

Kyoto Protokolü ve Türkiye'nin Uyum Sürecinin Değerlendirilmesi

Kyoto Protocol and Assessment of the Turkey's Compliance Process

Şaile Tuba ÖZTÜRK^(1*), Z. Fuat TOPRAK⁽²⁾

⁽¹⁾ *Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 21200, Diyarbakır, Türkiye.*

⁽²⁾ *Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21200, Diyarbakır, Türkiye.*

Received date: **15.05.2024**; Accepted date: **24.06.2024**; Published date: **03.07.2024**

Turkish Journal of Hydraulic (Türk Hid. Der.), Vol (Cilt): **8**, Number (Sayı): **1**, Page (Sayfa), **07-018**, (2024)

e-ISSN: **2636-8382**

SLOI: <http://www.dergipark.org.tr> *Correspondence e-mail: s.ozturk@firat.edu.tr

Özet

Tüm dünyada giderek etkisi artan iklim değişikliği küresel olarak önlem alınması gereken bir kriz haline geldi. Sanayi Devrimi sonrasında dramatik hale gelen insan kaynaklı sera gazı emisyonlarındaki artış iklimi olumsuz etkilemektedir. Önlem alınmazsa tüm canlıların yaşamında, geri dönüşümü yüzyıllar alacak veya hiç olmayacak şekilde tahribatlara sebep olacaktır. Bu durum devletleri ulusal ve uluslararası düzeyde mücadele etmeye teşvik etmiş ve iklim değişikliği ile mücadele için Birleşmiş Milletler öncülüğünde somut adımlar atılmıştır. Öncelikle Kyoto Protokolü'nün ön anlaşması niteliğinde olan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi imzalanmış, ardından Kyoto Protokolü ve Paris Sözleşmesi ile küresel çözüm arayışına devam edilmiştir. Bu çalışmada Kyoto Protokolü'nün onaylanmasının protokole taraf olan ülkelerden Türkiye üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu bağlamda öncelikle protokolün Birinci Taahhüt Dönemi (2008-2012) ve İkinci Taahhüt Dönemi (2013-2020) için Türkiye'nin sera gazı emisyonu endeksleri hesaplanmış ve gerçekleşen emisyonlar 1990 yılı (baz yılı) emisyon değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca Türkiye'nin 1990-2020 yıllarına ait gerçekleşen sera gazı emisyonu parametreleri esas alınarak, 2021-2050 yılları arası için Türkiye'nin emisyon trendi (gidişi) belirlenmiştir. Modelleme için Lineer Regresyon, ARIMA ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleri kullanılmıştır. Böylece hem bu yöntemlerin gidiş analizindeki kabiliyetleri belirlenmiş hem de Türkiye için ileriye yönelik tahminler yapılmıştır. Diğer taraftan emisyon azaltımında Türkiye'nin mevcut durumunun olası nedenleri ortaya konmuş ve emisyon azaltımındaki başarıyı artırmak için çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Keywords: Türkiye, Kyoto Protokolü, küresel ısınma, iklim değişikliği, Lineer Regresyon, ARIMA, YSA

Abstract

Climate change, which has an increasing impact on all over the world, has become a crisis that requires global precautions. The increase in human-induced greenhouse gas emissions, which became dramatic after the Industrial Revolution, negatively affects the climate. If no precautions are taken, it will cause damage to the living life that the recovery will take centuries or never be recovered. This situation encouraged states to fight at national and international levels, and concrete steps were taken under the leadership of the United Nations to combat climate change. First of all, the United Nations Framework Convention on Climate Change, which is the preliminary agreement of the Kyoto Protocol, was signed, and then the search for a global solution continued with the Kyoto Protocol and the Paris Agreement. In this study, the effects of the ratification of the Kyoto Protocol on Türkiye, one of the parties to the

protocol, were investigated. In this context, firstly the first and the second Commitment Periods (2008-2012 and 2013 - 2020) greenhouse gas emission indices were calculated for Turkey and the actual emissions were compared with the emission values of 1990 (base year). In addition, in the study, Türkiye's emission trend was determined for the period 2021-2050, based on greenhouse gas emission parameters determined for the period of 1990-2020. Linear Regression, ARIMA and Artificial Neural Networks (ANN) methods were used for modeling. Thus, the capabilities of these methods in trend analysis were assessed and future predictions were made for Türkiye. On the other hand, the possible reasons for the current situation in emission reduction have been revealed and various suggestions have been made to increase our success in emission reduction.

Keywords: Turkey, Kyoto protocol, global warming, climate change, Linear Regression, ARIMA, ANN

1. GİRİŞ (Introduction)

Atmosferin doğal sera etkisi dünyayı yaşanabilir kılarken, Sanayi Devrimi ile birlikte dünya nüfusunun artması ve refah düzeyinin yükselmesi sebebiyle insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı salımları artmıştır. Bunun sonucu olarak da insanlık küresel iklim değişikliği tehdidiyle mücadele etme durumuna gelmiştir. Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları, iklim değişikliği riskini doğurmakta ve bu risk başlıca çevresel tehdit olarak kabul edilmektedir [1].

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ye göre; iklim değişikliği, insan etkinlikleri (fosil yakıt kullanımı, sanayi süreçleri, arazi kullanımındaki değişiklikler, ormanların bozulması vb.) nedeniyle atmosfere salınan sera gazı birikimindeki hızlı artış sonucunda yerkürenin ortalama yüzey sıcaklıklarında artışa neden olmaktadır [2].

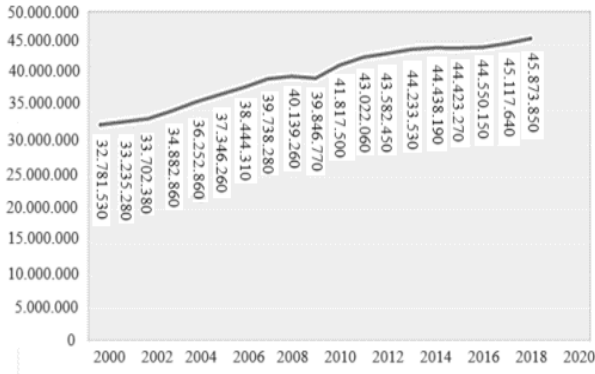
Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2022 Raporu; sera gazı emisyonlarında meydana gelen yükselişin 2100 yılına kadar yüzey ortalama sıcaklığını 3.2 °C arttıracakını tahmin etmektedir. Türkiye'de ise 2040 yılından itibaren ortalama yıllık sıcaklıkların 2.5°C ila 4°C arasında artış göstereceği öngörülmektedir [3]. IPCC 6. Değerlendirme Raporu; 1850'den bu yana son kırk yılın her birinin, kendisinden önceki on yıldan daha sıcak olduğunu belirtmektedir [4].

Yüzey sıcaklıklarında meydana gelen bu artış küresel ve yerel iklim dinamiklerinin tarihsel döngüsünün ötesinde değişimleri tetikleyecek, buzulların erimesi, deniz seviyelerinin yükselmesi ve sıcak hava akımları ya da yağış rejimlerinde keskin dalgalanmalar gibi pek çok sonu belirsiz değişikliğe sebebiyet verebilecektir [5]. İklim değişikliğinden ötürü günümüzde birçok ülke su kıtlığı yaşarken bir kısmının da gelecekte bu kıtlığı yaşayacağı tahmin edilmektedir [6]. Son IPCC raporu (AR6) da insan kaynaklı iklim değişikliğinin bugün dahi dünyanın her bölgesinde birçok olağan dışı hava ve iklim olaylarına neden olduğunu göstermektedir. Bu raporda ayrıca sıcak hava dalgaları, kuraklıklar, yoğun yağışlar ve tropik siklonlar gibi olağan dışı hava olaylarında gözlemlenen değişikliklerin ve özellikle bunların

insanlara etkilerinin, bir önceki rapordan (AR5) sonra daha da güçlendiğine dikkat çekilmiştir [4].

Karbon ayak izi kavramı insanın doğaya saldırdığı CO₂ miktarını temsil etmektedir ve insanlığın doğaya en büyük etkilerinden biridir [7]. Dünya sürekli bir karbon salınımına maruz kalmakta ve ekosistem bu salım etkisiyle giderek bozulmaktadır. Birleşmiş Milletler raporları ve akademik çalışmalar 1750'den günümüze sera gazı emisyonlarının kontrolsüz biçimde artmasının nedeni olarak insan kaynaklı faaliyetleri göstermektedir. Sanayileşme sonucu enerjiye olan ihtiyacın artması, teknolojik gelişmeler, fosil yakıt kullanımındaki artış, nüfus artışı ve kentleşme vb. faktörler doğaya olumsuz yönde etki eden insan kaynaklı faaliyetlere örnek olarak verilebilir. Bu faaliyetler yerkürenin giderek ısınmasına, buzulların üçte birinin erimesine ve deniz seviyesinin yükselmesine sebep olmuştur.

İnsan faaliyetlerinin sonucu olarak artan karbondioksit (CO₂), metan gazı (CH₄) ve ozon gazı (O₃) salımları ozon tabakasına zarar vermektedir. 1750'den günümüze karbondioksit (CO₂) konsantrasyonu %47 artarken, metan (CH₄) konsantrasyonu %156 ve nitroz oksit (N₂O) ise %23 artış göstermiştir. IPCC 6. Değerlendirme Raporu; 2019 yılı atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının son 2 milyon yılda olduğundan daha yüksek bir değerde olduğunu göstermektedir [4]. Bu nedenle fosil yakıt kökenli enerji kaynakları kullanımı sınırlandırılarak önlem planları yapılmalıdır. Konuya ilişkin 2013 yılına kadar ulaşılabilen tüm ulusal ve uluslararası literatür bazı çalışmalarda özetlenmiştir [8, 9, 10, 11]. Daha fazla detay için bu çalışmalara bakılabilir. Sera gazı emisyon düzeyleri açısından Türkiye küresel eğilimleri yansıtan verilere sahiptir. TÜİK 2023 Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu; Türkiye'nin 2021 yılındaki toplam sera gazı emisyonunun 564.4 mt CO₂ eşdeğeri olduğunu belirtmiştir. Buna göre, 2020 yılında 524.00 mt CO₂ eşdeğeri olan sera gazı emisyonları 2021 yılında bir önceki yıla göre yüzde 7.7 artış göstermiştir [12]. Atmosferde yükseliş eğiliminde olan karbon emisyonunun son 20 yılda küresel boyuttaki değişimini gösteren grafik Şekil 1'de verilmiştir [13].



Şekil 1. Dünya 2000-2020 sera gazı emisyon miktarları (kt CO₂ eşdeğeri)

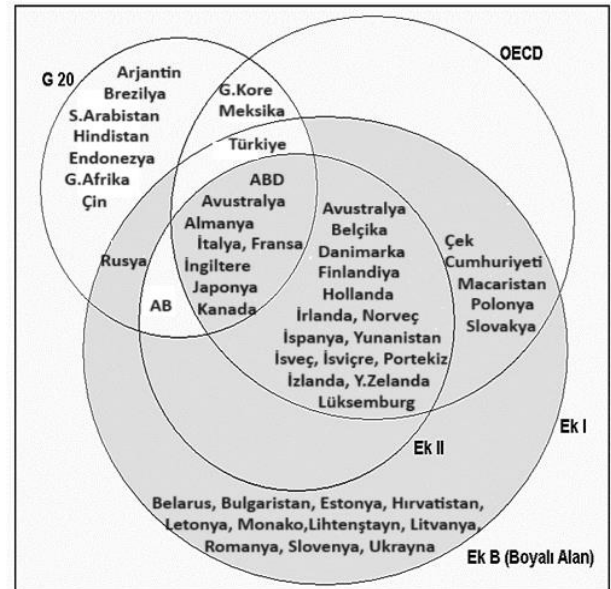
Son yıllarda, iklim değişikliği problemi, atmosfere ve yeryüzüne olan potansiyel ciddi etkileri sebebiyle, hayatın farklı alanlarındaki insanlar arasında uluslararası düzeyde tartışılan bir konu haline gelmiştir [8]. Küresel ısınma ve iklim değişikliği örneğine az rastlanır biçimde hem sosyal hem doğa bilimleri uzmanlarının çalışmalarını gerekli kılan disiplinlerarası bir nitelik taşımaktadır. İnsan kaynaklı iklim değişikliği, nedenleri ve sonuçlarına bakıldığında en basit insan kaynaklı faaliyetleri ilgilendirirken; sorunun anlaşılması, gerekli ölçümlerin yapılması ve etkilerin tahmin edilebilmesi için ise ileri teknoloji ve karmaşık bilimsel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır [14]. Küreselleşme süreci ile birlikte ulusal devletler çevre sorunları konusunda bir araya gelmiş, küresel çözüm önerileri oluşturmuş ve uluslararası kurallar konulmasını sağlamıştır [15]. Bu farkındalık neticesinde öncelikle 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi imzalanmıştır. Çevre sorunları için kilometre taşı olarak kabul edilen bu sözleşmenin amacı, karbondioksit ve sera etkisine neden olan diğer gaz emisyonlarını 2000 yılına kadar, 1990 yılı seviyelerine indirmektir. Sözleşme sera etkisini azaltabilmek için yalnızca gönüllü hedefler belirlemiştir. İklim değişikliği ile mücadelede 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü, BMİDÇS'nden farklı olarak bağlayıcı hedefler içermesinden ötürü hem bir 'ilk', hem de çok önemli bir adım olarak nitelendirilmektedir [16].

Kyoto Protokolü, ülkelerin emisyonlarını belirli bir zaman dilimi içinde sınırlamayı amaçlayan en önemli anlaşma olarak gösterilebilir [1]. Protokol iki dönemden oluşmaktadır. I. Taahhüt Dönemi 2008-2012 yıllarını kapsarken, II. Taahhüt Dönemi 2013-2020 yılları arasında kalan dönemdir. Bu iki dönem devletlere farklı yükümlülükler getirmesi açısından birbirinden farklıdır. I. Taahhüt Dönemi, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin Ek-I listesinde yer alan ülkelere toplam salımlarını 1990 yılı seviyelerine nazaran en az % 5 oranında azaltma yükümlülüğü getirmektedir [17]. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Ek I ve Ek II listeleri Tablo 1' de verilmiştir [18].

Tablo 1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Ek I ve Ek II listesi

Ek-I Ülkeleri (40+AB) Sanayileşmiş Ülkeler (26+AB)+ PEGSÜ (14)	Ek-II Ülkeleri (23+AB)
Sanayileşmiş Ülkeler: Almanya, ABD, AB, Avustralya, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, İngiltere, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Kanada, Lihtenştayn, Lüksemburg, Monaco, Norveç, Portekiz, Türkiye, Yeni Zelanda, Yunanistan.	Sanayileşmiş Ülkeler: Almanya, ABD, AB, Avustralya, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, İngiltere, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Kanada, Lüksemburg, Norveç, Portekiz, Yeni Zelanda, Yunanistan.
Pazar Ekonomisine Gecik Sürecinde Olan Ülkeler(PEGSÜ): Beyaz Rusya, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Letonya, Litvanya, Rusya, Macaristan, Polonya, Romanya, Slovakya, Slovenya, Ukrayna, Hırvatistan	

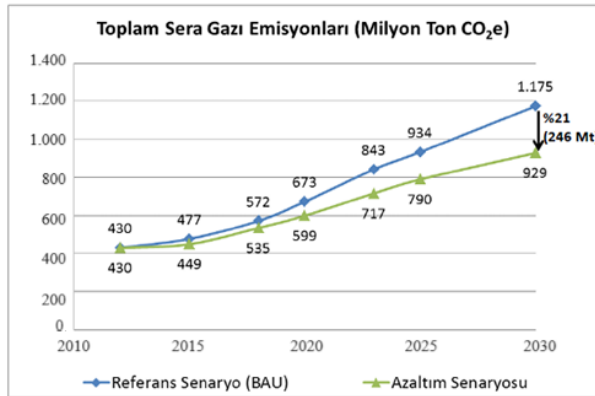
2013-2020'yi kapsayan II. Taahhüt dönemi ise I. Taahhüt döneminden farklı olarak Ek-B listesinde bulunan taraflara emisyonlarını 2020 yılında, 1990 baz yılına göre en az % 18 azaltması yükümlülüğü getirmiştir [17]. Ek-B listesinde bulunan ülkeler Şekil 2'de verilmiştir [18].



Şekil 2. Ülke pozisyonları

Şekil 2’de görüldüğü gibi Türkiye iklim değişikliği müzakereleri kapsamında dünyada tek olma özelliğine sahip bir Ek-I ülkesidir. 2001 yılında gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı’nda (COP7), BMİDÇS altında Türkiye’ye ilişkin olarak; Ek-I listesinde yer alan diğer taraflardan farklı bir konumda olması nedeniyle Türkiye’nin özel koşullarının tanınması, isminin Ek-I’de kalması ve Ek-II’den silinmesi yönünde karar alınmıştır. Dolayısıyla Türkiye Kyoto Protokolüne taraf ancak Ek-B dışı bir ülkedir. Yani Türkiye’nin herhangi bir salım sınırlandırma ve azaltım taahhüdü bulunmamaktadır. Türkiye aynı zamanda OECD ve G20 üyesidir. Ayrıca AB üyeliğine de aday bir ülkedir [18].

Türkiye küresel sorunla mücadelede çözüm odaklı anlayış ile hareket etmiş ve Paris Antlaşmasının kabulünden önce Eylül 2015’te kesin katkılar için ulusal niyet beyanını (INDC) sunarak sera gazı emisyonlarını referans senaryoya göre (1990 baz yılına göre), 2030 yılına kadar %21 azaltacağını belirtmiştir. Türkiye’nin niyet bildirimleri senaryosu Şekil 3’de görüldüğü gibidir ve tahmin edilen emisyon miktarı Türkiye’nin niyet bildirimleri ile 929 Mt olarak öngörülmüştür [19].



Şekil 3. Türkiye’nin İklim Değişikliğiyle Mücadele İçin Ulusal Katkı Niyeti Bildirimleri Senaryosu

Türkiye’nin iklim değişikliği kapsamındaki ulusal vizyonu ise; iklim değişikliği politikaları ile kalkınma politikalarını entegre ederek, enerji verimliliğini yaygınlaştırmak, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak, iklim değişikliğiyle mücadeleye aktif katılarak tüm vatandaşlarına düşük karbon yoğunluğu ile yüksek yaşam kalitesi sunabilen bir ülke olmaktır [13].

Dünyada iklim değişikliğinden en çok etkilenecek bölgeler arasında gösterilen Akdeniz havzasında yer alan Türkiye de iklim değişikliğinden etkilenecek risk grubu ülkeler arasında gösterilmektedir. Jeopolitik konumu itibarıyla Avrupa ile Asya’yı birbirine bağlayan Türkiye, hızlı büyüyen ve gelişimine devam eden ülkelerden

birdir. Bu durum Türkiye’nin enerji ihtiyacının giderek artmasına sebep olmaktadır. Ham petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtları ana enerji kaynağı olarak kullanan Türkiye neden olduğu karbon salımı ile çevre kalitesini düşürmektedir. İklimde meydana gelecek değişiklikler sonucunda, Türkiye’de ekosistemlerde bozulmalar, su kaynakları azalması, kuraklık, çölleşme, erozyon ve tarımsal üretkenlikte değişiklikler gibi birçok olumsuzluklar yaşanacağı tahmin edilmektedir [13]. Bütün bu etkilerin yanısıra meydana gelen ısı dalgalanmalarına bağlı olarak Türkiye’de bulaşıcı hastalıklar ve ölümlerde de artış olacağı öngörülmektedir [20].

Bu çalışmada iklim değişikliğinden en çok etkilenecek bölgeler arasında bulunan Türkiye’nin, uluslararası düzeyde mücadele arayışlarından önemli bir ‘ilk adım’ olarak nitelendirilen Kyoto Protokolü öncesi ve sonrası durumu değerlendirilmiştir. Ardından Türkiye’nin gelecekteki sera gazı emisyon değerleri literatürde de sık kullanılan zaman serisi yöntemleri ile (Lineer Regresyon, ARIMA, YSA) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Literatüre bakıldığında Türkiye’nin iklim değişikliği ile mücadelesi konusunda ve gelecekteki sera gazı emisyonlarının tahmininde çalışma sayısı oldukça az ve olanlar da benzer niteliktedir. Bu çalışmalardan aşağıda özetle bahsedilmiştir.

Literatürde Türkiye’nin uluslararası iklim değişikliği anlaşmalarına olan tutumu ve Kyoto Protokolü’nün Türkiye’ye olan etkilerini inceleyen çalışmalar mevcuttur. Karakaya vd. (2003)’te, Türkiye açısından Kyoto Protokolü’nü değerlendirmiş ve Türkiye’nin 1973-1999 döneminde CO₂ emisyonuna kaynaklık eden faktörler ve bu faktörlerin etkilerini Ayırıştırma Yöntemi (Decomposition Method) ile analiz etmiştir. Bu analiz, iklim değişikliğini önlemeye yönelik uluslararası adımların yanı sıra Türkiye’nin konumunu da incelemeyi amaçlamıştır [21]. Ayhan (2010) ise, çalışmasında enerji, çevre ve sürdürülebilir kalkınma kapsamında küresel iklim değişikliği sorununu ele almakta ve Türkiye’nin Kyoto Protokolü’ne yönelik analizini yapmaktadır [22]. Hocaoglu (2011)’de, Avrupa Birliği’nin iklim değişikliği politikalarını ve Türkiye’nin bu politikalara uyumunu incelemektedir [23]. Selçuk (2023) aynı şekilde, uluslararası iklim değişimi anlaşmalarının içerikleri, gelişim süreçleri ve Türkiye’nin bu anlaşmalara olan tutumu ile ilgili bilgiler vermiştir. Uluslararası iklim değişikliği anlaşmalarındaki sorunların aşılabilmesi için anlaşmaların hazırlık dönemlerinde, iklim değişikliğinden daha fazla etkilenen ülkelerin diğer ülkelere oranla daha çok söz sahibi olması önerisinde bulunmuştur [24]. Atamer (2008)’de, Türkiye’de iklim değişikliği politikalarının mevcut durumunu değerlendirmiştir. Çalışmada Türkiye’nin sera gazı emisyonları, iklim değişikliği riskleri ve bu konudaki politika çerçevesi incelenmiştir. Türkiye’nin iklim değişikliği politikalarını geliştirmek için öneriler ve

eylem planları sunulmuş, bu planların sera gazı azaltımı, enerji verimliliği, sürdürülebilir enerji kaynakları kullanımı gibi önemli alanları içermesi gerektiğine dikkat çekmiştir [25].

Literatürde özellikle Türkiye'nin gönüllü karbon ticareti ile ilgili çalışmalar dikkat çekmektedir. Taşdan (2008), Türkiye'nin düşük karbon ekonomisine geçiş sürecindeki finansman kaynaklarını ve bu süreçte gönüllü salım ticaretinin rolünü ele almış, ayrıca 2012 sonrası dönemde gelişmekte olan ülkelerin emisyon azaltımına katkıda bulunması gerektiğini vurgulamıştır [26]. Çetinkaya ve Sokulgan (2009) ve Çelikkol ve Özkan (2011)'de, karbon piyasalarını Türkiye açısından incelemiş, Kyoto Protokolü'nün karbon emisyon piyasası üzerindeki etkilerini ele almış ve karbon ticareti hakkında bilgi vererek hem genel hem de Türkiye açısından farkındalık yaratmayı amaçlamışlardır [27, 28]. Yalçın (2010) ve Bayrak (2012)'de, düşük karbon ekonomisinin sürdürülebilir kalkınma için neden önemli olduğunu irdelemiş ve Türkiye'nin düşük karbon ekonomisine yönelik politika ve uygulamalarını inceleyerek, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için atılması gereken adımları değerlendirmişlerdir [29, 30]. Konak (2011)'de, Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmalarını (Emisyon Ticareti ve Temiz Kalkınma Mekanizması) eleştirel olarak analiz etmiş, Kyoto Protokolü ve gönüllü karbon piyasası açısından Türkiye'nin durumunu gözden geçirerek bazı eleştirilerde bulunmuştur [31]. Binboğa (2014)'de, Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ne katılmama kararının, Türk şirketlerinin rekabet avantajını olumsuz etkileyip etkilemediğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Aynı zamanda küresel ısınmayı odağa alan şirketlerin stratejilerini inceleyerek Türkiye'nin karbon piyasalarına katılmasının avantajlı ve dezavantajlı durumlarını ele almıştır [32].

Gelecekteki sera gazı emisyon oranlarının tahmin edilmesi amacıyla literatürde farklı yöntemlerle yapılan birçok çalışma mevcuttur. Pabuçcu ve Bayramoğlu (2017)'de, Türkiye ve 28 AB ülkesinin 2020-2030 yılları arasında gerçekleşecek sera gazı emisyonu değerlerini Yapay Sinir Ağları metodunu kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Gayri safi milli hasıla, nüfus, enerji üretim ve tüketimi, ulaşımdan kaynaklı sera gazı salım değerleri gibi değişkenlerin de yer aldığı çalışma 2030 yılı emisyon değerini 1244,13 mt olarak tahmin etmiştir. Bu değer 2030 yılı emisyonunun Paris İklim Sözleşmesinde taahhüt edilen emisyon miktarının (929 mt CO₂ eşdeğeri) üzerinde olacağını öngörmektedir. Çalışma sonucunda yazarlar Türkiye'nin yenilenebilir enerji kullanımına geçmesini ve enerji verimliliğini arttırmasını önermişlerdir [33]. Rezaei ve arkadaşları da Norveç, Danimarka, İsveç ve Finlandiya olmak üzere dört İskandinav ülkesinin 1999-2016 yılları değerlerini baz alarak Yapay Sinir Ağları metodu ile karbon emisyon tahminlerini yapmaya çalışmışlardır. Çalışma sonucunda tahminlerin gerçeklere çok yakın olduğu ve

girdi olarak kullanılan GSYH, birincil enerji tüketimi ve kullanılan yakıt türleri gibi değişkenlerin İskandinav ülkeleri emisyon değeri tahmininde etkili olduğu belirtilmiştir [34]. Hamzaçebi ve Karakurt ise Türkiye'nin 1965-2012 değerlerinden yola çıkarak gri tahmin yöntemini kullanarak 2025 yılı enerjiye bağlı CO₂ emisyon değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak 2025 yılı atmosfere salınan CO₂ miktarını 496,404 mt olarak tahmin etmişlerdir ve gri tahmin yönteminin CO₂ emisyonu tahmininde kullanılabileceği kanısına varmışlardır [35]. Mercan (2016)'da, zaman serisi analizi kullanmış ve Türkiye'nin 1990-2013 yılları gerçekleşen sera gazı emisyon değerlerinden yola çıkarak, 2030 yılına kadar olan sera gazı tahminlerini yapmıştır [36]. Aynı şekilde Shaik ve arkadaşları da 1990-2013 yılları arasındaki verileri baz alarak 2030 yılı için enerji üretim tahminini ARIMA modeli ile yapmışlardır. Ayrıca çalışmada yenilenebilir enerji gelişim planı, hükümet planı ve mevcut durumun devamı şeklinde üç senaryo kurulmuş ve her bir senaryo için ayrı ayrı 2030 yılı su ayak izi ve karbon ayak izi değerleri tahmin edilmiştir. Çalışma neticesinde yenilenebilir enerji planı senaryosu diğer senaryolara göre daha fazla dikkate alınmalıdır kanısına varılmıştır [37]. Wang ve Ye, 2014-2020 yılları için fosil yakıt ağırlıklı enerji kullanımının neden olduğu karbon emisyonunu ARIMA ve doğrusal olmayan gri tahmin yöntemi ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışma ekonomik büyümenin hızının emisyon üzerindeki etkilerini göstermeyi hedeflemekte ve çözüm önerileri sunmaktadır [38]. Li ve arkadaşları, Pekin-Tianjin Hebei bölgesinde fosil yakıt kullanımı fazla olduğundan tüm ülkeyi temsilen bu bölgeyi seçerek, öncelikle gri tahmin yöntemini kullanmış ve 2017-2030 yılları arası karbon emisyon tahmini yapmışlardır. Daha sonra hibrit bir model olan SVM-ELM yöntemi ile tahminler yapmış ve her iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Neticede tahmin sonuçları 2027 yılından sonra bölgedeki karbon emisyonunun 97 mt'a ulaşacağını göstermiştir. Bu nedenle yazarlar hükümetin temiz enerjiye teşvik için politikalar geliştirmesi gerektiğini belirtmişlerdir [39]. Pao ve arkadaşları da Çin Halk Cumhuriyeti 1980-2009 yılları arasındaki gerçekleşen karbon emisyon değerlerini kullanarak, ARIMA, GM (1, 1) ve NGBM-OP modelleri ile 2009-2020 yılları emisyon tahminlerinde bulunmuşlardır. Modeller arasında en başarılı NGBM-OP bulunmuştur [40]. Hertwich ve Peters araştırmalarını daha küresel boyutta yapmışlardır. Dünyayı 14 bölgeye ayırmış ve 73 ulusun karbon ayak izi ve CO₂ ile diğer sera gazları emisyonları tahmini yapılmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda tüketim harcamaları ile CO₂ emisyonları arasında güçlü bir korelasyon olduğu ve zengin ülkelerde fakir ülkelere oranla sera gazı salımının daha düşük olduğu yazarlar tarafından belirtilmiştir [41]. Kunda ve Phiri (2017), veri madenciliği tekniklerini kullanarak Zambiya'nın karbon emisyon oranını tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında 1971-2014 yılları arası sektörlerden kaynaklanan emisyon oranlarını belirlemiş ve 2017-

2021 yılları için tahmin yapılmıştır. Sonuç olarak Zambiya'da en fazla karbon salınımı yapan sektörün ulaşım sektörü olduğu kanısına varılmış ve bu anlamda çözüm önerileri sunulmuştur [42].

2. MATERYAL VE YÖNTEM (*Materials and Methods*)

Bu çalışmada Kyoto Protokolü'nün Türkiye'ye olan etkilerini araştırma hedefi doğrultusunda Türkiye'ye ait 1990-2020 yılları arasındaki sera gazı ve CO₂ emisyonları değerlerine IGES (Institute of Global Environmental Strategies) Sera Gazı (GHG) Emisyonları veri tabanından ulaşılmıştır. Bu veri tabanı Ek I ülkeleri tarafından iki yılda bir rapor edilen sera gazı ve CO₂ emisyonlarını sunmaktadır. Veri tabanından ulaşılan bilgiler doğrultusunda öncelikle Türkiye'nin sera gazı endeks değeri hesaplanmıştır. Bu amaçla 1990 yılının emisyon değeri, endeks değeri olarak kabul edilmiştir (100). Sonraki yıllardaki emisyonlar, bu baz yıl değerine göre hesaplanmıştır. Endeks sonuçları, emisyonların 1990 yılına göre artış veya azalışını göstermektedir. Endeks değeri 100'ün altında ise emisyonlar azalmış, 100'ün üstünde ise artmıştır şeklinde yorumlanmıştır.

İkinci aşamada Türkiye'nin Kyoto Protokolü hedeflerine ulaşma durumu I. Taahhüt dönemi (2008-2012) ve II. Taahhüt dönemi (2013-2020) için gerçekleşen emisyon değerleri ile 1990 baz yılı emisyon değeri karşılaştırılmıştır ve grafiklendirilmiştir.

Günümüze kadar gerçekleşen emisyonların değerlendirilmesinin ardından Türkiye'nin 2021-2050 yılları arasında gerçekleşebilecek sera gazı emisyon değerleri üç farklı zaman serisi modeli kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2.1. Tahmin Modelleri:

Literatürde geçmiş dönemlerdeki veri parametrelerini kullanarak geleceğe yönelik tahminlerde bulunmaya çalışan pek çok zaman serisi modeli bulunmaktadır. ARIMA bu modeller arasında en çok kullanılan modellerdendir. Metot zaman serisini oluşturan değerler arasında doğrusal bir ilişki olduğunu varsayar ve bu ilişkiyi modeller. ARIMA durağan halde olan veya çeşitli yöntemlerle durağan hale getirilebilen zaman serilerine başarıyla uygulanabilen bir yöntemdir. Uygulamada ise birçok zaman serisi doğrusal olmayan ilişki içermektedir. Yapay Sinir Ağları (YSA) yapısı gereği hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilen bir yöntem olduğundan son yıllarda zaman serisi analizlerinde alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu modelin en önemli getirisi, fonksiyonel yapının tam olarak tespit edilemediği durumlarda birçok değişik formdaki fonksiyonel yapıları başarıyla modelleyebilmesidir. Uygulamada kullanılan

zaman serisi verilerindeki ilişkinin doğrusal ya da doğrusal olmaması konusunda kesin bir kanıya varmak güçtür [43]. Bu yüzden farklı modeller kullanılarak analizler yapılması ve bunların sonucunda yapılan iyileştirme ve geliştirmeler ile daha iyi tahminler yakalanabilir.

Bu çalışmada Lineer Regresyon, ARIMA (OtoRegressive Integrated Moving Average) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri, zaman serisi verilerini analiz etmek ve gelecekteki değerleri tahmin etmek için kullanılan istatistiksel yöntemlerdir.

2.1.1. Lineer Regresyon:

Zaman serisi analizinde lineer regresyon, zaman serisi verilerini açıklamak ve gelecekteki değerleri tahmin etmek için kullanılır. Zaman serisi analizinde lineer regresyon aşağıdaki adımları içerir:

- Bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkinin belirlenmesi,
- Regresyon modelinin kurulması ki bu model bağımlı değişkenin zaman içindeki değişimini açıklamalıdır,
- Modelin uygunluğunun değerlendirilmesi ve gelecekteki değerlerin tahmin edilmesi.

Lineer regresyon, zaman serisi verilerinin zaman içindeki değişimini doğru bir şekilde açıklayabilir, ancak model, verilerin gerçek dünyada nasıl davrandığını yeterince yakalayamaz.

2.1.2. ARIMA Modeli:

ARIMA, zaman serisi verilerini modellemek ve tahmin etmek için oldukça yaygın olarak kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. ARIMA, AutoRegressive Integrated Moving Average'nin kısaltmasıdır.

ARIMA aşağıdaki bileşenleri içerir:

- AR (AutoRegressive): Bu bileşen, geçmiş zaman noktalarındaki değerlerin bugünkü değeri üzerindeki etkilerini modellemek için kullanılır. ARIMA modeli, bu bileşeni içerir ve "p" parametresi ile belirlir.
- I (Integrated): Bu bileşen, zaman serisinin durağan hale getirilmesi için gereken fark alma işlemidir. ARIMA modeli, bu bileşeni içerir ve "d" parametresi ile belirlir.
- MA (Moving Average): Bu bileşen, geçmiş hataların bugünkü değeri üzerindeki etkilerini modellemek için kullanılır. ARIMA modeli, bu bileşeni içerir ve "q" parametresi ile belirlir.

ARIMA modeli, bir zaman serisinin karmaşıklığını ve

zaman içindeki değişiklikleri yakalamak için oldukça esnek bir modeldir. Uygun ARIMA modeli seçildiğinde, verilerin gelecekteki değerlerini tahmin etmek için kullanılabilir.

2.1.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağlarının temel görevi örnek veri setindeki yapıyı öğrenmesi ve bu çıkarımdan yola çıkarak genelleştirmeler yaparak istenilen görevi yerine getirmesidir [44]. Yapay bir sinir ağı, karar vermeyi işlemek için girdi katmanlarını, gizli sinir katmanlarını ve çıkış sinir katmanlarını içerir. Ağda nöron, çıktı bilgilerini sonraki katmana göndermeden önce bir girdiyi değiştiren temel yapıdır. Nöral bağlantıların mimarisi, doğrusal olmayan matematiksel işlemlerdir ve nöral katmanlar arasındaki etkileşimler karmaşık ve doğrusal olmayan davranışlarla sonuçlanır. Bazı açılardan insan beyninin sinirsel aktivitesine benzerler, ancak eğitimlerinde, davranışlarında ve kapasitelerinde farklılıklar vardır [45].

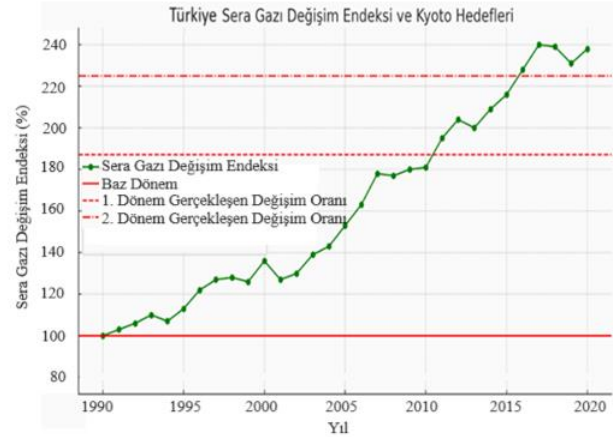
Bu çalışmada modelin tasarımı ve eğitimi aşamaları aşağıda adım adım verilmiştir.

- **Veri Hazırlığı:** İlk adım, veri setini modelin eğitimi için uygun hale getirmektir. Bu, eksik verilerin doldurulması, verilerin normalleştirilmesi ve gerekirse öznelik mühendisliği (feature engineering) yapılmasını içerir.
 - **Model Mimarisi:** YSA modeli, genellikle birden fazla gizli katmanına sahip olabilir. Her katmandaki nöron sayısı ve katman sayısı, modelin karmaşıklığını belirler.
 - **Eğitim:** Model, geçmiş verilere (1990-2020) dayanarak eğitilir. Bu süreçte, modelin ağırlıkları gerçek verilerle en iyi uyumu sağlayacak şekilde ayarlanır.
 - **Optimizasyon ve Kayıp Fonksiyonu:** Modelin eğitimi sırasında, genellikle geri yayılım (backpropagation) ve gradyan düşüşü (gradient descent) gibi yöntemler kullanılır. Modelin performansı, bir kayıp fonksiyonu (örneğin, ortalama karesel hata) ile değerlendirilir.
 - **Doğrulama ve Ayarlamalar:** Modelin genelleştirme kapasitesini değerlendirmek için doğrulama veri seti kullanılır. Gerekirse modelin hiperparametreleri (örneğin, öğrenme hızı, katman sayısı) ayarlanır.
 - **Model eğitimi tamamlandıktan sonra, 2021-2050 yılları için tahminler yapılır. Bu tahminler, modelin öğrendiği kalıpları ve ilişkileri kullanarak gelecekteki değerleri tahmin etmesine dayanır.**
- 2.2. Veri Analizi:** Verilerin analizi, Python ve SPSS programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, verilerin istatistiksel olarak incelenmesine ve sonuçların çıkarılmasına yardımcı olmuştur.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA (Research Findings and Discussion)

3.1. Türkiye Sera Gazı Değişim Endeksi ve Kyoto Hedefleri

Çalışmada Türkiye’de 1990-2020 yılları arasında gerçekleşen sera gazı emisyonları değişim endeksleri yüzde cinsinden hesaplanmış ve 1990 yılı baz değeri ile 1. dönem (2008-2012) ile 2. dönem (2013-2020) gerçekleşen ortalama endeks değerleri hesaplanarak grafiklendirilmiş ve Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 4. Türkiye sera gazı değişim endeksi (%) ve dönemsel endeksler(%)

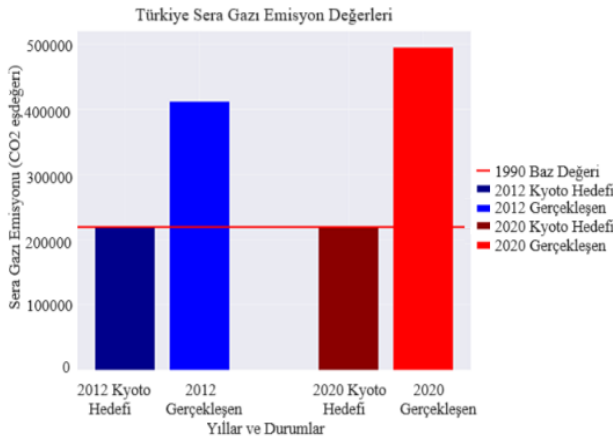
Şekil 4’te kırık çizgi yıllara göre sera gazı değişim endeksini göstermektedir. Kırmızı renkteki sürekli yatay çizgi 1990 yılı baz değerini göstermektedir. Kırmızı renkteki kesikli çizgiler ise her iki dönem için gerçekleşen emisyonları göstermektedir. 1990 yılı, Türkiye için belirlenen baz dönemdir. Bu yıl için sera gazı emisyon değeri sembolik bir değer olarak kabul edilmek üzere yüzde bazında 100 birim olarak kabul edilmiştir.

2008-2012 yılları arasında, Türkiye’nin 1. dönem ortalama emisyon değeri, 100 birime kıyasla artış göstermiş ve 1. dönem gerçekleşen değişim oranı %187 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde, 1990 baz yılı emisyon değerine göre %87’lik bir artış yaşanmıştır. Türkiye için belirlenen Kyoto Protokolü hedefi açıkça belirtilmemiş olsa da, eğer bir azaltma hedefi varsa, bu artış hedefin karşılanmadığını göstermektedir.

2013-2020 yılları arasında, Türkiye’nin 2. dönem ortalama emisyon değeri 100 birime kıyasla bu dönem de artış göstermiş ve 2. dönem gerçekleşen değişim oranı %225 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde de, 1990 baz yılı emisyon değerine göre %125’lik bir artış yaşanmıştır. Türkiye bu nedenle 2. dönem de emisyonunu azaltma hedefine ulaşamamış görünmektedir.

Gerçekleşen emisyon endeksleri her iki dönem için 100'ün üstünde kalmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin her iki dönemde de emisyonlarında artış yaşadığı ve Kyoto Protokolü'nün öngördüğü azaltma hedeflerine ulaşamadığı şeklinde yorumlanabilir.

Şekil 5'e göre Türkiye'nin baz dönem sera gazı emisyon değeri 219.720 ton (CO₂ eşdeğeri) olarak kaydedilmiştir. Kyoto Protokolü'nün I. dönemi olan 2008-2012 yılları arasındaki ortalama emisyon değeri ise 411.634 ton olarak hesaplanmıştır. Bu, 1990 baz yılına göre yaklaşık %87'lik bir artış anlamına gelir. Bu nedenle Türkiye'nin I. dönem sonucu "Başarısız" olarak değerlendirilmiştir. Kyoto Protokolü'nün II. dönemi olan 2013-2020 yılları arasındaki ortalama emisyon değeri ise 494.870 ton olarak hesaplanmıştır. Bu değer de yine %125'lik bir artışa işaret etmektedir. Sonuç olarak Türkiye'nin emisyonunu azaltma hedefinden II. dönem de uzaklaştığı ve bu dönem sonucunun da "Başarısız" olduğu şeklinde yorumlanabilir. Bu verilere dayanarak, Türkiye'nin 1990'dan 2020'ye kadar olan dönemde Kyoto Protokolü kapsamında belirlenen somut bir hedefi olmasa da azaltma hedeflerine ulaşamadığı söylenebilir.



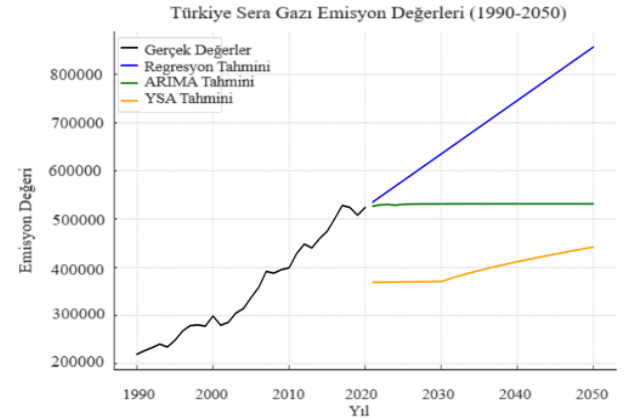
Şekil 5. Türkiye Kyoto Protokolü hedef emisyonları ile gerçekleşen emisyonların karşılaştırılması

3.2. Türkiye'nin Gelecekteki Sera Gazı Emisyon Değerlerinin Lineer Regresyon, ARIMA ve YSA ile Tahmini

Bu çalışmada Türkiye'nin 2020 yılından 2050 yılına kadar gerçekleşecek sera gazı emisyon değerleri üç farklı zaman serisi metodu ile tahmin edilmeye çalışılmıştır ve tahmin sonuçları Şekil 6'da sunulmuştur. Şekilde öncelikle Türkiye'nin 1990'dan 2020'ye kadar olan sera gazı emisyon değerlerindeki değişimi gösterilmiş ve 2050 yılı için üç farklı yöntem (Lineer Regresyon, ARIMA ve Yapay Sinir Ağları) kullanılarak yapılan tahmin sonuçları grafiklendirilmiştir.

Regresyon Tahmini emisyonunda diğer iki yönteme oranla çok daha yüksek oranda artış tahmin etmiştir. ARIMA

tahmini emisyonun bir miktar yükseleceğini fakat yükselmenin artarak devam edeceğini gösterirken, YSA başlangıçta emisyonları önceki yılların ortalaması bir değer almış fakat devamında diğer yöntemler gibi yükselme öngörmüştür. Fakat üç yöntemde de emisyonların başladıkları noktaya kıyasla genel olarak artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Üç tahmin yöntemi karşılaştırıldığında hassasiyet anlamında ARIMA modelinin daha hassas davrandığı söylenebilir. YSA'nın bu veri seti için çok sağlıklı sonuçlar vermediği veya uzun dönem zaman serisi tahminlerinde kullanıma çok da uygun olmadığı yorumu yapılabilir. Literatürde bu yöntem kullanılarak yapılan kısa dönem gelecek tahminleri başarılı olmuştur [33, 34]. Bu çalışmada YSA'nın başlangıç noktasında hata vermesinden yola çıkılarak uzun dönem gelecek tahminleri için kullanıma çok uygun olmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Lineer regresyon ise daha çok geçmiş verilerin gidişatını göstererek tahminlerde bulunduğu için çok hassas sonuçlar elde edilemeyeceği düşünülmüştür. Literatürde de sıkça kullanılan ARIMA modelinde iyileştirmeler ve geliştirmeler yapılarak sera gazı emisyon tahmininde daha yakın sonuçlar elde edilebileceği kanısına varılmıştır. Yapılacak çalışmalarda, daha farklı bağımsız değişkenler kullanılarak, değişken sayıları artırılarak veya farklı tahmin modelleri ile çalışılarak bu çalışmada yapılan tahmin modelleri ile karşılaştırmalar yapılabilir.



Şekil 6. Türkiye gerçekleşen (1990-2020) ve tahmini (2020-2050) sera gazı emisyon değerleri

Tablo 2'de 1990-2020 yılları Türkiye için IGES veri tabanından alınan, sera gazı gerçekleşen emisyon değerleri verilmiştir [46]. 1990 yılı emisyon değeri 219720.00 ton iken 2020 yılı emisyon değeri 523897.19 tondur. Bu, 30 yıllık süreçte %138.4'lük bir artışa işaret etmektedir.

Tablo 2. 1990-2020 yılları Türkiye sera gazı gerçekleşen emisyon değerleri (CO₂ eşdeğeri)

Yıl	Sera Gazı Emisyonu (CO ₂ eşdeğeri)
1990	219720

1991	227105	2030	635034	531476	370550
1992	233313	2031	646118	531537	375660
1993	240636	2032	657202	531568	380463
1994	234611	2033	668286	531605	384932
1995	248561	2034	679370	531599	389188
1996	267662	2035	690454	531621	393253
1997	278883	2036	701538	531630	397153
1998	280438	2037	712622	531634	400908
1999	277880	2038	723706	531640	404534
2000	299010	2039	734790	531640	408047
2001	279805	2040	745874	531643	411461
2002	285699	2041	756958	531644	414786
2003	304854	2042	768042	531645	418033
2004	314475	2043	779126	531646	421210
2005	336986	2044	790209	531646	424325
2006	357962	2045	801293	531646	427384
2007	391260	2046	812377	531647	430393
2008	387868	2047	823461	531647	433358
2009	395127	2048	834545	531647	436282
2010	398676	2049	845629	531647	439171
2011	428492	2050	856713	531647	442027
2012	448006				
2013	440049				
2014	459366				
2015	474470				
2016	500752				
2017	528312				
2018	524039				
2019	508078				
2020	523897				

Tablo 3’de ise 2021-2050 yılları arası Türkiye sera gazı emisyonu tahmini (Lineer Regresyon, ARIMA, YSA) sonuçları verilmiştir. 2050 yılı için elde edilen tahmin sonuçları; Regresyon Tahmini’nde: 856713.22 ton, ARIMA Tahmini’nde: 531646.91 ton ve YSA Tahmini’nde: 442027.17 ton şeklinde elde edilmiştir.

Tablo 3. 2021-2050 yılları Türkiye sera gazı tahmini (Regresyon, ARIMA, YSA) emisyon değerleri (CO₂ eşdeğeri)

Yıl	Lineer Regresyon Tahmini Emisyon Değerleri (CO ₂ eşdeğeri)	ARIMA Tahmini Emisyon Değerleri (CO ₂ eşdeğeri)	YSA Tahmini Emisyon Değerleri (CO ₂ eşdeğeri)
2021	535278	526810	368908
2022	546362	529499	369090
2023	557446	530243	369273
2024	568530	528792	369455
2025	579614	530516	369638
2026	590698	530915	369820
2027	601782	531191	370003
2028	612866	531399	370185
2029	623950	531283	370367

Artan enerji maliyetleri ve iklim değişikliği, sanayileşmiş ve sanayileşen ülkeleri gelecekteki enerji kaynakları konusunda zor durumda bırakmıştır. Bu durum ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi arayışına itmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımında sadece %1’lik bir artışın, CO₂ emisyonlarında uzun vadede %0,14’lük bir azalmaya yol açtığı gözlemlenmiştir [47]. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)’nın 2019 yılı raporuna göre Türkiye yenilenebilir enerji kapasitesinde büyüme göstermiş ve dünyada 12. sırada yer almıştır. IEA’nın 2021 raporu ise Türkiye’nin yenilenebilir enerji gücünün son on yılda üç katına çıktığı ve 2023 yılında açılacak nükleer enerji ile yenilenebilir enerji gücünün çeşitleneceği belirtilmiştir. Son iki rapordan da anlaşılacağı üzere Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem ve yapılan yatırımlar her geçen gün artmaktadır. İklim değişikliği ile ulusal mücadelede öncelikli olarak hükümetin karbon ayak izi yüksek olan bölgeleri belirlemesi ve o bölgelere yatırım yapması bile büyük oranda emisyonu azaltabilir. Türkiye’deki sera gazı emisyonlarının çoğu, ticari olmayan kriterler altında faaliyet gösteren, büyük ölçüde devlete ait bir sektör olan elektrik üretim sektöründen kaynaklanmaktadır [48]. Bu nedenle, enerji endüstrisine yakıt girdisinin yeniden düzenlenmesi, Türkiye’de sera gazı emisyonlarını azaltmak için pek çok fırsat sunabilir [14]. Şehir düzeyinde alacağımız önlemlerle ulusal ve hatta uluslararası iyileşmenin yolu açılabilir. Küresel anlamda genelde ve özelde tahribatı minimize edecek önlemler alınmalıdır.

Birçok G20 ülkesinde binek otomobiller ve hafif ticari araçlar için zorunlu CO₂ azaltma politikaları uygulanmaktadır. Türkiye’de de bu anlamda zorunlu standartlar uygulamaya konmalıdır. Bu uygulama ile karbon emisyonlarının yıllık %4 ila %6 oranında

azalacağı tahmin edilmektedir. Ulaşım sektörü için ayrıca hibrit yakıt kullanımı, hafif malzeme kullanılması lastik tercih edilmesi gibi yöntemlerle karbon ayak izini düşürmeye yönelik önlemler alınmaya çalışılmaktadır [49]. Çevre koruma amacı güden kuruluşlar (Uluslararası Doğayı Koruma Birliği, Türkiye Çevre Eğitim Vakfı, Yeşilay, Doğal Hayatı Koruma Vakfı, Greenpeace vb.) çevre sorunlarını önleyici çalışmalarını desteklenmelidir [12]. Buna rağmen trendin artış yönünde olması Türkiye'nin gelişmekte olan bir ülke olarak BMİDÇS ile Kyoto Protokolü'nün esneklik mekanizmalarından yararlanma isteğine de bağlanabilir. Bununla birlikte emisyonun azaltılması için temiz, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanılmasında, öncelik verilmesinde ve hatta bu enerjilerin teşvik kapsamına alınmasında yarar görülmektedir. Bu nedenle teknik, ekonomik ve sürdürülebilir hidrolik enerji potansiyelinin tamamının kullanılması gerekir. Baraj ve su havzalarının yutak görevi görmesi sebebiyle su kaynaklarının değerlendirilmesi ayrıca gerekli görülmektedir. Nitekim özellikle son yıllarda hidrolik enerjiye ve su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar etkisini gösterdiğinde (bir kaç yıl sürebilir) emisyonda ciddi bir azalmanın olması beklenebilir. İklim değişikliğinden en çok etkilenen doğal kaynaklar su kaynakları olması nedeniyle Süme ve diğ. (2024), Daneshfaraz ve diğ. (2022), Abbaszadeh ve diğ. (2024), Norouzi ve diğ. (2023), Daneshfaraz ve diğ. (2023) gibi suya ve su kaynaklarına dair deneysel, teorik ve/veya alan çalışmalarına [45, 47, 50, 51, 52] akademik düzeyde ihtiyaç duyulmaktadır.

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME (Results and Evaluation)

Türkiye'nin Kyoto Protokolünün her iki döneminde de sera gazı emisyon verilerinin giderek arttığı yapılan endeks hesaplarında açıkça görülmüştür. Yine Türkiye'nin 2021-2050 yılları arasındaki emisyon değerlerini tahmin etmek için kullanılan RA, YSA ve ARIMA modelleri emisyonların giderek artacağını öngörmüştür. Türkiye 1. dönem emisyon azaltım sorumluluğu zaten bulunmamaktadır. Bu nedenle bu dönemde bir azaltımın olmaması beklenen bir durumdur. Ancak 2. dönem için yıllar içinde artan nüfusun, buna bağlı olarak enerji talebinin ve sanayi üretimindeki artışın sera gazı emisyonunun artmasına neden olduğu söylenebilir. Bununla birlikte özellikle son yıllarda hidrolik enerjiye ve su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmaların etkisini gösterdiğinde (bir kaç yıl sürebilir) emisyonda ciddi bir azalmanın olması beklenebilir. Türkiye'nin gelişmekte olan bir ülke olması dolayısıyla protokolün esneklik mekanizmalarından yararlanma imkanı da bulunmaktadır. Bu imkanın değerlendirilmesinde de fayda görülmektedir. Diğer taraftan, Türkiye'nin, sadece emisyon taahhüdü için değil aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilmesi amacıyla da

güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal ve biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Türkiye aslında son yıllarda iklim değişikliği konusunda ciddi bir çaba içine girmiş ve farkındalık oluşturmuştur. Çözüm odaklı bu yaklaşımla birçok ülkede olduğu gibi temiz çevre modeli olan yeşil ekonomi ile ilgili çalışmalar yapmaktadır.

REFERENCES

- [1] Sözen, A., Alp, İ. (2009). Comparison of Turkey's performance of greenhouse gas emissions and local/regional pollutants with EU countries, *Energy Policy*, 37(12), 5007-5018.
- [2] Oral, N., (2019). Mühendislikte Yeni Trendler: Enerji ve Çevre Sürdürülebilirliği Bilgilendirme Semineri, 21 Ekim 2019, İskenderun, Türkiye.
- [3] Binboğa, G., (2017). Sürdürülebilirlik Kapsamında Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları ve Türkiye'nin Durumunun İncelenmesi, *MCBÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(4), 207-238.
- [4] T.C. Tarım Orman Bak., (2021). IPCC - ar6_WGI_Yönetici Özeti.pdf (tarimorman.gov.tr), (26 Mayıs 2024).
- [5] Doğan, S., Tüzer, M. (2011). Küresel İklim Değişikliği İle Mücadele: Genel Yaklaşımlar ve Uluslararası Çabalar. *Journal of Sociological Studies*. (44), 157-194.
- [6] Aytekin, A., Toprak, Z. F. (2001). Fresh Water Saltwater Distribution and Freshwater Potential of Turkey, *Proc. International Symposium on Water Resources and Environmental Impact Assessment*, 233 - 238, İstanbul.
- [7] Erden Özsoy, C. (2015). Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye'nin karbon ayak izi. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 4(9), 198-215.
- [8] Toprak, Z.F., Hamidi, N., Toprak, Ş. ve Şen, Z., (2013). Climatic Identity Assessment of the Climate Change, *Int. J. Global Warming*, 5(1), 30-45.
- [9] Toprak, Z. F. (2013). Küresel İklim Değişikliğine Genel Bir Bakış (Davetli Konuşmacı), 3. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2013, 23 - 25 Haziran 2013, İTÜ, İstanbul - Türkiye.
- [10] Batan, M., Toprak Z. F., ve Şen, Z. (2013). Küresel İklim Değişikliği Üzerinde Yapılan Çalışmaların Sınıflandırılması, 3. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2013, 23 - 25 Haziran 2013, İTÜ, İstanbul - Türkiye.

- [11] Toprak, Z.F., Toprak, S., Hamidi, N., (2011). Global Climate Changes And Meteorological Identity, The 4th International Symposium- Water Resources and Sustainable Development (CIRED'4), 22 – 23 February, 2011, Algiers-Algeria.
- [12] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2023). TÜİK Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri yayımlandı (iklim.gov.tr), 25 Mayıs 2024.
- [13] Akyol, M. (2022). Karbon Ayak İzinin Zaman Serisi Veri Madenciliği Yöntemleri ile Tahmini: Türkiye Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- [14] Erdoğan, E., (2010). Turkish support to Kyoto Protocol: A reality or just an illusion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 1111-1117.
- [15] Lerner, K. L., Lerner, B. W. (2006). Environmental issues: essential primary sources, Thomson Gale.
- [16] Coşkun, A. A., Gençay G., (2011). Kyoto Protocol and “deforestation”: A legal analysis on Turkish environment and forest legislation, *Forest Policy and Economics*, 13(5), 366-377.
- [17] T.C. Dışişleri Bak., <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>, 25 Mayıs 2024.
- [18] Polat, O. (2019). http://web.bilecik.edu.tr/onurpolat/files/2019/09/iklim_degisikligi_cerceve_sozlesmesi_ve_turkiye.pdf, (26 Mayıs 2024).
- [19] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2022). <https://www.csb.gov.tr>, Türkiye Cumhuriyeti Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı, (10 Mart 2024).
- [20] Türkeş, M., Kılıç, G. 2004. Avrupa Birliği'nin İklim Değişikliği Politikaları ve Önlemleri, *Çevre, Bilim ve Teknoloji, Teknik Dergi*, 2, 35-52.
- [21] Karakaya, E., Özçağ, M. (2003). Türkiye Açısından Kyoto Protokolü'nün Değerlendirilmesi ve Ayrıştırma (Decomposition) Yöntemi ile CO₂ Emisyonu Belirleyicilerinin Analizi, VII. ODTÜ İktisat Konferansı, Ankara, Türkiye.
- [22] Ayhan, D., 2010. Enerji, Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Bağlamında Küresel İklim Değişikliği Sorunsalı ve Kyoto Protokolü: Türkiye Analizi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye.
- [23] Hocaoglu Bahadır, N. 2011. Avrupa Birliği'nin İklim Değişikliği Politikaları Ve Türkiye'nin Bu Politikalara Uyumu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye.
- [24] Selçuk, S.F., (2023). Uluslararası İklim Değişikliği Anlaşmaları ve Türkiye'nin Tutumu, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(1), 9-19.
- [25] Atamer S. (2008). İklim Değişikliği Politikaları Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu, Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi, 9 Ocak 2023, Türkiye.
- [26] Taşdan, F. (2008). Kyoto Protokolü Finansal Destek Mekanizmaları Çerçevesinde Türkiye'de Gönüllü Salım Ticareti, 1. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu, 15–16 Ocak 2009, İstanbul.
- [27] Çelikkol, H., Özkan, N. 2011. Karbon Piyasaları ve Türkiye Perspektifi, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (31), 203-222.
- [28] Çetinkaya, E., Sokulgan, K. (2009). Kyoto Protokolü ve Karbon Emisyon Piyasası, *Vobjektif*, 12.
- [29] Yalçın, A. Z. 2010. Sürdürülebilir Kalkınma için Düşük Karbon Ekonomisinin Önemi ve Türkiye için Bir Değerlendirme, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(24), 186-203.
- [30] Bayrak, M. R., (2012). Sürdürülebilir Kalkınma için Türkiye'de Düşük Karbon Ekonomisi ve Kyoto Protokolü'nün Finansman Kaynakları, *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 1(4), 266-279.
- [31] Konak, N. (2011). Küresel İklim Değişikliği, Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları, Gönüllü Karbon Piyasası ve Türkiye: Eleştirel Yaklaşım, *Alternatif Politika*, (2),154-178.
- [32] Binboğa, G.(2014). Uluslararası Karbon Ticareti ve Türkiye, *Journal of Yasar University*, 9(34) 5732-5759.
- [33] Pabuçcu, H., Bayramoğlu, T. (2017). Yapay Sınır Ağları İle CO₂ Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 762-778.
- [34] Rezaei MH, Sadeghzadeh M, Nazari MA, Ahmadi MH, Astarai FR. (2018). Applying GMDH artificial neural network in modeling CO₂ emissions in four Nordic countries., *Int J Low-Carbon Technol*, 13(3), 266–271.
- [35] Hamzaçebi, C., Karakurt, I. (2015). Forecasting the energy-related CO₂ emissions of Turkey using a grey prediction model, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37(9), 1023-1031.

- [36] Mercan, M. (2016). Türkiye İçin Karbon Emisyonlarının Tahmini: Zaman Serisi Analizi, Aydın İktisat Fakültesi Dergisi, 1(1), 4-19.
- [37] Shaikh, M. A., Kucukvar, M., Onat, N. C., Kirkil, G. (2017). A framework for water and carbon footprint analysis of national electricity production scenarios, Energy, 139, 406-421.
- [38] Wang, Z. X., Ye, D. J. (2017). Forecasting Chinese carbon emissions from fossil energy consumption using non-linear grey multivariable models, Journal of Cleaner Production, 142, 600-612.
- [39] Li, M., Wang, W., De, G., Ji, X., Tan Z. (2018). Forecasting carbon emissions related to energy consumption in Beijing-Tianjin-Hebei region based on grey prediction theory and extreme learning machine optimized by support vector machine algorithm, Energies, 11(9), 2475.
- [40] Pao, HT., Fu, H., Tseng CL. (2012). Forecasting of CO₂ Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in China Using an Improved Grey Model, Energy, 40(1), 400-409.
- [41] Hertwich, E. G., Peters, G. P. (2009). Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis, Environmental Science & Technology, 43(16), 6414-6420.
- [42] Kunda, D., Phiri, H. (2017). An Approach for Predicting CO₂ Emissions using Data Mining Techniques, International Journal of Computer Applications, 172(13), 7-10.
- [43] Kaynar, O., Taştan, S. (2009). Zaman Serileri Tahmininde ARIMA-MLP Melez Modeli, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23(3), 141-149.
- [44] Öztemel, E. (2003). Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- [45] Abbaszadeh, H., Daneshfaraz, R., Sume, V., & Abraham, J. (2024). Experimental investigation and application of soft computing models for predicting flow energy loss in arc-shaped constrictions. AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 73(3), 637-661.
- [46] Küresel Çevre Stratejileri Enstitüsü (IGES), (2023). https://www.iges.or.jp/en/searchresult?search_api_fulltext=ghg+emissions&items_per_page=10, (15 Aralık 2023).
- [47] Süme, V., Daneshfaraz, R., Kerim, A., Abbaszadeh, H., & Abraham, J. (2024). Investigation of clean energy production in drinking water networks. Water Resources Management, 1-20.
- [48] Öner, Ş. (2023). İklim Değişikliği Sorununun Uluslararası Gelişmeler Eşliğinde Türkiye'nin Politika ve Kurumlarına Yansıması, OMBUDSMAN AKADEMİK, 9(18), 13-47.
- [49] Mock, P. (2016). Türkiye'de Karayolu Taşımacılığı Sektörü Kaynaklı Emisyonların Azaltılmasına Yönelik Politikalar, İstanbul Politikalar Merkezi, Sabancı Üniversitesi, Stiftung Mercator Girişimi, 1-15.
- [50] Daneshfaraz, R., Norouzi, R., Abbaszadeh, H., Kuriqi, A., & Di Francesco, S. (2022). Influence of sill on the hydraulic regime in sluice gates: an experimental and numerical analysis. Fluids, 7(7), 244.
- [51] Norouzi, R., Ebadzadeh, P., Sume, V., & Daneshfaraz, R. (2023). Upstream vortices of a sluice gate: An experimental and numerical study. AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 72(10), 1906-1919.
- [52] Daneshfaraz, R., Norouzi, R., Ebadzadeh, P., & Kuriqi, A. (2023). Influence of sill integration in labyrinth sluice gate hydraulic performance. Innovative Infrastructure Solutions, 8(4), 118.