DN + YP)$	
Kesinlik	$DP/(DN + YP)$	

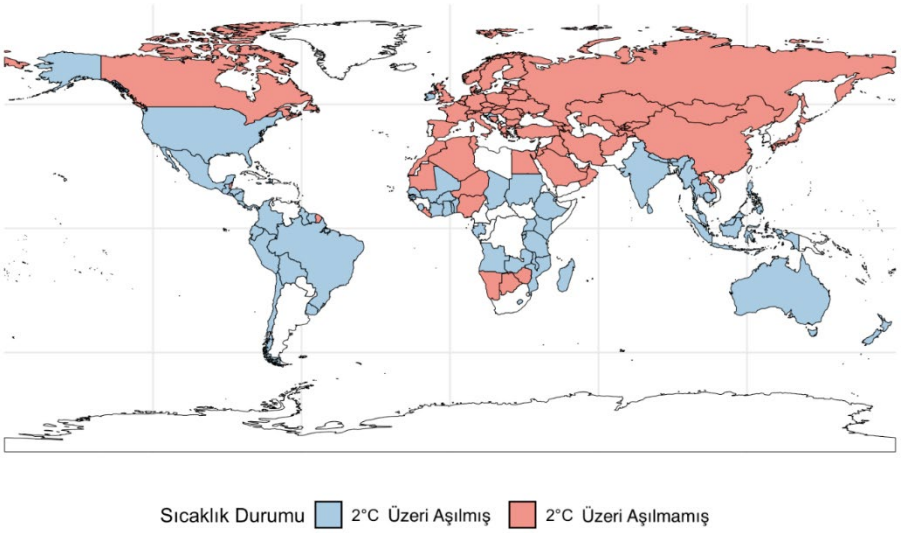
Doğruluk	$(\boldsymbol{DP}+\boldsymbol{DN})/(\boldsymbol{DP}+\boldsymbol{YP}+\boldsymbol{YN}+\boldsymbol{DN})$	doğru pozitif, DN, Doğru negatif, YP, yanlış pozitif, YN, yanlış negatifi ifade eder.
Brier skor (Glenn, 1950)	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{\rho}_i - y_i)^2$	Burada $\hat{\rho}_i$ tahmin edilen olasılığı y_i ise gerçek değerlerin kare farklarının ortalamasıdır.
AUC (Hanley ve McNeil, 1982)		Modelin sınıflarını doğru ayırt etme başarısını ölçer. Bu değerin 0.7'den büyük olması istenir ve değer 1'e ne kadar yakın olursa o kadar iyi olduğunu gösterir (Hosmer vd., 2013).

4. Veri ve Değişkenler

Çalışmanın amacı, SKA13 İklim Eylemi ve aynı yıl imzalanan Paris Anlaşması doğrultusunda uygulanan politikaların, sıcaklık artışı üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu amaç için incelenecek faktörler çevresel faktörler, politika faktörleri ile sosyo-ekonomik faktörler olarak üç grupta ele alınmıştır. Bu çalışmada, 2022 yılına ait veriler kullanılmış ve veri bütünlüğü sağlanabilen, Paris Anlaşması'nı imzalamış 141 ülke analiz kapsamına alınmıştır. Diğer ülkeler, özellikle sıcaklık artışı ve doğal kaynak rantı değişkenlerine ilişkin eksik gözlemler nedeniyle değerlendirme dışı bırakılmıştır. Doğal kaynak rantı, ülkelerin ekonomik yapısının çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini yansıttığı için modelde kilit bir bağımsız değişken olarak değerlendirilmiştir. Aynı şekilde, sıcaklık artışı verisi, çalışmanın temel sınıflandırma kriteri olan 2°C eşiğini aşan ve aşmayan ülkeler ayrımının yapılabilmesi açısından zorunludur. Bu nedenle, söz konusu iki değişkende gözlem eksikliği bulunan ülkelerin çalışmadan çıkarılması metodolojik tutarlılık açısından gerekli görülmüştür. Ancak, doğal kaynak rantı verisi için çevresel etkilerin gecikmeli yansıması dikkate alınarak 2021 yılı verisi tercih edilmiştir.

Bu çalışmada bağımlı değişken, ülkelerin küresel sıcaklık artışı açısından 2°C eşiğini aşıp aşmama durumunu yansıtan iki kategorili nitel bir değişken olarak tanımlanmıştır. 2022 yılına ait iklim verileri temel alınarak, her bir ülkenin ortalama sıcaklık artışı değerlendirilmiş ve sıcaklık artışının 2°C'yi aştığı ülkeler 1, 2°C eşiğini aşmayan ülkeler 0 olarak kodlanmıştır. Bağımlı değişkenin ülkeler bazında coğrafi dağılımını görselleştirmek amacıyla Harita 1 sunulmuştur. 2022 yılına ait haritada 2°C eşiğini aşan ülkeler kırmızı ve 2°C eşiğini aşmayan ülkeler ise mavi renk ile gösterilmektedir.

Harita 1. Çalışmaya Dahil Edilen Ülkelerin 2°C Sıcaklık Artış Durumu



Kaynak: Berkeley Earth, 2022

Ülkelerin 2022 yılına ait ortalama sıcaklık artışının 2°C eşiğini aşıp aşmadığına dair Harita 1 incelendiğinde, bu sınırı aşan ülkelerin çoğunlukla kuzey yarımkürede yoğunlaştığı görülmektedir. Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutmayı ve mümkünse 1.5°C'de sınırlamayı amaçlamaktadır. Ancak, Harita 1'de görülen dağılım, 2015 yılından itibaren yürürlüğe konan SDG'ler ve iklim politikalarının küresel anlamda 2022'ye kadar geçen sürede alınan önlemlerin birçok ülke için yeterli olmadığını göstermektedir.

Çalışmada kullanılan açıklayıcı değişkenler, üç ana kategori altında gruplandırılmıştır: çevresel faktörler, politika faktörleri ile sosyo-ekonomik faktörler. Çevresel faktörler, karbon emisyonlarının ekonomik üretim düzeyine göre yoğunluğunu ifade eden karbon emisyon yoğunluğu (kg CO_2e / GSYH), ülkelerin doğal kaynaklara dayalı ekonomik bağımlılığını gösteren doğal kaynak rantı ve ülkelerin fiziksel ya da geçişsel iklim risklerine maruz kalma durumunu yansıtan iklim riski değişkenlerinden oluşmaktadır. Politika faktörleri, ülkelerde karbon fiyatlandırma aracı olarak uygulanan karbon vergisinin varlığını gösteren ikili değişken ile sera gazı

emisyonlarının azaltımına yönelik uygulanan politika ve stratejilerin başarı düzeyini yansıtan iklim politikası başarı durumu değişkenini kapsamaktadır. Sosyo-ekonomik faktörler ise, ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeylerini temsil eden gelir grubu değişkeni ile modellenmiştir. Gelir grubu, Dünya Bankası sınıflandırmasına göre dört ayrı düzeyde (düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelirli) belirlenen kukla değişkenlerle ifade edilmiştir. Bu gruplandırma sayesinde, sıcaklık artışı üzerinde etkili olabilecek çevresel baskılar, kurumsal politika uygulamaları ve yapısal ekonomik farklılıklar bir bütün çerçevede analiz edilebilmektedir. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait veri bilgileri ve veri kaynakları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Değişken Bilgileri

Değişken kısaltması	***Değişken adı***	***Değişken tanımı***	***Kaynak***
SCK	Sıcaklık Artışı	Ülkede sıcaklık artışının 2°C'yi aşıp aşmadığını gösteren kukla değişken Sıcaklık artışı 2°C'yi aşmış ise 1 Sıcaklık artışı 2°C'yi aşmamış ise 0	https://berkeleyearth.org
KRBN	Karbon Emisyon Yoğunluğu	Tarım, enerji, atık ve sanayi sektörlerinden kaynaklanan karbon dioksit emisyon yoğunluğu (kg CO_2e/GSYH)	https://data.worldbank.org
KV	Karbon Vergisi Alınan Ülkeler	Ülkede karbon vergisi uygulanıp uygulanmadığını gösteren kukla değişken Vergi uygulanıyor ise 1 Vergi uygulanmıyor ise 0	https://data.worldbank.org
İR	İklim Riski	Ülkenin iklim riskine maruz kalıp kalmadığını gösteren kukla değişken Risk var ise 1 Risk yok ise 0	https://data.worldbank.org
DGLK	Doğal Kaynak Rantı	Petrol, doğal gaz, kömür, maden ve orman gibi doğal kaynakların toplam ekonomik rantı, (GSYH %)	https://data.worldbank.org
İP	İklim Politikası Başarı Durumu	Ülkede emisyon azaltımına yönelik benimsenen iklim ve enerji politikalarının uygulama başarısını gösteren değer	https://climatepolicydatabase.org
GG	Gelir Grubu	Ülkelerin gelir seviyesi (Kukla Değişken) Ülke düşük gelirli ise 1, değilse 0 Ülke alt-orta gelirli ise 1, değilse 0 Ülke üst-orta gelirli ise 1, değilse 0 Ülke yüksek gelirli ise 1, değilse 0	https://data.worldbank.org

Sürekli Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistik Değerleri

Değişkenler	*minimum*	*ortalama*	*maksimum*	*standart sapma*
KRBN	0.000	0.4493	1.9131	0.3476608
DGLK	0.000	6.8374	43.4459	9.21926

Çalışmada yer alan sürekli değişkenlere ait tanımlayıcı istatistiklerin yer aldığı Tablo 2 incelendiğinde, KRBN değişkeni için minimum değer ile maksimum değer arasında büyük fark olmadığı ortalamadığı ortalamanın ise 0.449 olması daha çok küçük değerlerin veri setinde yer aldığı göstermektedir. DGLK değişkeni için minimum ve maksimum değer arasındaki fark büyük olup ortalama 6.83'tür. Maksimum değer 43.44 iken ortalamanın bu kadar küçük olması ve 9.2193 standart sapma değerinin çok yüksek olması aykırı değer olma ihtimalini güçlendirmektedir.

5. Tahmin Sonuçları

İki kategorili nitel bağımlı değişkenli modelleri tahmin etmek için logit ve probit modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat, EÇO tahmincisinin aykırı gözlemler karşında güvenilir sonuçlar vermemesi durumunda robit regresyon yönteminin kullanılması önerilmektedir. Tablo 3'te logit, probit ve robit regresyon yöntemine ait tahmin sonuçları yer almaktadır. Robit modeli için serbestlik derecesi Newson ve Falcaro (2023) tarafından önerilen 2 ve Kang ve Schafer (2007) tarafından önerilen 4 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Model Tahmin Sonuçları

Yöntem	***Logit***	***Probit***	***Robit(s.d.=2)***	***Robit(s.d.=4)***
Değişkenler			*Katsayılar*	
Sabit	-2,2887**	-1,2681**	-2, 3291**	-1,7014***
	(1,0173)	(0,5794)	(0,9865)	(1,1300)
KRBN	4,5034**	2,1290*	5,4473***	3,7351***
	(1,8139)	(1,1348)	(1,4725)	(1,3611)
KV	2,0356**	1,1419**	1,9290**	1,5063**
	(0,9023)	(0,5271)	(0,8239)	(0,7918)
İR	4,2734***	2,4131***	4,1490**	3,1570**
	(1,5409)	(0,7891)	(1,7284)	(1,7116)
DĞL	-0,0579*	-0,0258	-0,0733**	-0,0492**
	(0,0355)	(0,0199)	(0,0332)	(0,0316)
İP	-0,3633*	-0,2796*	-0,4393*	-0,3678*
	(0,2721)	(0,1557)	(0,2297)	(0,2237)
GG(Alt-orta)	0,8431	0,6040	0,4309	0,4781
	(0,8776)	(0,5060)	(0,7996)	(0,6271)
GG(Üst-orta)	1,7285**	1,0550**	1,4572*	1,1971*
	(0,8017)	(0,4542)	(0,8311)	(0,6299)
GG(Yüksek)	3,0505***	1,7318***	2,8160***	2,2207***
	(0,9234)	(0,5127)	(0.9125)	(0,6685)
KRBN*KV	-2,7976	-1,2089	-3,7547*	2,4306*
	(1,7721)	(1,0658)	(1,9322)	(1,4657)
İR*İP	-1,5299**	-0,8425***	-1,5634**	-1,1537**
	(0,6109)	(0,3341)	(0,6591)	(0,4866)

Not: (i) *,**,*** %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyine ifade etmektedir.

(ii) Parantez içindeki değerler robust (dayanıklı) standart hataları göstermektedir. Robust standart hatalar, modelde varyansın sabit olmaması durumunda daha doğru ve tutarlı tahminler sunar.

(iii) Karşılaştırma grubu: Düşük gelirli ülke olarak alınmıştır. Düşük gelirli ülke, veri setindeki frekansı en düşük olan grup olduğu için karşılaştırma grubu olarak seçilmiştir.

Tablo 3'te elde edilen sonuçlara göre, Logit, probit, robit (s.d.=2) ve robit (s.d.=4) modellerinde Karbon Emisyon Yoğunluğu (KRBN), (Karbon Vergisi) KV ve İklim Riski (İR) değişkenlerinin katsayıları pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu değişkenlerin sıcaklık artışının 2°C'yi aşma olasılığı üzerinde pozitif ve anlamlı etkilere sahip olduğunu göstermektedir. İklim Politikası Başarı Durumu (İP) değişkeni üç modelde de negatif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Benzer şekilde Doğal Kaynak Rantı (DGL) değişkeni de sıcaklık artışının 2°C'yi aşma olasılığı üzerinde negatif etkiye sahiptir. Fakat bu değişken logit ve robit modelleri için negatif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilmesine rağmen, probit modeli için negatif işaretli ama istatistiksel olarak anlamlı değildir. Gelir gruplarına ait katsayıların işaretleri gelir seviyesi arttıkça genel olarak sıcaklık artışının 2°C'yi aşma olasılığı üzerinde pozitif eğilim göstermekte; alt-orta gelir grubunda ise etkilerin net olmadığı görülmektedir. Etkileşim terimleri KRBNKV ve İRİP negatif işaretli olup, bu değişkenlerin birlikte etkisinin bağımsız etkilerden farklı ve azaltıcı yönde olduğunu göstermektedir. Tüm modellerde işaretlerin tutarlı olması, değişkenlerin ilişkilerinin yönü konusunda sağlam bir bulgu sunmaktadır.

Yapılan analizde, çevresel, politik ve sosyo-ekonomik faktörlerin sıcaklık artışının 2°C'yi aşma olasılığı üzerindeki etkileri incelendiğinde, her üç faktör grubunun da belirleyici olduğu görülmektedir. Çevresel faktörler kapsamında değerlendirilen karbon emisyon yoğunluğu (KRBN), doğal kaynak rantı (DĞL) ve iklim riski (İR) değişkenlerinden KRBN ve İR pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur; bu da karbon yoğun üretim yapısının ve iklim risklerine maruz kalmanın küresel ısınmayı artırıcı etkide bulunduğunu göstermektedir. Buna karşın, doğal kaynak rantının (DĞL) negatif işaretli olması, doğal kaynaklara dayalı ekonomik yapıların bu olasılığı azaltıcı yönde bir etkiye sahip olabileceğini düşündürmektedir. Politika faktörleri açısından, karbon vergisi (KV) değişkeni pozitif ve anlamlı bulunmuş; bu sonuç, karbon fiyatlandırma politikalarının uygulandığı ülkelerde emisyon düzeylerinin hâlâ yüksek olabileceğine veya vergi uygulamasının gecikmeli etkilerine işaret edebilir. Öte yandan, iklim politikası başarı durumu (İP) değişkeni üç modelde de negatif ve anlamlıdır; bu da etkili ve başarılı iklim politikalarının sıcaklık artışı olasılığını azaltmada önemli rol oynadığını göstermektedir. Sosyo-ekonomik faktör olarak ele alınan gelir grubu (GG) değişkeni ise, genel olarak gelir düzeyi arttıkça bu olasılık üzerinde pozitif etkilerin ortaya çıktığını göstermekte, bu da yüksek gelirli ülkelerdeki yüksek üretim ve tüketim düzeylerinin çevresel baskıyı artırabileceğini düşündürmektedir. Alt-orta gelir grubunun, düşük gelir grubuna göre pozitif fakat anlamsız bir etkisi olduğu bulunmuştur. Teorik olarak, üst-orta ve yüksek gelir grubuna geçerken sanayileşme, enerji tüketimi ve karbon emisyonları daha belirginleşmektedir. Fakat alt-orta gelir grubu henüz bu eşiği tam olarak geçmemiş olabilir. Bu sebeple

düşük ve anlamsız katsayı bulunduğu düşünülmektedir.

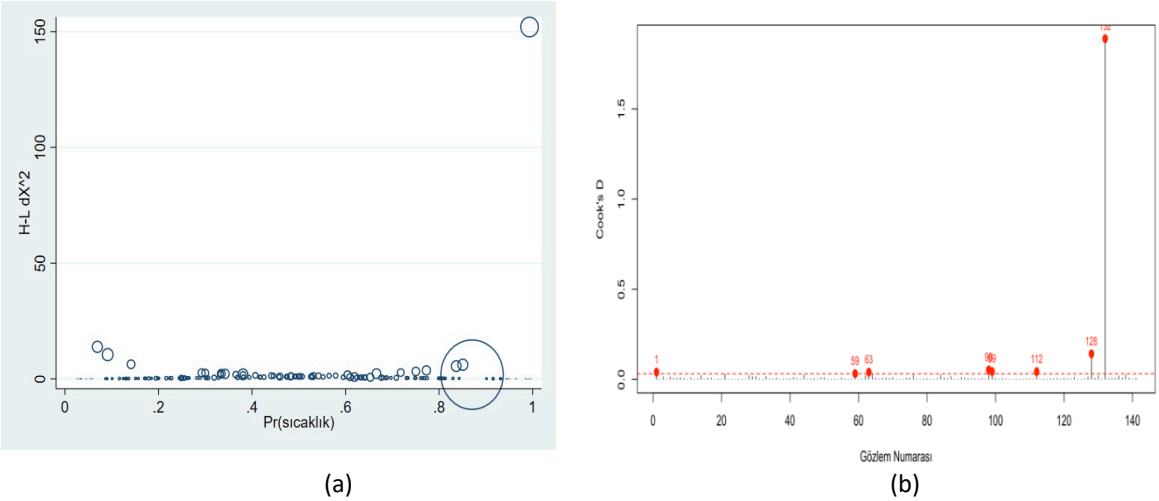
Ayrıca, KRBNKV ve İRİP etkileşim terimlerinin negatif işaretli ve anlamlı olması, çevresel ve politik faktörlerin birlikte ele alındığında, bağımsız etkilerinden farklı olarak azaltıcı bir etki ortaya koyabildiğini göstermektedir.

Etkileşim terimlerinin negatif ve anlamlı bulunması, çevresel ve politik faktörlerin birlikte ele alındığında birbirlerinin etkilerini dengeleyici bir rol üstlenebileceğini göstermektedir. Karbon emisyon yoğunluğu ve iklim riski değişkenleri tek başlarına sıcaklık artışı olasılığını artıran unsurlar olarak öne çıkarken, karbon vergisi ve iklim politikalarının başarı düzeyi bu olumsuz etkileri sınırlandırıcı yönde işlev görebilmektedir. Özellikle etkileşim terimlerinin negatif işaretli olması, politika araçlarının çevresel baskılarla birlikte değerlendirildiğinde daha etkili sonuçlar üretebildiğini ve bu politikaların riskleri azaltıcı yönde çalıştığını ortaya koymaktadır. Modelde pozitif ana etkilerle birlikte negatif ve anlamlı etkileşim terimlerinin bulunması, bu değişkenlerin etkilerinin birbirine bağlı ve koşullu olduğunu göstermektedir. Örneğin, karbon emisyon yoğunluğu sıcaklık artışı üzerinde artırıcı bir etkiye sahipken, bu etkinin şiddeti karbon vergisinin varlığına bağlı olarak değişmektedir. Karbon vergisi uygulanan ülkelerde, karbon yoğun üretimin sıcaklık artışı üzerindeki etkisi zayıflamakta; benzer şekilde, iklim riski yüksek olsa dahi, etkili iklim politikaları bu riskin olumsuz etkisini azaltmaktadır. Bu durum, politika araçlarının yalnızca doğrudan etkiler değil, aynı zamanda çevresel risklerin etkilerini yumuşatma kapasitesi açısından da önemli rol oynadığını göstermektedir. Negatif ve anlamlı bulunan etkileşim terimleri, çevresel risklerle karşı karşıya kalan ülkelerin, bu risklere karşı politika tepkileri geliştirdiklerinde olumsuz etkilerin azalabileceğini göstermektedir. Karbon emisyon yoğunluğu ve iklim riski, sıcaklık artışı üzerinde pozitif etki yaratsa da; karbon vergisi uygulaması ve başarılı iklim politikaları bu etkilerin gücünü azaltmakta ve çevresel risklerin olumsuz sonuçlarını sınırlandırmaktadır. Bu bulgular, çevresel faktörlerin doğrudan etkilerinden ziyade, bu faktörlerle birlikte yürütülen politika uygulamalarının şekillendirici etkisine işaret etmektedir. Dolayısıyla, etkileşim terimlerinin negatif olması, çevresel risklerin kontrol altına alınmasında politika-tepki uyumunun önemini ortaya koymaktadır.

Aykırı değerler (outlier) veri setinde olağandışı, normal dağılımdan sapmış gözlemlerdir. Bu değerler, özellikle lojistik (logit), probit ve robit modellerinde tahminlerin sapmasına, parametre tahmincilerinin sapmalı olmasına neden olabilir. Aykırı değerlerin varlığı, modellerin performansını doğrudan değiştirebileceği için, öncelikle bu değerlerin tespiti ve uygun şekilde ele alınması gerekir. Özellikle robit modeli, aykırı değerlere karşı daha dayanıklı olduğundan, aykırı değerlerin etkisi gözlemlendikten sonra modellerin performansı karşılaştırılmalıdır.

Logit regresyon analizinde aykırı gözlem olup olmadığını görebilmek için Pregibon (1981) ve Hosmer, Lemeshow ve Sturdivant (2013) tarafından önerilen Beta Balon etki ve Cook's D (1977) grafikleri Şekil 3'te yer almaktadır.

Şekli 2. (a) Beta Balon Grafiği, (b) Cook's D Grafiği



(a) (b)

Kaynak: Yazarlar Tarafından Oluşturulmuştur.

Logit modelinde gözlemlerin katsayılar üzerindeki etkilerini ve model uyumuna katkı düzeyini göstermek için Beta Balon grafiği Şekil 2a'da yer almaktadır. Grafiğin yatay ekseninde, elde edilen tahmini olasılıklar (Pr) yer almaktadır. Dikey eksende ise Hosmer-Lemeshow $\Delta\chi^2(dx^2)$ etki istatistiği gösterilmektedir. Grafikte uyuma çok etkisi olan gözlemlerin ve balonların büyüklüğü, modelin katsayılarına en çok etki eden gözlemleri ifade etmektedir; yani, bu gözlemler aykırı gözlem olma ihtimali taşıdığını göstermektedir. Şekil 2b'de ise Cook's D grafiği yer almaktadır, bu grafiğe göre çalışma verisinde farklı büyüklüklere ait aykırı gözlemlerin yer aldığı görülmektedir.

Bu çalışmada Logit, probit, robit (s.d.=2) ve robit (s.d.=4) modellerinin performansları, farklı model değerlendirme ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Tablo 4'te logit, probit ve robit modellerinin farklı performans ölçütleri ile karşılaştırılması

sunulmaktadır.

Tablo 4. Logit, Probit Ve Robit Regresyon Yöntemlerine ait Performans Değerleri

Model Performans Ölçütleri	Logit	Probit	Robit (s.d.=2)	Robit (s.d.=4)
AIC	161,8	164,2	156,9	159,9
BIC	194,3	196,6	189,4	192,4
MAE	0,3222	0,3341	0,3002	0,3596
Brier	0,1567	0,1613	0,1501	0,1539
F1	0,7727	0,7481	0,7794	0,7669
Doğruluk	0,7872	0,766	0,7872	0,7801
Duyarlılık	0,7500	0,7206	0,7794	0,7500
Seçicilik	0,8219	0,8082	0,7945	0,8082
Kesinlik	0,7969	0,7778	0,7794	0,7846
AUC	0,8511	0,8449	0,8594	0,8568

Tablo 4 sonuçlarına göre, 2 serbestlik dereceli robit modeli AIC ve BIC kriterlerinde en iyi uyumu robit modelinin sergilediğini göstermektedir. Robit (s.d. =2) modeli, OHK açısından en düşük hata değerlerine sahip olup, tahminlerde daha isabetli sonuçlar vermektedir. Brier Skoru bakımından da 2 serbestlik dereceli robit (0.150) diğer üç modele göre daha düşük bir değerle, olasılık tahminlerinin gerçek değerlere daha yakın olduğunu ortaya koymaktadır. F1 skoru, sınıflar arasındaki dengeyi gözeterek modelin genel sınıflandırma performansını yansıtır; burada da 2 serbestlik dereceli robit modeli (0.7794) en yüksek değeri elde ederek, özellikle dengesiz sınıf dağılımlarında daha dengeli bir performans sergilemektedir. Doğruluk (Accuracy) metriğinde robit ve logit modeli yaklaşık %79 ile en iyi sonucu verirken, probit modeli %76,6 seviyesinde performans göstermektedir.

Duyarlılık ölçütüne göre, 2 serbestlik dereceli robit modeli pozitif sınıfları belirlemede üstünlük sağlarken seçicilik ölçütüne göre negatif sınıfları ayırt etmede logit modeli 2 serbestlik dereceli robit ve 4 serbestlik dereceli robit modelinden üstünlük sağlamaktadır. Kesinlik ölçütüne göre ise 4 serbestlik dereceli robit modeli çok düşük fark ile 2 serbestlik dereceli robit modelinden daha başarılıdır ve daha yüksek doğrulukta pozitif sınıf tahmini yapmaktadır. AUC değerlerine göre 2 serbestlik dereceli robit modeli en yüksek ayırt edicilik gücüne sahiptir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, tüm ölçülere göre 2 serbestlik dereceli robit model, her iki modele kıyasla daha başarılı performans göstermektedir.

İki kategorili nitel tercih modellerinde, bağımlı değişken yalnızca iki kategoriden (0 ve 1) oluştuğundan, modelden elde edilen katsayılar olasılık üzerindeki doğrudan etkileri açıklamazlar. Bu nedenle, bağımsız değişkenlerin olasılık üzerindeki gerçek etkilerini değerlendirebilmek için marjinal etkiler hesaplanır. Bu çalışmada, karşılaştırmalı değerlendirmeler sonucunda en iyi performansı gösteren model olarak 2 serbestlik dereceli robit modeli belirlenmiş ve değişkenlerin olasılık üzerindeki etkilerini daha doğru yorumlayabilmek amacıyla bu model üzerinden marjinal etkiler hesaplanmıştır.

Logit, probit ve robit modellerinde katsayılar, bağımsız değişkenlerin olasılığa etkisinin dönüşümü üzerindeki etkisini gösterir; bu nedenle etkilerin büyüklüğünü anlamak için marjinal etkiler hesaplanır. Marjinal etkiler, bağımsız değişkendeki küçük bir değişikliğin, hedef olayın gerçekleşme olasılığındaki değişimi ifade eder. Özellikle robit modeli, aykırı değerlere karşı daha dayanıklı olmasıyla marjinal etkilerin güvenilirliğini artırır. Böylece katsayıların işareti etkinin yönünü, marjinal etkiler ise büyüklüğünü daha net ortaya koyar.

Etkileşim değişkenleri için marjinal etkileri yorumlamak daha karmaşık ve dikkat gerektiren bir konudur. Çünkü etkileşim terimleri, bağımsız değişkenlerin etkilerinin birbirine bağlı olduğunu gösterir; dolayısıyla bir değişkenin marjinal etkisi, diğer değişkenin değerine bağlı olarak değişir.

Robit (s.d.=2) modele ait marjinal etkiler Tablo 5'te verilmiştir. Marjinal etkiler, bir değişkendeki bir birimlik artışın, olayın gerçekleşme olasılığını ne kadar değiştirdiğini gösterir ve bu sayede model sonuçları daha yorumlanabilir hale gelir.

Tablo 5. Robit (s.d.=2) Regresyona ait Marjinal Etkiler

Değişkenler	***Marjinal Etkiler***
KRBN	0,9869 ***
KV	0,3495 ***
İR	0,7516 ***
DĞL	-0,01328**
İP	-0,0795*
GG(Alt-orta)	0,0568
GG(Üst-orta)	0,2376*
GG(Yüksek)	0,5025***
KRBN*KV	-0,6802 ***
İR*İP	-0,2832***

Not: (i) *,**,*** %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyine ifade etmektedir.

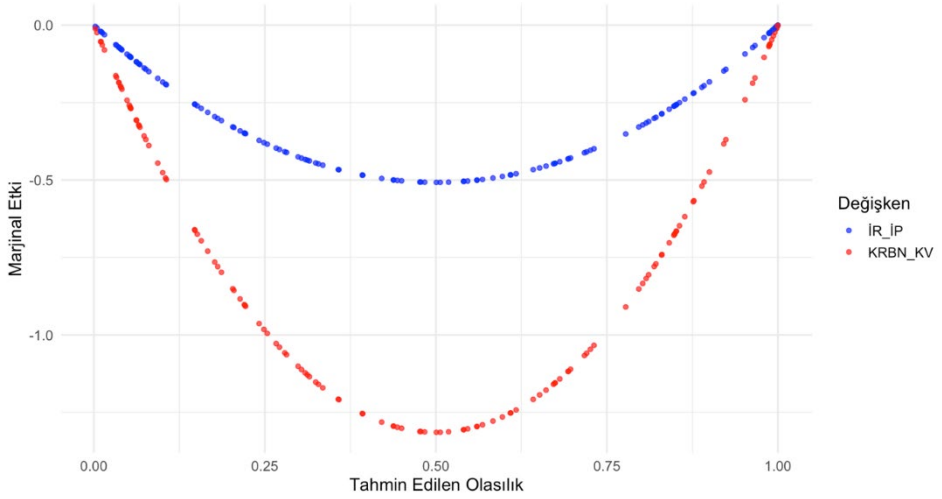
(ii) Karşılaştırma grubu: Düşük gelirli ülke olarak alınmıştır. Düşük gelirli ülke, veri setindeki frekansı en düşük olan grup olduğu için karşılaştırma grubu olarak seçilmiştir.

Karbon emisyon yoğunluğunu (KRBN) temsil eden değişkenin yüksek ve anlamlı marjinal etkisi (%98,69), karbon salımının yüksek olduğu ülkelerde çevre politikalarının ve yeşil tercihlerin daha yaygın olduğunu göstermektedir. Karbon vergisi (KV) değişkeninin pozitif ve anlamlı marjinal etkisi (%34,95) düşündürücüdür, çünkü, karbon vergisinin azaltıcı etkisi olduğu beklenmektedir. Bunun sebebi her ne kadar vergi alınsa da karbon emisyonu küresel bir salınımdır ve az sayıda ülkenin hareket etmesi azaltıcı etkiye hemen sebep olmayabilir, diğer bir değişle bu değişkenin negatif etkisini görebilmek için uzun zaman incelemesi gerektirebilir. Bir diğer neden karbon vergisi alınan ülkelerde sanayileşme çok gelişmiş olabilir. İklim riski algısını temsil eden İR değişkeninin pozitif ve anlamlı marjinal etkisi (%75,16), iklim değişikliğinin ciddi bir tehdit olarak algılandığı ülkelerde çevresel politikaların ve uygulamaların daha fazla desteklendiğini göstermektedir. Doğal kaynak rantı (DGLK) değişkeninin küçük ancak anlamlı negatif etkisi (%–1,32), doğal kaynak zenginliği fazla olan ülkelerde çevresel politikaların ve sürdürülebilir uygulamaların daha az dikkate alındığını göstermektedir. İklim politikaları başarı durumu (İP) anlamlı ve etkisi negatif (%-7,95) olarak belirlenmiştir. Bu bulgu önemlidir çünkü iklim politikalarının uygulanmasının küresel ısınma üzerinde azaltıcı etki yaratabildiğini göstermektedir. Gelir grubu (GG) değişkeni alt-orta, üst-orta ve yüksek gelir grubu düşük gelir grubuna göre değerlendirilmiştir. Alt-orta gelir grubunun marjinal etkisi (%5,68) anlamlı bulunmazken üst-orta ve yüksek gelir grubu pozitif ve anlamlı marjinal etkileri (sırasıyla, %23,76, %50,25) pozitif ve anlamlıdır. Bu durum, gelir grubu seviyelerinin sanayileşmeyle ilişkisinden kaynaklanabilir. Yüksek gelir seviyesi daha yoğun sanayileşmeyle ilişkisi olmasından daha fazla emisyon salınımına ve dolayısıyla sıcaklık artışına yol açabilir.

İki kategorili nitel tercih modellerinde katsayı yorumları marjinal etkiler hesaplanarak yapılmaktadır. Ai ve Norton (2003) çalışmasında, logit ve probit modellerde etkileşim değişkeninin marjinal etkiler üzerinden yorumlanmasının yanlış olabileceğini ifade etmişlerdir; bu sebeple çalışmada etkileşimli değişkenlerin her bir gözlem için marjinal etki ve olasılık değerlerini grafik üstünde incelemiştir.

Bu çalışmada tahmin edilen nitel tercih modellerinde KRBN*KV ve İR*İP etkileşim değişkenleri yer almaktadır. Fakat etkileşimli modellerde, marjinal etkilerin değişkenler arasında sabit olmaması, geleneksel marjinal etki yorumunu zorlaştırmaktadır. Marjinal etki, bir değişkendeki bir birimlik artışın bağımlı değişken üzerindeki etkisini ifade eder. Ancak etkileşim terimleri içeren modellerde bu etkinin büyüklüğü sabit değildir ve değişkenlerin düzeyine bağlı olarak farklılaşabilir. Bu nedenle, etkileşim değişkeni içeren modellerde katsayıların işareti ile tahmin edilen olasılıkların yönü her zaman örtüşmeyebilir. Bu durumu ortaya koymak için, katsayı değerleriyle elde edilen tahmini olasılıkların karşılaştırmalı olarak dağılım grafiği ile görselleştirilmesi önerilmektedir. Böylece, özellikle etkileşimli terimlerin olduğu modellerde, katsayının işaretiyle olasılık üzerindeki etkinin yönü arasında tutarsızlık olup olmadığı daha net şekilde analiz edilebilir. Bu sebeple modelde yer alan iki etkileşimli değişken olan İR*İP ve KRBN*KV değişkenlerine ait tahmin edilen olasılık ve marjinal etki değişkenine ait grafik Şekil 3'te sunulmuştur.

Şekil 3. Tahmin Edilen Olasılık Fonksiyonuna Göre Etkileşim Değişkenleri



Kaynak: Yazarlar Tarafından Oluşturulmuştur.

Modelde yer alan etkileşimli değişkene ait tahmin edilen olasılık ile etkileşim değişkeninin yer aldığı Şekil 3 incelendiğinde, iki etkileşimli değişken için tüm değerlerin negatif olduğu görülmektedir. Bu sebeple, olasılık modellerinde etkileşimli değişkenlerin yorumlanması doğru olmasa dahi Şekil 3'teki grafikten faydalanarak sıcaklık artış olasılığını nasıl etkilediğini görebilmekteyiz. Bu grafiğe göre her iki etkileşimli değişkende, sıcaklığın artma olasılığını azaltmaktadır; diğer bir anlamıyla, İR ve KRBN değişkenleri tek başına sıcaklık artış olasılığı artırıyorken, İP ve KV bu değişkenleri ile birlikte değerlendirildiğinde negatife dönmesine ve uygulanan politikaların gerekli olduğunu göstermektedir.

Karbon emisyonu yoğunluğu, karbon vergisi uygulaması, iklim riski algısı ve gelir düzeyi gibi yapısal ve algısal değişkenler çevresel tercihler üzerinde güçlü ve anlamlı etkilere sahiptir. Buna karşın, politika başarısına duyulan güvenin ve doğal kaynak rantının bazı durumlarda bireylerin çevreye yönelik davranışlarını olumsuz yönde etkileyebileceği görülmektedir. Etkileşimli değişkenler ise, bu ilişkilerin sabit olmadığını, koşullara göre anlamlı biçimde değiştiğini göstermektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, 2015 yılında BM tarafında ilan edilen SDG hedefleri ve Paris Anlaşması kapsamında yürürlüğe giren küresel iklim değişikliğine uyum politikalarının, devletlere mali yük oluşturup oluşturmadığını veya küresel sıcaklık artışı üzerinde etkili olup olmadıklarını göstermektedir.

Çalışmada, ikili dağılım verilerini modellemek için yaygın olarak kullanılan logit, probit regresyon yöntemlerinin dışında dayanıklı olasılık modeli olan robit regresyon yöntemi 2 ve 4 serbestlik dereceleri de kullanılmaktadır. Bu yöntem veri setinde aykırı gözlemler olması durumunda, logit ve probit modellerinin aksine güvenilir sonuçlar üretmektedir. Tercih edilen üç regresyon yöntemine ait model performans metrikleri ve aykırı gözlem varlığı incelendiğinde robit (s.d.=2) regresyon yönteminin kullanılması gerektiği görülmüştür.

Robit (s.d.=2) regresyon yöntemine ait marjinal etkiler incelendiğinde, karbon emisyon yoğunluğu ve iklim riski tehlikesi sıcaklık artış olasılığı arttırmaktadır. Ülkelerin karbon vergisi uygulaması dahi tek başına sıcaklık artış olasılığını negatife çevirememektedir. Çalışmada kullanılan yatay kesit veri yapısı nedeni ile karbon vergisi ile sıcaklık artışı arasındaki ilişki, nedensellikten çok aynı dönemde birlikte gözlemlenen bir ilişki olarak değerlendirilmektedir. Özellikle karbon vergisi uygulamalarının genellikle yüksek emisyon seviyelerine ve artan iklim riskine sahip ülkelerde aynı dönemde hayata geçirilmesi, bu pozitif ilişkiyi açıklayabilir. Ayrıca, karbon vergisi uygulamalarının genellikle politika sürecinin başlangıç aşamasında olması, kısa dönemde sıcaklık artışı üzerinde ölçülebilir bir azaltıcı etki yaratmamasına yol açmış olabilir. Bu bulgu, karbon vergisinin etkinliğinden ziyade politika zamanlaması ve aynı dönemli ilişki yapısının sınırlamalarını yansıtmaktadır. Bu sebeple sonraki çalışmalar için uzun dönem incelemesi önerilmektedir. İklim politikaları başarı puanındaki artış, sıcaklığın 2°C üzerine çıkma olasılığını azaltmaktadır. Bu bulgu, iklim politikalarının uygulanmasının küresel iklim uyumu için gerekli olduğu göstermektedir. Doğal kaynak rantındaki artış faktörü de sıcaklık artış olasılığını negatif etkilemektedir. Doğal kaynak rantının sıcaklık artışını azaltıcı yönde bir etki göstermesi, kaynak yoğunluğu ile çevresel bozulma arasında literatürde sıklıkla vurgulanan pozitif ilişki beklentisiyle tam olarak örtüşmemektedir. Bununla birlikte, elde edilen bulgu Chen vd., (2023), Khaddage-Soboh vd., (2023) ve Anwar ve Sharif (2025) gibi çalışmaların sonuçlarıyla uyumludur. Bu durum, doğal kaynak gelirinin kullanım biçimleri, ülkelerin üretim yapılarındaki farklılaşmalar ve kaynak rantlarının çevresel yatırımlara veya temiz teknolojilere yönlendirilmesiyle ilişkili olabilir. Doğal kaynak rantı yüksek ülkelerde üretim süreci doğal kaynak çıkarmaya yönelik olabilir. Yeni teknolojilerin kullanımı daha az emisyon salınımına neden olmasından kaynaklı bu değişken sıcaklık artış olasılığını negatif etkilemektedir. Ülkelerin gelir grupları arttıkça sıcaklık artışı pozitif etkilenmektedir; bunun sebebi üretim temelli fosil yakıt kullanımının fazla olmasına dayanmaktadır.

Olasılık modellerinde etkileşimli değişkenlerin katsayı işaretlerini incelemek için marjinal etki ve olasılık değerleri incelendiğinde, İR*İP ve KRBN*KV değişkenleri sıcaklık artışı üzerinde negatif etkiye sahip olduğu bulunmuştur. İklim riski ve karbon emisyon yoğunluğu tek başına sıcaklık artış olasılığı artırıyorken, iklim politikası başarı durumu ve karbon vergisiyle beraber değerlendirildiğinde küresel sıcaklık artış olasılığını azaltabileceği bulunmuştur. Bu sonuç önemlidir; çünkü, iklim politika çalışmalarının gerekli olduğunu ve iklim değişikliği adaptasyonuna yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma, sıcaklık artışının 2°C'yi aşma olasılığı üzerinde etkili olan çevresel, politik ve sosyo-ekonomik faktörleri karşılaştırmalı modeller aracılığıyla analiz etmiştir. Elde edilen bulgular, karbon emisyon yoğunluğu ve iklim riskinin sıcaklık artışı üzerinde anlamlı ve pozitif etkiler yarattığını, yani karbon yoğun üretim yapıları ile iklim risklerine maruz kalmanın küresel ısınma riskini artırdığını göstermektedir. Buna karşın, doğal kaynak rantının negatif işaretli olması, doğal kaynaklara dayalı ekonomik yapıların bu olasılığı azaltıcı yönde etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Politika faktörleri açısından, karbon vergisinin pozitif işaretli ve anlamlı bulunması, karbon fiyatlandırma araçlarının tek başına yeterli olmayabileceğini veya etkisinin zamanla ortaya çıkabileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık, iklim politikası başarı durumu değişkeninin negatif ve anlamlı etkisi, güçlü ve etkin iklim politikalarının küresel ısınma riskini azaltmada önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Sosyo-ekonomik düzeyde ise, gelir seviyesi arttıkça sıcaklık artışı olasılığının yükseldiği bulgusu, yüksek gelirli ülkelerdeki üretim ve tüketim alışkanlıklarının çevresel baskıyı artırdığına işaret etmektedir. Ayrıca, çevresel ve politik değişkenler arasındaki etkileşimlerin negatif ve anlamlı olması, bu iki faktörün birlikte ele alındığında bağımsız etkilerinden farklı olarak sıcaklık artışı üzerindeki baskıyı azaltabildiğini göstermektedir. Bu bulgular, iklim değişikliği ile mücadelede yalnızca yapısal çevresel koşulların değil, bu koşullara verilen politika tepkilerinin de belirleyici olduğunu ve çevre-politika uyumunun iklim hedeflerine ulaşmada kritik

bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmanın dikkat çekici bulgularından biri, çevresel risklerin (karbon emisyon yoğunluğu ve iklim riski) sıcaklık artışı üzerinde tek başına artırıcı bir etki yaratmasına rağmen, bu etkilerin etkili iklim politikaları ve karbon fiyatlandırma araçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde azaldığının görülmesidir. Bu durum, politika araçlarının yalnızca bağımsız etkileriyle değil, çevresel değişkenlerle olan etkileşimleri aracılığıyla da iklim değişikliği ile mücadelede etkili olabileceğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada robit modelinin logit ve probit modellerle birlikte kullanılması, bulguların metodolojik sağlamlığını artıran önemli bir tercihtir. Aykırı değerlere karşı daha dirençli olan bu model, özellikle çevresel ve ekonomik göstergelerin uç değerler içermesi olasılığına karşı sonuçların güvenilirliğini test etme amacı taşımaktadır. Robit modelinde de temel değişkenlerin işaret ve anlamlılık düzeylerinin büyük ölçüde korunmuş olması, ulaşılan ilişkilerin yapısal ve tutarlı olduğunu göstermekte; bu da önerilen politika çıkarımlarını güçlendirmektedir. Çevresel ve iklimle ilgili veriler, doğaları gereği uç gözlemler ve dağılım sapmaları içerebilir. Bu bağlamda, çalışmada robit modelinin logit ve probit modellere ek olarak kullanılması, elde edilen ilişkilerin aykırı değerlerden etkilenip etkilenmediğini test etme açısından kritik bir adımdır. Robit modelinin aykırı değerlere karşı gösterdiği dayanıklılık sayesinde, özellikle politika ve çevresel değişkenlerin etkilerine dair ulaşılan sonuçların daha güvenilir ve genellenebilir olduğu söylenebilir. Bu yaklaşım, çevre-politika ilişkisini değerlendirirken metodolojik sağlamlık ve analitik derinlik açısından çalışmaya önemli bir katkı sunmaktadır.

Çalışma, iklim politikalarının etkilerini aykırı gözlemlere dayanıklı robit modeli ile analiz ederek yöntemsel açıdan önemli bir katkı sunmaktadır. Fakat, mevcut veri kısıtları nedeni ile analiz tek yıllık kesit veri üzerinden gerçekleştirilmiş olup, bu durum çalışmanın en önemli kısıtını oluşturmaktadır. Buna rağmen, incelenen dönem için anlamlı bulgular elde edilmiştir. Özellikle karbon vergisi ve iklim politikalarının etkilerinin genellikle orta ve uzun vadede ortaya çıktığı göz önüne alındığında, gelecek çalışmalarda mümkün olduğunca zaman boyutunun daha fazla olduğu panel veriler kullanılması önerilmektedir. Bu yol ile sözkonusu politikaların dinamik etkilerinin daha kapsamlı şekilde incelenmesi mümkün olabilir.

Sonuç olarak, iklim değişikliğinde adaptasyon için uygulanan politikaların gerekli olduğu ve sadece iş ve mali yük olmadığını ortaya koyulmaktadır. Üst-orta ve yüksek gelir grubundaki ülkelerin en fazla emisyon salınıma sebep olması düşüncesiyle karbon vergilerinin bu ülkelerde daha yüksek olması gerekmektedir. Bu doğrultuda, uzun dönemli karbon fiyatlandırılmasına belirli karbon eşiğini aşan tüm ülkeler için uygulanması ve enerji verimliliği artırtacak teknolojilere yatırım yapılması önerilmektedir. İklim politikaları sadece ulusal değil, yerel yönetimler düzeyinde uygulanmalı böylece iklim değişikliği adaptasyonu için daha hızlı sonuçlar alınması beklenmektedir.

İklim riski taşıyan bölgelerin iklim kırılganlığının yüksek olması, aynı zamanda hem düşük hem de alt-orta gelirli ülkeler olmaları sebebiyle, bu bölgelere uluslararası finansman destekli adaptasyon ve direnç politikalarının uygulanmasının ön planda olması gerektiği düşünülmektedir. Çalışmamızdaki önemli bulgu, "küresel işbirliği" yapılması gerektiğidir. Çünkü emisyon salınımı, sıcaklık artışını etkileyen küresel bir sorundur. Salınım rüzgar yoluyla dünyanın her tarafına ulaşmaktadır; bu durum sadece salınım yapan ülkeyi değil, tüm ülkelerin iklim değişikliğindeki durumunu olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışma yöntem ve konu bakımından literatüre yeni bir alan açmaktadır. Gelecek çalışmalara öneri olarak, ülke bazlı hatta C40 cities gibi yerel düzeyde çalışmaların yapılması önerilmektedir. Zaman içerisinde değişkenlerin etkisinin daha net anlaşılması için panel veri yöntemlerine başvurulabilir. Aynı zamanda, ülkelerin uyguladığı farklı politikaların etkisi incelenebilir ve en etkili politikalar üzerinden ülkelerde iyileştirme çalışmaları için öneriler sunulabilir.

This research article has been licensed with Creative Commons Attribution - Non-Commercial 4.0 International License. Bu araştırma makalesi, Creative Commons Atıf - Gayri Ticari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.

Yazar Katkıları
Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağladıklarını beyan etmişlerdir.

Teşekkür Beyanı

Yazar(lar), çalışma için teşekkür beyanında bulunmamışlardır.

Destek Beyanı

Yazar(lar), çalışma için herhangi bir destekleyen beyanında bulunmamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazar(lar), çalışma için herhangi bir çıkar çatışması beyanında bulunmamışlardır.

Etik Beyanı

Yazar(lar), çalışma için Etik Kurul Onayı alınması gerekmediğini beyan etmişlerdir.

Kaynakça

Acquah, D. G. H. (2017). The effect of outliers on the performance of Akaike information criterion (AIC) and Bayesian information criterion (BIC) in selection of an asymmetric price relationship. Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences, (5), 32-37

Ai, C., & Norton, E. C. (2003). Interaction terms in logit and probit models. *Economics letters*, *80*(1), 123-129

Anwar, A., & Sharif, A. (2025). Can effective environmental policies reduce the burden of natural resources exploitation in emerging economies? Evidence from quantile regression. *Gondwana Research*, *140*, 181-193.

Armstrong McKay, D. I., Staal, A., Abrams, J. F., Winkelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., & Lenton, T. M. (2022). Exceeding 1.5 C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*, *377*(6611), eabn7950.

Arrhenius, S. (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251), 237–276. https://doi.org/10.1080/14786449608620846

Bedair, H., Alghariani, M. S., Omar, E., Anibaba, Q. A., Remon, M., Bornman, C., & Alzain, H. M. (2023). Global warming status in the African continent: sources, challenges, policies, and future direction. *International Journal of Environmental Research*, *17*(3), 45.

Berkeley Earth. (2022). *Open-source environmental data and analysis*. Erişim tarihi: 10 Ağustos 2025, https://berkeleyearth.org

Bilgili, F., Soykan, E., Dumrul, C., Awan, A., Önderol, S., & Khan, K. (2023). Disaggregating the impact of natural resource rents on environmental sustainability in the MENA region: a quantile regression analysis. *Resources Policy*, *85*, 103825

Callendar, G. S. (1938). The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 64(275), 223–240. https://doi.org/10.1002/qj.49706427503

_____Chen, F. F., Wang, Q. S., Umar, M., & Zheng, L. (2023). Towards sustainable resource management: The role of governance, natural resource rent and energy productivity. *Resources Policy*, *85*, 10402

Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *Peerj computer science*, *7*

Climate Policy Database. (2025). *Climate Policy Database*. Erişim tarihi: 1 Ağustos 2025, https://climatepolicydatabase.org

Cook, R. D. (1977). Detection of influential observation in linear regression. *Technometrics*, *19*(1), 15-18.

Copernicus Climate Change Service. (2025). *Temperature Indicators*. Erişim tarihi: 25 Ağustos 2025. https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/temperature

C40 Cities Climate Leadership Group, Inc. (2025). *C40 Cities: A global network of mayors of the world's leading cities that are united in action to confront the climate crisis*. C40. Erişim tarihi: 26 Ağustos 2025, https://www.c40.org

Damrah, S., Satrovic, E., Atyeh, M., & Shawtari, F. A. (2022). Employing the panel quantile regression approach to examine the role of natural resources in achieving environmental sustainability: does globalization create some difference?. *Mathematics*, *10*(24), 4795.

De Souza Mendonça, A. K., Silva, S. A. D., Pereira, L. Z., Bornia, A. C., & Andrade, D. F. D. (2020). An overview of environmental policies for mitigation and adaptation to climate change and application of multilevel regression analysis to investigate the CO2 emissions over the years of 1970 to 2018 in all Brazilian states. *Sustainability*, *12*(21), 9175.

Fourier, J. B. J. (1894). *The analytical theory of heat* (A. Freeman, Trans.). Cambridge University Press. (Original work published 1822)

Gelman, A., Hill, J., & Vehtari, A. (2021). *Regression and other stories*. Cambridge University Press.

Glenn, W. B. (1950). Verification of forecasts expressed in terms of probability. *Monthly weather review*, *78*(1), 1-3.

Hanley, J. A., & McNeil, B. J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, *143*(1), 29-36

Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression*. John Wiley & Sons

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Çalışma Grubu I Katkısı. IPCC. Erişim tarihi: 25 Ağustos 2025, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Çalışma Grubu II Katkısı. IPCC. Erişim tarihi: 25 Ağustos 2025, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

Intergovernmental Panel on Climate Change (2025). *Home*. IPCC. Erişim tarihi: 25 Ağustos 2025, https://www.ipcc.ch

Işık, C., Bulut, U., Ongan, S., Islam, H., & Irfan, M. (2024). Exploring how economic growth, renewable energy, internet usage, and mineral rents influence CO2 emissions: A panel quantile regression analysis for 27 OECD countries. *Resources Policy*, *92*, 105025.

Khaddage-Soboh, N., Safi, A., Rasheed, M. F., & Hasnaoui, A. (2023). Examining the role of natural resource rent, environmental regulations, and environmental taxes in sustainable development: Evidence from G-7 economies. *Resources Policy*, *86*, 104071

Keeling, C. D. (1960). The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere. *Tellus*, 12(2), 200–203. https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1960.tb01300.x

Lange, K. L., Little, R. J., & Taylor, J. M. (1989). Robust statistical modeling using the t distribution. *Journal of the American Statistical Association*, *84*(408), 881-896.

Li, Z., Liao, H., Tang, R., Li, G., Bie, Y., & Xu, C. (2023). An Efficient Bayesian Robit Model for Traffic Safety Modeling. In *CICTP 2023* (pp. 1592-1604).

Liu, C. (2006). Robit regression: a simple robust alternative to logistic and probit regression. *Applied Bayesian Modeling and Casual Inference from Incomplete-Data Perspectives*, 227-238.

Newson, R. B., & Falcaro, M. (2023). Robit regression in Stata. *The Stata Journal*, *23*(3), 658-682

Pregibon, D. (1981). Logistic regression diagnostics. *The annals of statistics*, *9*(4), 705-724.

Raparthi, K. (2021). Assessing the relationship between urban planning policies, gender, and climate change mitigation: Regression model evaluation of indian cities. *Journal of Urban Planning and Development*, *147*(2), 05021007.

Rijsbergen, C. V. (1979). Information retrieval 2nd ed buttersworth. *London*, *115*.

United Nations. (2025). *The 17 Sustainable Development Goals*. United Nations – Sustainable Development Knowledge Platform. Erişim tarihi: 26 Ağustos 2025, https://sdgs.un.org/goals

United Nations. (2015). *Paris Agreement.* United Nations Framework Convention on Climate Change. Erişim tarihi: 16 Ağustos 2025, https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf

United Nations / Global Goals. (t.y.). *Goal 13: Climate action.* Global Goals. Erişim tarihi: 10 Ağustos 2025https://globalgoals.org/goals/13-climate-action/

United Nations. (2025). *Paris Agreement*. United Nations. Erişim tarihi: 10 Ağustos 2025, https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement

World Bank. (2025). World Bank Open Data. Erişim tarihi: 1 Ağustos 2025, https://data.worldbank.org