



Sosyal Bilimler
Enstitüsü

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI
İKTİSAT POLİTİKASI BİLİM DALI

ÇEVRE VE EKONOMİ POLİTİKALARI ÇERÇEVESİNDE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ TAHMİNİ: G20 ÖRNEĞİ

Doktora Tezi

SEDA AYDIN

İstanbul, 2024

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI
İKTİSAT POLİTİKASI BİLİM DALI

**ÇEVRE VE EKONOMİ POLİTİKALARI ÇERÇEVESİNDE YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ TAHMİNİ: G20 ÖRNEĞİ**

Doktora Tezi

SEDA AYDIN

Tez Savunma Jürisi

1. Tez Danışmanı : Prof.Dr. Gülsüm AKALIN

2. Üye : Doç.Dr. Jale ÇOKGEZEN

3. Üye : Doç.Dr. İsmail Cem AY

4. Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Emre AKBAŞ

5. Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BENTÜRK

İstanbul, 2024

ÖZET

ÇEVRE VE EKONOMİ POLİTİKALARI ÇERÇEVESİNDE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ TAHMİNİ: G20 ÖRNEĞİ

İklim değışikliğı; dünyadaki her canlının çevresini ve refahını doğrudan etkileyen önemli bir sorundur. Çevre sorunlarının yanı sıra özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki sosyo-ekonomik yükleri artırmakta, devam eden sosyal eşitsizlikleri daha da kötüleştirmektedir. İklim değışikliğinin etkileri ve bu etkilerin geri dönüşünün kolay olmayışı uluslararası çapta iş birliğini ve sürdürülebilirliği gözetten politikaları zorunlu kılmaktadır. Bu noktada iklim değışikliğinin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi ve gerekli önlemleri almak için, iklimde meydana gelen değışiklik ve eğilimlerin gelecekte nasıl olacağının tahmin edilmesi önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Birleşmiş Milletler 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi'nin hedeflerini baz alarak, küresel çapta iklim değışikliğinin seyrini tahmin etmektir. Bu amaçla çevreyi en çok etkilediğı düşünölen G20 ölkeleri çalışmanın inceleme alanını oluşturmaktadır. Çalışmada analiz için, son dönemlerde tahmin çalışmalarında öne çıkan Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılmıştır. Analizde modelin bağımlı değışkeni; iklim değışikliğı göstergesi olan sıcaklıktaki değışimdir. Modelin bağımsız değışkenleri ise; kişi başı CO₂, nüfus, GSYİH değışimi, petrol tüketimi, kömür tüketimi, doğalgaz tüketimi, nükleer enerji tüketimi, kentsel nüfus ve karbon vergi uygulamasıdır. Çalışmada Birleşmiş Milletler Çevre Konferansına atıfta bulunarak veri aralığı 1972-2022 ile sınırlandırılmış ve 2030'a kadar ortalama sıcaklık değışimi tahmin edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; 2030'a kadar ortalama küresel sıcaklık değışimi Birleşmiş Milletler hedefini (1,5 santigrat derece) aşacağı bulgusuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İklim değışikliğı, Yapay Sinir Ağları, Sürdürülebilirlik, Tahmin.

ABSTRACT

PREDICTING CLIMATE CHANGE WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS WITHIN THE FRAMEWORK OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC POLICIES: THE CASE OF THE G20

Climate change is a significant issue that directly affects the environment and well-being of every living organism on Earth. In addition to environmental concerns, it exacerbates socio-economic burdens, especially in developing countries, and further worsens ongoing social inequalities. The effects of climate change and the difficulty of reversing these effects necessitate international collaboration and policies that prioritize sustainability. At this point, it is important to predict how climate change and trends will evolve in the future in order to minimize the adverse effects and take necessary measures. The aim of this study is to forecast the trajectory of global climate change, based on the goals of the United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development, with a focus on the G20 countries, which are considered to be most affected by environmental issues. For analysis, the Artificial Neural Networks method, which has recently emerged in forecasting studies, is used. The dependent variable in the analysis is the change in temperature, which is an indicator of climate change. The independent variables include per capita CO₂ emissions, population, GDP change, consumption of oil, coal, natural gas, nuclear energy, urban population, and carbon tax implementation. Referring to the United Nations Environment Conference, the data range is limited to 1972-2022, and the average temperature change until 2030 is predicted. According to the analysis results, it is found that the average global temperature change by 2030 will exceed the United Nations target of 1.5 degrees Celsius.

Keywords: Climate change, Artificial Neural Networks, Sustainability, Prediction.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
KISALTMALAR	vi
GRAFİKLER LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
GİRİŞ	1
1. İKTİSADİ DÜŞÜNCE TARİHİNDE ÇEVRE VE ÇEVRENİN KORUNMASI İÇİN ULUSLARARASI ORGANİZASYONLAR.....	3
1.1. İktisadi Düşünce Tarihinde Çevre ve Çevrenin Ele Alınışı	3
1.1.1. Modern İktisat Öncesi Dönemde Çevre ve Çevrenin Ele Alınışı.....	4
1.1.2 Modern Dönem İktisat Tarihinde Çevre ve Çevrenin Ele Alınışı	5
1.1.2.1. Klasik İktisatta Çevre.....	6
1.1.2.2. Marksist İktisatta Çevre.....	9
1.1.2.3. Neoklasik İktisatta Çevre	11
1.1.2.4. Keynesyen İktisatta Çevre.....	14
1.1.2.5. Post-Keynesyen İktisatta Çevre ve Yeşil Keynesyenizm	15
1.1.3. Çevre Ekonomisi Bilim Dalı ve Teorileri	17
1.1.3.1. Scitovsky Yaklaşımı	18
1.1.3.2. Çevresel Kuznets Teorisi	19
1.1.3.3. Coase Teoremi	21
1.1.3.4. Plott Yaklaşımı: Düzenleyici Vergiler	23
1.1.3.5. Kirlilik Sığınağı Hipotezi.....	24
1.1.3.6. Porter Hipotezi	25
1.1.4. Ekolojik Ekonomi Yaklaşımı ve Çevre	26
1.2. İklim Değişikliği ile İlgili Uluslararası Müzakere ve İş Birlikleri	28
1.2.1. Stockholm Konferansı (1972).....	28
1.2.2. Birleşmiş Milletler Çevre Programı - UNEP	30
1.2.3. Brundtland Komisyonu (1987)	32
1.2.4. Montreal Protokolü (1987).....	33
1.2.5. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı – Rio Konferansı (1992) ..	34
1.2.6. Kyoto Protokolü (1997)	38
1.2.7. Kopenhag Taraflar Konferansı (2009).....	40
1.2.8. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği 16. Taraflar Konferansı (2010)	42

1.2.9. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı (Rio +20 Zirvesi - 2012)	43
1.2.10. Paris İklim Anlaşması (2015)	44
1.2.11. Afet Riskinin Azaltılmasına İlişkin Sendai Çerçevesi (2015 – 2030)	46
1.2.12. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 26. Taraflar Konferansı (2021)	47
1.2.13. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği 27. Taraflar Konferansı (2022)	48
1.2.14. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği 28. Taraflar Konferansı (2023)	50
1.2.15. Küresel İklim Değişikliğinin Finansmanı	52
2. ÇEVRE VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE	54
2.1. Çevre ve Sürdürülebilirlik	54
2.1.1. Çevresel Koruma İlkeleri	55
2.1.2. Sürdürülebilirliğin Sosyal İlkeleri	56
2.2. Çevre Kirliliği Türleri ve Sonuçları	57
2.2.1. Hava Kirliliği	58
2.2.2. Su Kirliliği	61
2.2.3. Toprak Kirliliği	62
2.2.4. Diğer Çevresel Kirlilik Türleri	66
2.2.5. İklim Değişikliği	67
2.2.5.1. İklim Değişikliğine Neden Olan Faktörler	72
2.3. Çevre Kirliliğini Önlemeye Yönelik Politika ve Araçlar	76
2.3.1. Çevreyi Korumak İçin Kullanılan Mali Araçlar	77
2.3.2. Çevreyi Korumak İçin Kullanılan Ücretlendirme (Masraf) Sistemleri	80
2.3.3. Çevreyi Korumak İçin Kullanılan Finansal Araçlar	80
2.3.4. Çevreyi Korumak İçin kullanılan Gönüllü Uygulama ve Araçlar	82
2.3.5. Çevreyi Korumak İçin Kullanılan Direkt Kontroller	83
2.4. Çevre ve Enerji İlişkisi	84
2.4.1. Yenilenebilir Enerji	85
2.4.1.1. Güneş Enerjisi	87
2.4.1.2. Hidroelektrik Enerji	89
2.4.1.3. Rüzgâr Enerjisi	91
2.4.1.4. Jeotermal ve Biokütle Enerjisi	92
2.4.2. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	95
2.4.2.1. Fosil Enerji Kaynakları	97
2.4.2.2. Nükleer Enerji	101
2.5. Yeşil Ekonomi	103

2.6. Karbon Ayak İzi.....	106
3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE ÇEVRE VE EKONOMİ POLİTİKALARI İLİŞKİSİ ÜZERİNE AMPİRİK BİR ÇALIŞMA: G20 ÖRNEĞİ .	110
3.1. Yapay Sinir Ağları	111
3.1.1 Yapay Sinir Ağı Çeşitleri.....	118
3.1.1.1 İleri Beslemeli Sinir Ağları (Feedforward Neural Networks).....	119
3.1.1.2. Tekrarlayan Sinir Ağlar (Recurrent Neural Networks).....	123
3.1.1.3. Yükselen Sinir Ağları (Spiking Neural Networks).....	125
3.1.2 Yapay Sinir Ağı Öğrenme Yöntemleri ve Kuralları	126
3.1.2.1. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Yöntemleri	127
3.1.2.2. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Kuralları	129
3.2. Literatür Taraması	132
3.3. Analiz ve Uygulama	148
3.3.1. Veri Setinin Oluşturulması	148
3.3.2. Doğrusal Olmayan Otoregresif Dışsal Model (NARX) ile İklim Değişikliğinin Gelecek Tahmini: G20 Ülkeleri	172
REFERANSLAR.....	212
EKLER	238

KISALTMALAR

ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
BM:	Birleşmiş Milletler
BR:	Bayesian Regularization
CBRN:	Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer Silahlar
CCPI:	İklim Değişikliği Performans Endeksi
CFC:	Kloroflorokarbon
CH₄:	Metan
CO₂:	Karbondioksit
DCPI:	İletişim ve Enformasyon Birimi
DCS:	Bölgesel İş Birliği Birimi
DGEF:	Küresel Çevre Fonu Eşgüdüm Birimi
DELC:	Çevre Hukuku ve Sözleşmeleri Birimi
DEPI:	Çevre Politikasının Uygulanması Birimi
DEWA:	Erken Uyarı ve Değerlendirme Birimi
DTIE:	Teknoloji, Sanayi ve Ekonomi Birimi
EPA:	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
FAO:	Gıda ve Tarım Örgütü
G20:	20 Grubu Ülkeler
GWh:	Giga Watt Saat
GSYİH:	Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
GSMH:	Gayri Safi Milli Hâsıla
IMF:	Uluslararası Para Fonu
IPCC:	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IRENA:	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
LM:	Levenberg–Marquardt
Mha:	Milyon Hektar
MM:	Milimetre
N₂O:	Azot Protoksit

NAFTA: Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşması

NASA: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi

NARX: Doğrusal Olmayan Otoregresif Dışsal Model

NOAA: Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi

OECD: Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü

PCA: Temel Bileşenler Analizi

SCG: Scaled Conjugate Gradient

SO_x: Sülfür Oksit

STK: Sivil Toplum Kuruluşu

TW: Terewatt

T.C.: Türkiye Cumhuriyeti

TÜBİTAK: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

UNEP: Birleşmiş Milletler Çevre Programı

UNFCCC: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

UV-B: Ultraviyole

WB: Dünya Bankası

WHO: Dünya Sağlık Örgütü

WMO: Dünya Meteoroloji Örgütü

WTO: Dünya Ticaret Örgütü

GRAFİKLER LİSTESİ

Sayfa
No.

Grafik 1: Pigou Çerçevesinde Çevre Vergilerinin Refah Etkileri.....	13
Grafik 2: Çevreye Uyarlanmış Kuznets Eğrisi.....	20
Grafik 3: Dünya - Hava Kirliliğine Bağlı Ölen Kişi Sayısı (1990-2021).....	60
Grafik 4: Dünya- Su Kirliliğine Bağlı Ölüm Oranları (1990-2019).....	61
Grafik 5: Plastik Atık İhracat ve İthalatçıları Top 5 – 2022.....	64
Grafik 6: Toplam Ormanlık Alan - Dünya % (1992-2021).....	64
Grafik 7: Meteorolojik Yılın Ortalama Sıcaklık Değişimi 1972-2023 (Dünya)	68
Grafik 8: Küresel Ortalama Deniz Seviyesi Değişimi (1994-2100).....	69
Grafik 9: Buzullarda Kitle Değişimi (2002-2023).....	69
Grafik 10: Doğal Afetlerden Kaynaklanan Ölüm Sayısı (1972-2022).....	70
Grafik 11: Dünya Kişi Başı CO ₂ Emisyonu (1972-2022).....	73
Grafik 12: Metan Gazı Emisyonları - Dünya (1972-2022).....	74
Grafik 13: Dünya N ₂ O Emisyonu 1972-2022 (bin metrik ton).....	75
Grafik 14: Hindistan YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	152
Grafik 15: Arjantin YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	153
Grafik 16: Çin YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	154
Grafik 17: Almanya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	155
Grafik 18: Endonezya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	156
Grafik 19: Avustralya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	157
Grafik 20: Fransa YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	158
Grafik 21: İtalya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	159
Grafik 22: İngiltere YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	160
Grafik 23: Meksika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	161
Grafik 24: Japonya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	162
Grafik 25: Rusya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	163
Grafik 26: Güney Kore YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	164
Grafik 27: Suudi Arabistan YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	165
Grafik 28: Güney Afrika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	166
Grafik 29: Amerika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	167
Grafik 30: Kanada YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	168
Grafik 31: Brezilya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	169
Grafik 32: Türkiye YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	170
Grafik 33: Dünya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	171
Grafik 34: Hindistan Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	174
Grafik 35: Arjantin Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	176
Grafik 36: Çin Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	177
Grafik 37: Almanya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	179
Grafik 38: Endonezya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	181
Grafik 39: Avustralya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	182
Grafik 40: Fransa Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	184
Grafik 41: İtalya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	186
Grafik 42: İngiltere Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	188
Grafik 43: Meksika Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	189
Grafik 44: Japonya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	191
Grafik 45: Rusya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1990-2030).....	192
Grafik 46: Güney Kore Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	194
Grafik 47: Suudi Arabistan Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	195
Grafik 48: Güney Afrika Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	197
Grafik 49: Amerika Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	198

Grafik 50: Kanada Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	200
Grafik 51: Brezilya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	201
Grafik 52: Türkiye Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	203
Grafik 53: Dünya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030).....	205

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Birleşmiş Milletler 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları.....	55
Şekil 2: Çevre Kirliliğini Önlemek İçin Kullanılan Araçlar.....	76
Şekil 3: Biyokütle Enerji Dönüşüm Yolları.....	93
Şekil 4: Yenilenemeyen Enerji Kaynakları.....	95
Şekil 5: Biyolojik Nöron (Sinir Hücresi) Yapısı.....	112
Şekil 6: Yapay Sinir Ağ Yapısı.....	113
Şekil 7: Mimarisine Göre Yapay Sinir Ağları.....	118
Şekil 8: İleri Beslemeli Sinir Ağı Mimarisi.....	119
Şekil 9: Tekrarlayan Sinir Ağ Yapısı.....	123
Şekil 10: YSA Öğrenme Yöntem ve Kuralları.....	127

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1: Kyoto Protokolü Sera Gazı Azaltım I. Taahhüt (G20 Ülkeleri).....	40
Tablo 2: Küresel İklim Değişikliğinin Finansmanı.....	53
Tablo 3: G20 Ülkeleri Net Sera Gazı Emisyonları (CO ₂ eşdeğeri ton/1000) (1972- 2022)....	59
Tablo 4: G20 Ülkeleri Belediye Tarafından Toplanan Atıklar Kg/Kişi Başı (1975-2021)...	63
Tablo 5: Yenilenebilir Enerji Üretimi (1972-2022).....	87
Tablo 6: Güneş Enerjisi Tüketimi - Exajoules (1972-2022).....	88
Tablo 7: Hidroelektrik Enerji Tüketimi - Exajoules (1972-2022).....	90
Tablo 8: Rüzgâr Enerjisi Tüketimi - Exajoules (1972-2022).....	91
Tablo 9: Jeotermal ve Biokütle Enerjisi Tüketimi - Exajoules (1972-2022).....	94
Tablo 10: Yenilenemeyen Enerji Tüketimi - Exajoules (1972-2022).....	96
Tablo 11: Petrol Tüketimi – Milyon Ton (1972-2022).....	98
Tablo 12: Kömür Tüketimi - Exajoules (1972-2022).....	100
Tablo 13: Doğalgaz Tüketimi - Milyar ³ (1972-2022).....	101
Tablo 14: Nükleer Enerji Tüketimi - Exajoules (1972-2022).....	102
Tablo 15: YSA ile İklim Değişikliği Tahminleri Literatür Taraması.....	132
Tablo 16: Literatür Taraması: YSA Modeli ve Diğer İstatistiki Modellerin Karşılaştırması.....	148
Tablo 17: Çalışmada Kullanılan Değişkenler ve Veri Kaynakları.....	150
Tablo 18: Hindistan Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	151
Tablo 19: Hindistan YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	151
Tablo 20: Arjantin Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	152
Tablo 21: Arjantin YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	153
Tablo 22: Çin Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	153
Tablo 23: Çin YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	154
Tablo 24: Almanya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	154
Tablo 25: Almanya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	155
Tablo 26: Endonezya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	155
Tablo 27: Endonezya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	156
Tablo 28: Avustralya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	156
Tablo 29: Avustralya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	157
Tablo 30: Fransa Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	157
Tablo 31: Fransa YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	158
Tablo 32: İtalya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	158
Tablo 33: İtalya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	159
Tablo 34: İngiltere Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	159
Tablo 35: İngiltere YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	160
Tablo 36: Meksika Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	160
Tablo 37: Meksika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	161
Tablo 38: Japonya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	161
Tablo 39: Japonya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	162
Tablo 40: Rusya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	162
Tablo 41: Rusya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	163
Tablo 42: Güney Kore Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	163
Tablo 43: Güney Kore YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	164
Tablo 44: Suudi Arabistan Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	165
Tablo 45: Suudi Arabistan YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	165
Tablo 46: Güney Afrika Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	166
Tablo 47: Güney Afrika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	166
Tablo 48: Amerika Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	167
Tablo 49: Amerika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	167
Tablo 50: Kanada Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	168
Tablo 51: Kanada YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	168

Tablo 52: Brezilya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	169
Tablo 53: Brezilya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	169
Tablo 54: Türkiye Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	170
Tablo 55: Türkiye YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	170
Tablo 56: Dünya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler.....	171
Tablo 57: Dünya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları.....	171
Tablo 58: Özet YSA Regresyon Analiz Sonuçları (R^2) Değerleri.....	172
Tablo 59: Hindistan - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	173
Tablo 60: Arjantin - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	175
Tablo 61: Çin - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	177
Tablo 62: Almanya - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	179
Tablo 63: Endonezya - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	180
Tablo 64: Avustralya - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	182
Tablo 65: Fransa - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	184
Tablo 66: İtalya - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	185
Tablo 67: İngiltere - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	187
Tablo 68: Meksika - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	189
Tablo 69: Japonya - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	190
Tablo 70: Rusya - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	192
Tablo 71: Güney Kore - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	193
Tablo 72: Suudi Arabistan - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	195
Tablo 73: Güney Afrika - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	196
Tablo 74: Amerika - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	198
Tablo 75: Kanada - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	199
Tablo 76: Brezilya - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	201
Tablo 77: Türkiye - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	203
Tablo 78: Dünya - NARX Modeli Performans Sonuçları.....	204
Tablo 79: Özet Yapay Sinir Ağları Analizi.....	206
Tablo 80: UNEP'e Üye Ülkeler.....	238
Tablo 81: Kyoto Protokolünü İmzalayan Ülkeler.....	239
Tablo 82: Kopenhag Taraflar Konferansı'na Katılan Ülkeler.....	239
Tablo 83: G20 Ülkeleri Toplam Nüfus (milyon) – (1972-2022).....	240
Tablo 84: Toplam Nüfus İçinde Kentsel Nüfus % – G20 Ülkeleri (1972-2022).....	240
Tablo 85: G20 Ülkeleri Toplam Ormanlık Alan % (1990-2021).....	241
Tablo 86: G20 Ülkeleri CO ₂ Emisyonları Kişi Başına Metrik Ton (1972-2022).....	241
Tablo 87: Metan Gazı Emisyonları – G20 (1972-2022).....	242
Tablo 88: G20 Ülkelerinde Hava Kirliliğine Bağlı Ölüm Sayısı (1990-2021).....	243
Tablo 89: G20 Ülkelerinde Su Kirliliğine Bağlı Ölüm Oranları (1990-2021).....	243
Tablo 90: N ₂ O Emisyonu G20 (bin metrik ton) (1990-2022).....	244
Tablo 91: G20 - Tarımda Kimyasal Kullanımı (1990-2021).....	244

GİRİŞ

İnsanlık tarihinde önemli dönüm noktalarından biri şüphesiz buharlı makinenin icadı ile başlayan Sanayi Devrimi'dir. 19. yüzyılın başlarında hızlanan sanayileşme, yüksek ekonomi büyüme trendine katkıda bulunurken, beraberinde bazı olumsuz durumların da meydana gelmesine neden olmuştur. Sanayileşme sürecinde üretim faaliyetlerindeki değişim; enerji kullanım ihtiyacının ve fosil yakıt kullanımının artmasına neden olmuştur. Nitekim bu değişimin çevreye yaptığı tahribat ve iklimdeki değişiklik, bu alanda yapılan bilimsel çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur.

İklim değişikliği; gelecek nesillerin de olmak üzere dünyadaki her canlının çevresini ve refahını doğrudan etkileyen büyük bir zorluktur. Büyüklüğü ve karmaşıklığı, artan mevcut çevresel sorunlara dair endişeler, küresel çapta olup gelecek nesiller boyunca birçok insanı etkilemeye devam etmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak doğal afetlerden kaynaklanan, başta canlı ve ekonomik kayıplar son yıllarda artmaktadır. İklim değişikliği ile ilgili yapılan araştırmalar, gelecekte de doğal afetlerin ve buna bağlı olarak kayıpların artacağına vurgu yapmaktadır. Bu kapsamda çevrenin yararını gözeterek sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir bir ekonomi uluslararası çapta iş birliğini kaçınılmaz kılmaktadır.

Uluslararası ekonomi politikaları ve çevre kirliliği ilişkisi değerlendirildiğinde; özellikle gelişmiş ülkelerin hem çevre kirliliğinin oluşumunda hem de çevre politikalarının uygulanmasında büyük ölçüde sorumlu olduğu, kabul gören bir düşüncedir. İstatistiklere bakıldığında çevre kirliliğine ve iklim değişimine neden olan sera gazlarının atmosfere salınımında gelişmiş ülkelerin; özellikle G20 ülkelerinin payının fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Bu çalışmanın amacı, küresel çapta önemini koruyan bu soruna vurgu yapılarak, çevre ve ekonomi politikaları ilişkisinin, G20 ülkeleri arasında karşılaştırılarak analiz edilmesidir. Bu kapsamda tezde; Birleşmiş Milletler (BM) 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi'nin hedefleri analitik üst çerçeve olarak kabul edilmiştir.

Çalışmanın diğer çalışmalardan farkı; güncel veri seti ile G20 ülkelerinin çevre ve ekonomi ilişkisini eş-anlı olarak ekonomi politik çerçevesinde ampirik olarak incelenmesidir. Bu bakımdan çalışmanın, ülkemizde henüz yeterince araştırması bulunmayan bir konu olması sebebiyle ilgi çekeceği düşünülmektedir.

Bu amaçlara uygun olarak çalışma 3 ana bölüme ayrılmıştır. Birinci bölümde; iktisat tarihinde farklı iktisat ekollerinin çevre ve çevre kirliliğine olan bakış açısı kronolojik olarak yer verilmekte ve literatürde bu alandaki teoriler açıklanmaktadır. Ardından günümüzde çevre kirliliğine bakış açısı

uluslararası çapta yapılan konferans, toplantı, organizasyon ve anlaşmalar ile ele alınmaktadır. İkinci bölümde ise çevre ve çevre kirliliği kavramsal olarak ele alınmakta; çevrenin sürdürülebilirliğinin önemine istinaden, amaç ve araçlara yer verilmektedir. Kavramsal ve kuramsal açıklamaların yapıldığı bölümlere yer verildikten sonra, üçüncü bölümde uygulama yapılmaktadır. Uygulamada iklim değişikliğinin gelecekteki seyrini, özellikle BM 2030 sürdürülebilirlik hedefleri çerçevesinde tespit etmek amaçlanmaktadır. Bu amaçla özellikle son dönemde iklim değişikliği ve ekolojik olayları tahminlemede sıkça kullanılan Yapay Sinir Ağları modeli kullanılmaktadır. Üçüncü bölümde önce tercih edilen model; avantajları, dezavantajları ve türleri ile birlikte açıklanmaktadır. Ardından Yapay Sinir Ağları modeli kullanılarak iklim değişikliği ve çevresel kirliliği analiz eden çalışmaların açıklandığı literatür taramasına yer verilmektedir. Yapay Sinir Ağlarının çalışmada neden tercih edildiği açıklandıktan sonra, iklim değişikliği için kullanılan sıcaklık değişimi göstergesi, G20 ülkeleri için analiz edilmektedir. Analiz 3 temel varsayım üzerine kurgulanmaktadır. Çalışmanın birinci hipotezi; ekonomi ile çevre arasında pozitif korelasyon ilişkisinin varlığıdır. Çalışmanın ikinci hipotezi; ekonomi politikaları ile çevre arasında pozitif korelasyon ilişkisinin varlığıdır. Çalışmanın üçüncü hipotezi; iklim değişikliğini en çok etkileyen ülkelerin, yüksek sera gazı emisyonu salınımı yapan G20 ülkelerinin olduğudur. Bu varsayımlar altında çalışmada veri seti, BM'nin iklim değişikliğini ilk ele aldığı tarih (Stockholm Konferansı) 1972'den itibaren günümüze kadar oluşturulmaktadır. Ve BM'nin 2030 hedefleri baz alınarak, sıcaklıktaki değişim G20 ülkeleri için tahmin edilmektedir. Sonuç kısmında ampirik analizlerden elde edilen bulgular değerlendirilmektedir.

1. İKTİSADİ DÜŞÜNCE TARİHİNDE ÇEVRE VE ÇEVRENİN KORUNMASI İÇİN ULUSLARARASI ORGANİZASYONLAR

İnsan ve çevre arasındaki ilişki, insanlığın var olması ile başlamaktadır. İnsan, doğada yaşar ve onunla sürekli etkileşim halindedir. İnsanlık tarihi boyunca medeniyetler, toplumların büyümesine yetecek doğal kaynakların var olduğu verimli topraklarda inşa edilmiştir. Başta gıda olmak üzere mevcut doğal kaynakların miktarının bugün tüketim ile yarın tüketim arasında nasıl bölüşüleceği gibi ekonomik sorular insanlık tarihi boyunca var olmuştur.

İktisat yazınında ise, çevre ve doğal kaynakların ele alınışı uzun bir geçmişe sahiptir. Ancak “sınırlı kaynaklar ile sınırsız insan ihtiyaçlarının” ilişkisini ele alan iktisat disiplini, uzun yıllar boyu çevre sorunlarını göz ardı etmiştir. Çevreyi iktisadi açıdan ele alarak inceleyen, “*çevre ekonomisi*” bir alt disiplin olarak 1960’larda çalışılmaya başlanmıştır. Ancak iktisat yazını incelendiğinde 18. yüzyıldan itibaren, çevre ekonomisi literatürüne katkı sağlayan birçok çalışma ve analiz bulunduğu görülmektedir.

Çevre sorunları, özellikle Sanayi Devrimi’nin onarılmaz etkilerinin ortaya çıkması ile ele alınan bir konu hâline gelmiştir. Sanayi Devrimi; yüksek ekonomik büyüme trendine katkıda bulunurken, beraberinde bazı olumsuz durumların da meydana gelmesine neden olmuştur. Başta Avrupa’da hızlı sanayileşme ve kentleşme, çevre kirliliğine ve sağlık sorunlarına yol açmıştır. Bu dönem itibariyle yapılan araştırmalar, atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonlarının hızla arttığını göstermektedir. Bilimsel araştırmalar ve bu alanda düzenlenen uluslararası organizasyonlar çevre bilincinin oluşmasına katkıda bulunurken, iktisat literatüründe bu alanda yapılan çalışmaların hızlanmasını sağlamıştır. Bu nedenlerle çevre ekonomisini incelerken 1960’lardan itibaren ele almak eksik olacaktır. Çalışmada bu çerçevede, iktisat tarihinde çevreyle ilgili çalışmalar, çevre ekonomisi bilim dalını önceleyen çalışmalardan itibaren açıklanmaya çalışılacaktır.

Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak, iktisat tarihinde çevreyi ele alan çalışmalar ve teoriler incelenecektir. Ardından çevrenin korunması için düzenlenen belli başlı uluslararası konferans ve anlaşmalara kronolojik olarak yer verilecektir.

1.1. İktisadi Düşünce Tarihinde Çevre ve Çevrenin Ele Alınışı

Çalışmanın bu bölümünde çevre, çevre ekonomisinin bir bilim dalı olmadan önceki çalışmalar ve sonrası olmak üzere tasniflenerek ele alınacaktır. 1960 öncesi dönemde çevre çalışmalarına yer verilirken, iktisat tarihinin bir bilim dalı olarak kabul edildiği modern dönem ve öncesi incelenmiştir.

İktisat tarihinin bir bilim alanı olarak ortaya çıkışı ile ilgili farklı görüşler bulunmaktadır. Ortak görüş ise; modern iktisadın başlangıcının, Adam Smith’in *Ulusların Zenginliği* (1776) adlı eseri ile

başlaması yönündedir (Hunt ve Lautzenheiser, 2011: 3; Backhaus, 2012: 8). Bu düşüncenin dayanağı, Smith'in tarihî verileri kullanması ve incelediği konuların itibar edilir bir anlatımla ele almasıdır (Stigler, 2012: 86). Çalışmada bu doğrultuda modern dönem, AdamSmith'in iktisadi düşünce çalışmaları ile başlatılmış ve çevreyi bu dönemde ele alan çalışmalar incelenmiştir. Modern iktisat öncesi dönemde ise literatür taranmış ve yalnızca çevreyi ele alan çalışmalara yer verilmiştir.

1.1.1. Modern İktisat Öncesi Dönemde Çevre ve Çevrenin Ele Alınışı

Çalışmanın bu bölümünde çevre ekonomisinin bir bilim dalı olmadan önceki, modern iktisat öncesi dönemde, çevre ile ilintili çalışmalar incelenmiştir. Modern iktisat öncesi dönemde literatür taraması yapılmış ve yalnızca çevreyi ele alan çalışmalara yer verilmiştir.

Merkantilist Dönem ve Çevre: İktisat yazınında bir doktrin, ortaya çıktığı dönemin sosyoekonomi dinamiklerini yansıttığı için, öncelikle dönemi ve doktrinin temelini açıklamakta fayda vardır. Kısaca Merkantilizm, 1500- 1800 yılları arasında Avrupa'da hâkim olan iktisadi düşünce bütünüdür (O'Hara, 1999: 570). Zenginliğin ölçütünü gümüş, altın gibi kıymetli maden varlığına dayandıran Merkantilizm, literatürde *ticari kapitalizm* olarak da adlandırılmaktadır. Merkantilist sistemde, kıymetli maden varlığının artırılması iki yolla mümkündür. Birincisi; ülke maden kaynaklarına sahipse bunları işletmeli, aksi takdirde ülkeye dış ticaret yoluyla kıymetli maden girişi sağlanmalıdır. İthalatın üzerinde bir ihracat fazlasına sahip olmanın hayafı seviyede önemli kabul edilmesi doktrinin temel özelliğidir (Stigler, 2012: 85). Bu nedenle dış ticaret politikalarına, devlet müdahalesinin yoğun olduğu bir dönemdir. Gümrük uygulamaları, ithalat yasaklamaları, ihracat primleri gibi uygulamalar merkantilistlerin ekonomi politikasına katkıları arasındadır (Froyen, 2013: 51). Orta Çağ'ı takip eden ve yaklaşık 300 yüz yıl süren Merkantilizmin, ortaya çıktığı dönem hem ulusal boyutta hem de uluslararası alanda rekabetin, savaşların yoğun olduğu ve ulus devletlerin güçlenmeye başladığı dönemdir. Özetle bu dönemde ilgilenilen temel iktisadi ve siyasi kaygı, ülke hazinesinin ve gücünün artırılması olduğu için, bu yönde politikalar geliştirilmiş ve çevre ile ilintili konulara dönemin iktisatçıları tarafından yer verilmemiştir. Ancak Merkantilist sistem, insan-çevre ilişkileri bakımından önemli dönüm noktalarından biri kabul edilmektedir. Bu dönemle birlikte coğrafi keşifler yoluyla doğal varlıkların ülkeler arasında yer değiştirmesinin neden olduğu sermaye birikimi; kapitalizmin başlangıcıdır ve insan çevre ilişkisini doğrudan bu değişen üretim biçimi belirlemektedir (Wallerstein, 2002: 57). Kapitalist üretim biçiminin birincil amacı olan, kâr elde etme güdüsü ve tüm üretim faktörlerinin bu doğrultuda kullanılması, doğrudan ve dolaylı olarak çevreyi etkilemektedir (Altwater, 2007: 38; Bell, 2015: 2-3). Merkantilist sistemle hızlanan dış ticaret ilişkilerinin çevreye olan etkilerini konu alan sonraki çalışmalar¹, ithalat yapan ülkelerde çevre kirliliğinin meydana geldiğini

¹ Bkz: Spence, M. (2011). "Trade Liberalization and Environmental Protection" çalışması

vurgulamaktadır. Özetle değerlendirildiğinde; Merkantilizmin hâkim olduğu dönemde, dönemin iktisadi kaygıları farklı olduğu için, çevresel kirliliği ele alan çalışmalar sınırlı kalmakta, çevre sadece dolaylı olarak ele alınmaktadır.

Fizyokratlar ve Çevre: Fizyokrazi 18. yüzyılda ekonomik ve mali durumu kötü olan Fransa’da ortaya çıkan ve temelde fizik ve biyolojiden ilham alan bir doktrindir (Higgs, 1897: 8). Başlarda “*ekonomistler okulu*” olarak ortaya çıkan daha sonra Fizyokratlar olarak anılan ekol, kelime olarak esk.Yunan *physis* (doğa) ve *kratos* (güç)’ tan gelmektedir (Plesis, 2012: 28; Higgs, 1987: 17). Fizyokrazi, iktisadi düzenin doğanın koyduğu yasalarla yönetildiğini kabul etmektedir. İktisadi süreç, insanın özgür iradesinden bağımsız işleyen belirli nesnel/doğal yasalara tabiidir. Tarımı ihmal eden dönemin iktisadi hâkim görüşü Merkantilizme tepki olarak çıkan akımın kurucusu, Francois Quesnay’dır. Ekolün diğer üyeleri; Abbé Nicolas Baudeau, Victor Riqueti, Marquis de Mirabeau, Le Mercier de la Rivière ve François Guillaume Le Trosne’dır (Vaggi, 2018: 80).

Quesnay *Tableau Oeconomique* (Ekonomik Tablo- 1758) kitabında, Fransa’nın o dönemdeki iktisadi problemlerini ele almaktadır. 18. yüzyılda Fransa’da doğal kaynaklar bol olmasına rağmen, yetersiz sermaye nedeniyle mali durum oldukça kötüdür. Quesnay’a göre Fransa’da mali durum ancak üretim artırılarak düzelebilecektir. Üretimden kasıt ise tarımdır ve doğayı servet üretiminin merkezine almaktadır (Lalucq, 2013: 35). “*Dünya, her zaman tüm zenginliğin ilk ve tek kaynağıdır*” (Turgot ve Robert, 1898: 46). Bu nedenle Fizyokrazi/Fizyokratlar tarımsal faaliyetlerin önemi üzerinde durmaktadırlar. Fizyokratlara göre zenginliğin nihai yaratıcısı tarımsal emektir, yalnızca tarım sektörü üretkendir çünkü tarımda harcanan emekten fazla kazanılmaktadır (Musto, 2008: 18). Zenginlik ve genel olarak ekonomik sistem, tamamen nihai doğal kaynak arazisine dayanmaktadır (Kula, 1998: 12). Zenginliğin kaynağını doğa olarak kabul eden Fizyokrat görüş, bu neden ve sınırlar içinde çevreyi önemsemektedir. Çünkü Fizyokratlar için doğa, insanın karşısına içsel bir zorunluluk olarak çıkmakta ve doğayı toprak ile bir tutmaktadırlar. Ancak Fizyokratlarda toprak henüz sınırlı kaynak olarak düşünülmediği için, çevreye olan önem salt iktisadi uğraştan kaynaklı olup; çevre sorunlarına olan bilinç ile ilişkilendirilememektedir.

1.1.2 Modern Dönem İktisat Tarihinde Çevre ve Çevrenin Ele Alınışı

Çalışmanın bu bölümünde, çevre ekonomisinin bir bilim dalı olmadan önceki modern dönemde yer alan düşünürlerin çalışmalarına yer verilmiştir. Modern iktisat tarihinde literatür taraması yapılmış ve yalnızca çevreyi ele alan çalışmalara yer verilmiştir.

1.1.2.1. Klasik İktisatta Çevre

Modern iktisadın başlangıcı olarak kabul edilen Klasik iktisat, Merkantilist doktrine karşı olarak ortaya çıkan ve 1776- 1873 dönemlerini kapsayan doktrindir (Froyen, 2013: 51). Merkantilist sistemin devlet müdahaleciliğine karşı olan Klasik iktisadın önemli temsilcilerinin; Adam Smith, David Ricardo, Thomas Robert Malthus, Jean Baptiste Say, John Stuart Mill olduğu kabul edilmektedir.

Klasik iktisat, İngiltere’de Sanayi Devrimi’nin başlangıç döneminde ortaya çıkmıştır. Sanayi Devrimi tüm dünyada yeni bir sosyoekonomik dönüşümün başladığı dönem olarak, insanlık tarihinin önemli dönüm noktalarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu dönem sosyoekonomik alanda birçok değişikliğe neden olmakla beraber etkileri günümüzde de devam etmektedir.

Bu dönem ile birlikte üretim ve tüketim alışkanlıkları değişmiştir. Başta buhar motorları olmak üzere, enerji santralleri için kömür kullanımının artışı, enerji kaynakları kullanımının önemli bir değişim sürecine girmesine neden olmuştur. Bu süreçle beraber enerji kaynakları kullanımında tüketim talebi artmıştır. Sanayileşme sürecinde enerji kullanımındaki hızlı artış doğrudan çevre kirliliğine ve çevre kirliliğine bağlı çeşitli sorunlara neden olmuştur (Stearns, 2021: 242). Artan iktisadi faaliyetler, kükürt dioksit ve nitrojen oksit gibi toksik maddelerin havaya salınmasına neden olmuştur (Cowling, 1990: 212). Kömür dumanının yol açtığı hava kirliliğine bağlı olarak; sağlık sorunları ve asit yağmurları dönemin temel çevre sorunlarının başında gelmektedir. Klasik iktisatçıların çevre ve çevre sorunlarına bakış açısı ise aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır.

Klasik iktisadın kurucusu ve modern iktisadın babası olarak anılan **Adam Smith**, *The Wealth of Nations* (Milletlerin Zenginliği- 1776) kitabında, kaynakların sistematik dağılımına, piyasaların etkilerine ve rasyonel insana vurgu yapmaktadır (Froyen, 2013: 399). Zenginliğin temeline, emek ve verimliliği artıran iş bölümünü koyan Smith, üretimin önemini vurgulamakta ve tarım sektörünü ele almaktadır. Çevreyi serbest mal olarak kabul eden Smith, toprağın işlenmesi ile doğanın insana sağladığı fayda üzerinde durmaktadır. Diğer klasik iktisatçıların aksine, doğal kaynak kıtlığı olsa bile bunun ekonomik büyümenin önünde bir engel oluşturacağını düşünmemektedir. Tam tersine doğanın cömert olduğunu ve tarımın girdilerden çok daha fazla çıktı sunma kapasitesine sahip olduğunu düşünmektedir. Özetle Smith, çevreyi, doğayı ve doğal kaynakları iktisadi açıdan ele almakta ve çevreyle ilgili yazılarını bu doğrultuda sınırlamaktadır. Çünkü Smith, İngiltere ve diğer ülkelerin doğal kaynaklarının tükenmez görüldüğü bir dönemde; Sanayi Devrimi öncesinde yaşadığı için, kaynak kıtlığı onun için önemli bir sorun olarak görünmemektedir (Kula, 1998: 3; Rothschild, 1992: 74). Bu nedenle doğanın bir parçası olarak toprağın sürdürülebilirliği ya da çevre sorunlarına doğrudan değinmemektedir.

Klasik okulun üyesi olan **Thomas Robert Malthus**, *An Essay on the Principle of Population* (Nüfus İlkesi Üzerine Bir Deneme- 1798) kitabında, çevre konuları ile doğrudan ilgilenmektedir. Smith'in iyimser görüşünün aksine kaynakların sınırlı olduğunu, ekilebilir arazi olan dünyamızın sınırlarını düşünen Malthus, nüfus ile geçim kaynağı olan tarım ilişkisini ele almaktadır. Fiziksel çevrenin ekonomik gelişme üzerinde önemli bir kısıtlama oluşturduğu *Nüfus Teorisi*'nde dünyanın herhangi bir yerinde nüfusun 7 milyon, mevcut ürünün ise nüfusa eş olduğunu varsaymaktadır. Eğer nüfus kontrol edilmezse her yirmi beş yılda bir kendini ikiye katlamaya devam edecek ya da geometrik bir oranda artacaktır. Nüfusun geometrik artışına karşın, geçim kaynaklarını ele alan Malthus, en iyi ihtimalle toprağı parçalayarak ve tarım teşvikleri ile üretimin ilk 25 yılda 4 katına çıkabileceğini düşünmektedir. İkinci 25 yıl ise üretimdeki artış mevcut ürüne eşit olabilmektedir. En iyi senaryoda toprağın işleyişine ters olan bu teoride Malthus, nüfusun geometrik, üretimin ise aritmetik olarak arttığını ortaya koymaktadır. Kısa vadede nüfusun, uzun vadeli sürdürülebilir seviyeyle tutarlı olandan daha hızlı arttığı durumda bunu kontrol etmek için birçok olumsuz gücün devreye sokabileceğini doğrudan önermektedir. Bunlar arasında; sağlıksız meslekler, ağır çalışma ve mevsimlere maruz kalma, aşırı yoksulluk, çocuklara kötü bakılması, büyük şehirler, her türlü aşırılık, salgın hastalıklar, savaşlar, veba, veba ve kıtlık bulunmaktadır. Bu teori, bugün anladığımız şekliyle çevre ekonomisi olmamakla birlikte, yaşam standardına yönelik geri bildirime ilişkin farkındalığı yansıtmakta olup, bu durum mevcut kaygıların açıkça habercisi kabul edilmektedir. Böylece, Malthus'a göre, insan ve çevre arasında karşılıklı bir ilişki bulunmaktadır.

David Ricardo, *On the Principles of Political Economy and Taxation* (Ekonomi Politğin ve Vergilendirmenin İlkeleri - 1817) kitabında, Smith'in sermaye birikiminin ve toprağı el konulmasının (rant)², nispi değer üzerindeki etkilerini analiz etmemesine karşın; üretim için gerekli emek miktarından bağımsız olarak, metallerin göreceli değerinde herhangi bir değişikliğe neden olup olmayacağı üzerinde düşünülmesi gerektiği üzerinde durmaktadır. Bununla birlikte Ricardo, zenginliğin kaynağı ile değil, üretim sonucu elde edilen ürünün, üretim faktörleri arasındaki bölüşümünü belirleyen yasalar ile ilgilenmektedir. Ricardo çalışmasında, Smith'in değer teorisini ve Malthus'un nüfus teorisini yeniden yorumlayarak ve toprak-rant teorisini geliştirerek rant, ücret ve kârın gelecekte nasıl şekilleneceğini saptamaya çalışmaktadır. Malthus gibi kaynakların sınırlı olduğunu kabul eden Ricardo, azalan verimler yasasını kabul etmektedir. Eğer bir ülkede zenginlik ve nüfus eş anlı artarsa, bu artışa tarımda belirgin gelişmeler eşlik ediyorsa, bu durum daha yoksul toprakları işlemenin gerekliliğini doğuracaktır. Hem mevcut toprakların tekrar işlenmesi hem de yoksul toprakların işlenmesi toprağın giderek

² **Rant:** toprağın orijinal ve yok edilemez güçlerini kullanması için toprak sahibine ödenen toprak ürününün kısmı (Ricardo, 1817: 39).

verimsizleşmesine neden olacaktır. Azalan verimler yasası olarak bilinen bu durumda aynı zamanda işlenen tüm topraklara ayırım gözetmeksizin uygulanan eşit bir toprak vergisi, en kötü kalitedeki toprağı yetiştiren tarafından ödenen vergiyle orantılı olarak ürün fiyatlarını yükseltecektir. Üretim faktörü olarak toprağı konu alan Ricardo, doğayı toprak olarak görmüş, toprağın üretim sürecindeki yerini ele almıştır. Özetle Ricardo, arazi varlığının ve kalitesinin ekonomik kira açısından ne kadar önemli olduğunu açıklamaya çalışmış bu yönden çevreyi ele almıştır. Ancak çalışmasında bugün anladığımız hâliyle çevre sorunlarını ele almamıştır.

John Stuart Mill *On Nature* (Doğa Üzerine- 1874) makalesinde, insan faaliyetlerinin doğanın yasaları ile ilişkisini ve bununla birlikte doğanın insan tarafından etkilenmesini ele almaktadır. Mill'e göre doğa, insan uygarlığını ve onun ahlak ve adalet gibi daha yüksek ürünlerini kapsamaktadır. Yıkım ve acı, gelişimin bir parçasıdır. Bu nedenle insan her zaman doğa tarafından ezilme tehlikesi ve risklerle karşı karşıyadır. Bu tür riskleri en aza indirmek için insanlar, kendi türlerinin akıl ve ahlak gibi ayırt edici özelliklerini kullanmalıdır. Ancak doğayı dönüştürürken, doğayı aynı zamanda sürdürmelidirler. Çünkü Mill'e göre insan faaliyetleri doğaya tabiidir ve insan doğa üzerinde etkisini en yüksek adalet seviyesinde, doğaya iş birliği edecek şekilde kullanmalıdır. Mill bulunduğu çağda, her metrekaarelik arazinin ekime açıldığı, doğal otlakların sürüldüğü, yabani bitki ve hayvan türünün insanlığın gıda rakibi olarak yok edildiği ve her çalı veya ağacın kökünün kazındığı bir dünyanın gelecek nesilleri yok edeceğini ön görmektedir. Doğa zorunlu kılmadan önce, bu tür yıkıcı faaliyetlerin insanlar tarafından sağduyu ile durdurulması gerekliliğini ifade etmektedir. Mill bir diğer eseri *Principles of Political Economy* (Politik Ekonominin İlkeleri- 1885) kitabında, üretkenlikteki sürekli artışın doğal çevreyi yok etmesinden endişe etmektedir. Artan ekonomik büyümeyle giderek daha büyük bir insan nüfusu sürdürülebilse bile, bu en iyi sonuç olmayacaktır. Bu durumu Mill, "*Tabiatın güzelliği ve görkemiyle baş başa kalmak, birey için olduğu kadar toplumun da vazgeçilmez düşüncelerin ve hedeflerin beşiği olabilir. Eğer dünya, servetin ve nüfusun sınırsız artışının yok edeceği güzelliklerden bir kısmını kaybetmek zorunda kalacaksa, sadece daha büyük bir nüfusu desteklemek amacıyla değil, daha iyi veya daha mutlu bir nüfusu desteklemek için olsun, umarım gelecek nesiller için, zorunluluk onları buna zorlamadan önce, durağanlıkla yetinirler.*" pasajında ifade etmektedir.

Özetle değerlendirildiğinde Klasik iktisatçılar, dönemin sorularına uygun olarak makroekonomik konular ile ekonominin bir bütün olarak nasıl çalıştığı ve zaman içinde nasıl büyüdüğü ile ilgilenmişlerdir. Klasik iktisatçılar, doğal kaynakları, doğa tarafından serbestçe sağlanan bir üretim faktörü olarak ele aldıkları için çevreye bakış açıları bu doğrultuda şekillenmiştir. Genel bakış açısı kaynak sahibinin, doğal kaynağın bugünkü değerini maksimuma çıkarmak için yaptığı seçimler, doğal kaynakların kıtlığı ve tükenmesi olmuştur. Adam Smith, David Ricardo ve Malthus, sürdürülebilir

kalkınma çağrısının altında yatan modern teorilerden farklı olarak büyümenin sınırları ile ilgilenmişlerdir (Spash, 1999: 415). Üretimin emeğe bağımlılığı, toprak kıtlığı ile birleştiğinde, ekonomik büyümenin durgunlaşması ilgilenilen temel sorun olmuştur. Mill ise yine ekonomik kaygı ile doğal kaynakların tükenmesi üzerinde durmuştur. Genel olarak, bu yüzyılın ilk bölümündeki çevre literatürü, ekonomide koruma konuları hakkında gelişen endişeler olarak kabul edilmektedir. Bu nedenlerle Klasik iktisatçılar çevre ve sorunlarını sınırlı bir çerçevede ele almıştır ifadesi yanlış bir ifade olmayacaktır. Ancak modern sanayi uygarlığının yarattığı çevre sorunlarına ilişkin erken bir farkındalığın olduğu da dikkat çekmektedir.

1.1.2.2. Marksist İktisatta Çevre

Marksist iktisat, temelleri Karl Marx ve Friedrich Engels'e dayanan, 19. yüzyılın ortalarında ortaya çıkan sosyo-politik görüştür. Marx ve Engels Sanayi Devrimi'nin en yoğun olduğu dönemde yaşamışlardır. Bu nedenle Marx ve Engels'in çalışmalarında Sanayi Devrimi ve kapitalist sistem önemli bir yer tutmaktadır. Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere Sanayi Devrimi sosyoekonomik alanda birçok değişikliğe neden olmuştur. Marxist iktisatta bu dönüşümün etkileri ele alınmaktadır.

Marksist görüş temelde kapitalist üretim tarzının yol açtığı sorunları eleştirerek çevrenin tahribatını ele almaktadır. Marksist iktisatta çevre sorunları önce *diyalektik materyalizm*³ anlayışının gerektirdiği bir neden sonuç ilişkisi içinde ele alınmaktadır. Uzun bir evrim sürecinden geçmiş doğa ve doğadaki tüm canlılar, bugün doğanın yıkımından büyük zarar görmektedir. Bunun nedeni ise Marksist görüşe göre kapitalist sistemden kaynaklanmaktadır.

Marksizm'de kapitalizmin doğuşu “sözde (ilk)el birikim” kavramıyla ifade edilmektedir. Marx'a göre ilkel birikim; “*İlk birikim kölelerin ve serflerin dolaysız olarak ücretli işçilere dönüşmesi, yani sırf bir biçim değişikliği olmadığı ölçüde, yalnızca, dolaysız üreticilerin mülksüzleşmeleri, yani sahibinin emeğine dayanan özel mülkiyetin çözülüp yok olması*” anlamına gelmektedir (Marx, 1848: 508). Bu sürecin doğa üzerindeki en önemli etkisi; doğanın ve insanın var oluşunun koşullarını özel mülkiyet haline getirdiği düşüncesidir (Foster, 2002: 35). Bu doğrultuda Marksist görüş doğal çevrenin kirliliğine yol açan unsurları şu şekilde ele almaktadır;

- **İnsan ve doğa arasındaki ilişki:** Engels'e göre, insanın tüm tarihi, kendisini bağlayan doğanın dış güçlerini alt etme ve doğayı insanın amaçlarına hizmet etmesi için tabi kılma mücadelesidir. Engels bu durumu şu şekilde açıklamaktadır; “*İnsanın çevresini oluşturan ve şimdiye kadar onu yönetmiş olan*

³ **Diyalektik Materyalizm:** Karl Marx ve Friedrich Engels'in yazılarından türetilen gerçekliğe felsefi bir yaklaşımdır. Marx ve Engels için materyalizm, duyuyla algılanabilen maddi dünyanın akıl ve ruhtan bağımsız nesnel gerçekliğe sahip olmasını ifade etmektedir. Marx ve Engel zihinsel veya ruhsal süreçlerin gerçekliğini kabul etseler de fikirlerin yalnızca maddi koşulların ürünleri ve yansımaları olarak ortaya çıkabileceğini savunmaktadırlar (Lefebvre, 1968: 48).

hayat koşullarının oluşturduğu bütün alan, artık kendi toplumsal örgütlenmesinin hâkimi haline geldiği için ilk defa doğanın gerçek, bilinçli efendisi olan insanın hükümranlığı ve kontrolü altına girmektedir. Şimdiye kadar insanın karşısında doğanın yasaları gibi yabancı kalan ve onu tahakkümü altına almış olan kendi toplumsal eylemlerinin yasaları bundan sonra onun tarafından tam olarak kavranmış olarak kullanılacak ve onun egemenliği altına girecektir.” (Engels, 1880: 80).

Kapitalist sistem ve Sanayi Devrimi değerlendirildiğinde; kitle ve seri üretimin insan ve doğa arasındaki ilişkiyi farklı boyutlarda etkilediği görülmektedir. Kapitalizmde üretim; ihtiyaçları karşılamak için değil pazarda satılmak için yapılmaktadır (Altvater, 2007: 38). Üretim teknolojisinin gelişmesi ile ürün işleminin kolaylaşması, farklı niteliğe sahip olan ürünlerin ticarete konu olmasına neden olmuştur. Örneğin sadece kürklerinden faydalanılan samurlar 15’inci yüzyılda her yerde yaygın iken, aşırı avlanma nedeniyle 17. yüzyıl sonlarında sadece Sibiry’a da bulunmaya başlamıştır. Sanayi Devrimi ile 18’inci yüzyılın sonlarında ise Sibiry’daki kürklü hayvan türlerinin çoğu yok edilmiştir (Foster, 2002: 46). Özetle kapitalist sistemde değişen üretim yapısı, insan ve doğa arasındaki ilişkiyi farklı bir boyuta taşımaktadır.

- **Mülkiyetin, doğal kaynakların ve üretim araçlarının toplumsal mülkiyeti teorisi:** Çevresel bozulmayı politik ve ekonomik bir sorun olarak gören Marksist yaklaşım, ekolojik sorunların çözümünün, doğal kaynakların özel mülkiyetin konusu olmaktan çıkarılması ile mümkün olabileceği düşüncesindedir (Kula, 1998: 176). Engels bu durumu şu şekilde açıklamaktadır:

“Üretim araçlarına toplum tarafından el konulması, meta üretimine ve dolayısıyla ürünün üretici üzerindeki egemenliğine son verir. Toplumsal üretimdeki anarşinin yerini planlı bir temelde bilinçli örgütlenme alır. Bireysel varoluş mücadelesi sona erer. Ve bu noktada, belli bir anlamda, insan nihayet kendini hayvan dünyasından koparır, hayvan varoluş koşullarını geride bırakır ve gerçekten insani koşullara girer.” Kapitalist üretim tarzı, yalnızca emeğin artı değerini değil; aynı zamanda toprağın verimliliğini de sömürmektedir (Marx, 1848).

Marx’a göre, toprağın hâkimiyeti, toprağı ve dolayısıyla doğanın temel güçlerini tekeline alanların, yani toprak sahiplerinin, dünyanın hâkimiyeti anlamına gelirken aynı zamanda toprağın ve cansız maddenin büyük çoğunluğu insanlar üzerinde hâkimiyetini de ifade etmektedir.

- **Kapitalist Üretim Sistem ve Çevre:** Her şeyden önce kapitalist üretim sistemi, işçilerin sağlıklarını tehdit eden hava kirliliğini artırmaktadır. Diğer kirliliklerin nedeni ise kapitalizmin giderek toplumun her köşesine nüfuz etmesidir. Marx ve Engels, işçilerin adil olandan daha fazla kirliliğe maruz kalmasını eleştirmektedir. Ayrıca Kapitalist sistemde insan, doğa ile “yabancılaşmaktadır”. İşçilerin şehirlerdeki yabancılaşmasının sonuçları; ışığın, havanın, temizliğin

artık insanın varoluşunun bir parçası olmamasıdır. Artık karanlık, kirli hava ve arıtılmamış atık sular onların maddi çevresini oluşturmaktadır. İnsanlığın ve doğanın bu şekildeki yabancılaşması, sadece yaratıcı çalışmayı değil, yaşamın temel unsurlarını da kaybettirmektedir. Kapitalizmde tüm doğal ve insani ilişkiler, para ilişkilerine dönüşmektedir.

Özetle kapitalist sistemin etkileri üzerinden, toplumdaki işçi sınıfının gelecekteki yaşam standartlarını gözeterek Marksist iktisat çevreyi ele almaktadır. Marksist iktisadi görüşe göre; kapitalist sistemler sürdürülebilir değildir ve çevreye verilen zararlar sürdürülemezliğin kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Kapitalizmin sömürücü doğası, doğal kaynaklar üzerinde yıkıcı etkilere yol açmaktadır. İlerleyen kapitalist sistem, uzun vadede hem işçiyi hem de toprağın, doğanın verim kaynağını zayıflatmaktadır.

Marx ve Engels'in öngördüğü gibi günümüzde dünya uluslararası alanda bölünmüştür. 1945 Dünya Savaşında olduğu gibi nükleer silahın da kullanıldığı savaşlar yaşanmıştır. Silahlanma yarışında insanlık tarihinde daha önce olmadığı kadar çevre tahribatı ve istismarı gerçekleşmiştir. Çevre ve doğal kaynaklar, ihtiyaç dahilinde olmadan kâr elde etme güdüsü ile ticarete konu olmaktadır.

1.1.2.3. Neoklasik İktisatta Çevre

1870'ler itibari ile gelişmeye başlayan Neoklasik iktisat ekolünün önemli temsilcileri Alfred Marshall, William Stanley Jevons ve Arthur Cecil Pigou'dur (Sandelin, Trautwein ve Wundrak, 2014: 40). Neoklasik iktisat özünde Klasik iktisadın temel görüşlerini kabul etmekle birlikte bu görüşleri daha sistematize hâle getirmektedir.

Neoklasik iktisat temsilcilerinden **William Stanley Jevons**, *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of our Coal Mines* (Kömür Sorunu: Ülkenin İlerlemesi ve Kömür Madenlerimizin Muhtemel Tükenmesine İlişkin Bir İnceleme – 1865) adlı kitabında çevreyi, doğal kaynakların tüketimini araştırarak ele almaktadır. Britanya'da sanayileşmenin yoğun olduğu bir dönemde yaşayan Jevons, dönemin önemli konusu olan enerji sorunu ile ilgilenmektedir. Jevons çalışmasında, kaynaklar sabitken büyümenin, nüfus çoğalmasının ve sabit kaynakların dış ticarete ihraç edilmesinin olası sonuçlarını değerlendirmektedir. Sanayileşmenin getirdiği büyümenin çok geçmeden, bir doğal kaynak olan kömürü azaltacağına dikkat çekmektedir. Jevons'a göre maden kaynaklarının ihraç edilmesi, sermayenin israf edilmesi; geri dönmeyecek olandan vazgeçilmesi anlamına gelmektedir. Bu yönde iktisadi politikalarını eleştiren Jevons, bu büyümenin kısa süreli olacağını düşünmektedir. Bu yönde düşünerek, maddi kaynak kullanımını ve ihracatını yeniden değerlendirilmesini, gözden geçirilmesini önermektedir. Özetle değerlendirildiğinde Jevons, diğer Klasik iktisatçılarda olduğu gibi, bugün anladığımız hâliyle çevre ve sorunlarıyla ilgilenmekten ziyade

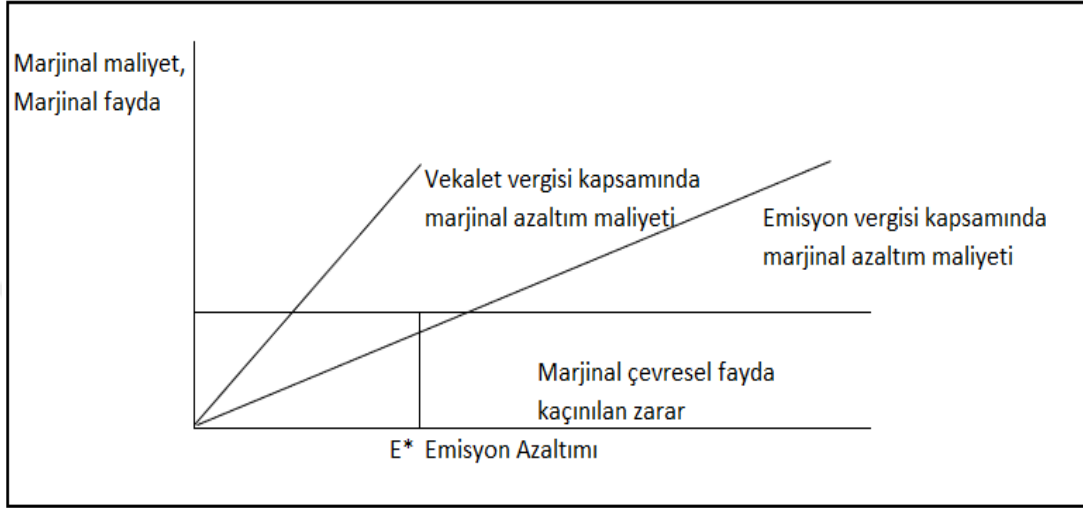
büyümenin sınırları ile ilgilendiği için doğal kaynakları ele almaktadır. Ancak Jevons aynı zamanda enerji verimliliği ve yakıt ekonomisine ilişkin temel konuları gündeme getiren çalışması nedeniyle kimi ikisatçılar tarafından, ekolojik ekonomiye katkıda bulunanlardan biri olarak hatırlanmaktadır (Clark ve Foster, 2001: 93). Buna karşın, kömür tüketiminin neden olduğu hava, toprak ve su kirliliğine değinmemesi nedeniyle eleştirilmektedir.

Neoklasik iktisadın temsilcilerinden **Alfred Marshall**, doğal kaynaklar ve dışsallık konuları üzerinden çevreyi ele almaktadır. Marshall, *Principles of Economics* (Ekonominin İlkeleri - 1890) kitabında, bir ülkenin emek ve sermayesinin doğal kaynaklarına bağlı olarak meta ürettiği üzerinde durmaktadır. Herhangibir yerin emek ve sermaye için sunduğu istihdam alanı, öncelikle doğal kaynaklara bağlıdır. Marshall üzerinde durduğu ikinci konu olan dışsallığı, maddi olmayan malları ayırarak açıklamaktadır. Dışsallığı diğer insanlara fayda sağlayan mal olarak tanımlamaktadır. Toprağın ve doğanın sunduğu avantajların değerini artıran çevre yatırımları toprak sahiplerine gelir kaynağı sağlamaktadır. Ancak pozitif dışsallık üzerinde duran Marshall, negatif dışsallığa yer vermemektedir. Bu noktada Marshall'ın dışsallığı ele alışı, çevresel kirliliği dışsallık analizi ile ilişkilendiren çalışmalara katkı sağladığı için önem taşımaktadır (Perman vd., 2003: 8). Marshall bir başka eserinde *Industry and Trade* (Sanayi ve Ticaret - 1919), insan etkinliklerinin çevreye ve ekonomik kalkınmaya etkilerine dair endişesini dile getirmektedir. Marshall'a göre; doğanın sunduğu imkânlar uzun süreli olmayacaktır, çünkü dünya küçük ve sınırlıdır. Bilimin gelişmesi dünyanın sürdürülmesini sağlayabilir ancak çok nesil geçmeden önce tarımsal ve maden kaynaklarının sınırlılığı dünya nüfusunu ciddi şekilde etkileyecektir.

Neoklasik iktisat ekolün bir diğer temsilcisi Arthur **Cecil Pigou**, *The Economics of Welfare* (Refah Ekonomisi- 1920), kitabında gelecek nesillere karşı sorumluluğa vurgu yaparak, çevrenin tahribatını doğrudan ele almaktadır. Pigou, tüketimde dışsallık sorunu üzerinden doğayı, çevreyi ve refahı incelemektedir. Pigou'ya göre refah; doğa, insan tarafından üretilen madde ve insanın bilgi birikimi ve etik değeri olmak üzere 3 tür sermayeye dayanmaktadır (Pigou, 1920: 14-15). Ancak insanlar bazen isteklerini ve hatta fazlasını elde etmek için, doğayı tahrip eden/yok eden yöntemler kullanarak refahı düşürmektedir. Toprağın verimliliğini tüketen üretim yöntemleri, üreme mevsimlerini göz ardı edecek şekilde yürütülen balıkçılık ve bazı balık türlerinin neslinin tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalmasını örnek veren Pigou, bu durumun gelecek nesilleri de etkileyeceğine vurgu yapmaktadır. Pigou, Marshall'ın aksine negatif dışsallık üzerinde durmaktadır; insanlar mevcut hizmete çok fazla ve gelecekteki hizmetlere çok az kaynak ayırmaya eğilimlidir. Bu nedenle Pigou refahın azalmasına neden olan, geleceği düşünmeyen savurgan üretim ve tüketim için vergi modelini önermektedir. Literatürde **Pigouvian Vergi** olarak bilinen modele göre; marjinal sosyal net ürünün değerinin marjinal özel net ürünün değerinden daha az olduğu her endüstri için, devlet vergi uygulamalıdır. Bu vergiler çevresel

kirliliği tamamen ortadan kaldırmayan ancak sosyal açıdan optimum çevresel bozulma ile uyumlu olarak ayarlanmaktadır. Çevre vergileri marjinal zararlara eşit olmalı ve doğrudan emisyon kaynağından alınmasını öneren Pigouvian Vergiye göre; marjinal faydanın marjinal azaltım maliyetlerine eşit olduğu noktada emisyon azaltımına neden olmaktadır. Grafik 1’de Pigou’ya göre çevre vergilerinin refah etkileri gösterilmektedir (Heine, Norregaard ve Parry, 2012: 8);

Grafik 1: Pigou Çerçevesinde Çevre Vergilerinin Refah Etkileri



Kaynak: Heine, Norregaard ve Parry 2012: 8 yararlanılarak oluşturulmuştur.

Grafik 1’de marjinal zararlara eşit bir vergi, marjinal faydanın marjinal azaltım maliyetlerine eşit olduğu E* ile gösterilen alanda etkin düzeyde emisyon azaltımı sağlamaktadır. Pigou doğal kaynakların sömürülmesinin önüne geçilmesi için, gerektiği takdirde yasalar ile savunulması gerektiğini savunmaktadır. Özellikle ormancılık gibi geri dönüşün yıllar sonra görülmeye başlayacağı alanlarda yatırım için teşvik uygulamalarının olmasını önermektedir. Özetle Pigou; Jevons gibi, gelecek nesillerin refahının göz ardı edilmemesi gerektiği görüşüne katılmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için yasal enstrümanların kullanılmasını önermektedir.

Sonuç olarak neoklasik iktisatçılar çevre ekonomisine kazandırdıkları farklı teorilerle önemli katkıda bulunmuştur. Jevons ve Marshall iktisadi büyüme kaygısı ile doğal kaynakların kıtlığı ile ilgilenmekte ve çalışmalarında çevreyle olan ilişkiyi bu doğrultuda sınırlanmaktadır. Pigou ise iktisadi faaliyetlerden kaynaklanan negatif dışsallığın etkilerine vurgu yaparak hem doğal kaynakların kıtlığı hem de çevre tahribatının gelecek nesiller üzerindeki etkilerini ele almaktadır. Bu kaygılar doğrultusunda çevresel zararları önlemek için zarar gören tarafların sübvansiyonlar yoluyla maruz kaldıkları zararları tazmin etmesini önermektedir. Özetle Neoklasik iktisatçılara göre çevre sorunları, doğal kaynakların verimsiz kullanımından, doğal kaynakların sonlu oluşundan ve doğal sermayenin değer düşüklüğünden kaynaklanmaktadır. Neoklasik iktisatçıların çevre korunmasına ilişkin en önemli önerileri negatif dışsallık oluşturan tarafın vergiye tabii tutulması ve yasal enstrümanları önermesidir.

1.1.2.4. Keynesyen İktisatta Çevre

Klasik iktisadın öğretilerine eleştiri olarak ortaya çıkan Keynesyen iktisat, temelde iktisatçı John Maynard Keynes'in argümanlarına dayanmaktadır. 1929 Büyük Ekonomi Buhranı, Klasik ekolün reçetelerinin yetersiz kalmasına neden olmuştur. Klasik ve neoklasik iktisadın öğretilerinin krize cevap verememesi üzerine Keynes bu dönemde yayınladığı İstihdam, Faiz ve Paranın Genel Teorisi (1936) kitabı ile iktisatta yeni bir ekolün açılmasına vesile olmuştur.

Bulunduğu iktisadi şartlar içerisinde Keynes ve Keynesyen akımı takip eden iktisatçılar nüfus artışı, doğal kaynak yeterliliği, ekonomi politikaları ve genel olarak insanlığın geleceği hakkında çalışmıştır (Kula, 1998: 89-90). Çevre sorunları ile ilgili doğrudan bir teori üretmeyen Keynesyen iktisadın, doğrudan olmasa da sürdürülebilirliğe ilişkin atıfta bulunarak, günümüz ekolojik iktisatçıların görüşlerinde etkili olduğu düşünülmektedir (Holt, 2005). Keynes'in (1930: 363-364) makalesinde yer alan "...Önemli savaşların ve önemli nüfus artışının olmadığı varsayılırsa, ekonomik sorunun çözülebileceği sonucunu çıkarıyorum. Ekonomik mutluluk hedefimize ulaşma hızımızı dört şey belirleyecek: Nüfusu kontrol etme gücümüz, savaşları ve iç anlaşmazlıkları önleme kararlılığımız, asıl ilgi alanımız olan konuların yönetimini bilime emanet etme isteğimiz. Bilimin ve üretimimiz ile tüketimimiz arasındaki marjın belirlediği birikim oranı; hangisinin sonuncusu ilk üçü göz önüne alındığında kolayca kendi başının çaresine bakacaktır...Gelecekte makul bir alternatif bulamadıkları sürece, körü körüne zenginliğin peşinde koşan, yoğun, tatminsiz bir amaççılığa sahip birçok insan olacaktır. Ama geri kalanımız artık onları alkışlamak ve cesaretlendirmek gibi bir yükümlülüğe sahip olmayacağız. Çünkü doğanın hemen hemen hepimize değişen derecelerde bahşettiği bu "amaçlılığın" gerçek karakterini, bugün güvenli olandan daha merakla araştıracağız. Çünkü amaçlılık, eylemlerimizin kendi niteliklerinden veya kendi çevremiz üzerindeki doğrudan etkilerinden çok, uzak gelecekteki sonuçlarıyla ilgilenmemiz anlamına gelmektedir." atfın sürdürülebilirlik hedeflerine, bugünün ve gelecek nesillerin yaşam kalitesine verdiği öneme işaret ettiği düşünülmektedir.

Keynes başka bir yazısında (1933: 5); "...Doğanın sahiplenilmeyen güzelliklerinin ekonomik değeri olmadığı için kırsalın güzelliklerini yok ediyoruz. Güneşi ve yıldızları kapatmaya muktediriz çünkü onlar kâr payı vermiyorlar..." diyerek kendi kendini yok eden aynı finansal hesaplama kuralının hayatın her alanına hâkim olduğunu eleştirmektedir (Berr, 2017: 70).

Ancak özetle bir kriz ekonomisine reçete olarak ortaya çıkan Keynesyen iktisat, dönemin öncül sorunları ile ilgilenmektedir. Yaşadığı dönemdeki asıl kaygılar, I. Dünya Savaşı'nın sonuçlarının nasıl yönetileceği, parasal ve mali dengesizliklerin nasıl düzeltilileceği, kitlesel işsizliğe karşı nasıl mücadele edileceği veya daha genel olarak barışı destekleyen uluslararası bir ortamın nasıl uygulanacağı ile

ilgilidir (Berr, 2009: 24). Bu nedenlerle Keynes'in çevre ve çevre kirliliği üzerinde çalışmaları sınırlı kalmaktadır.

1.1.2.5. Post-Keynesyen İktisatta Çevre ve Yeşil Keynesyenizm

Kökenleri J.M. Keynes'e dayanan Post Keynesyen görüşün öncüleri Michael Kalecki, Joan Robinson, Richard Kahn, Richard Godwin'dir (Harcourt, 2008: 185).

Post-Keynesyen iktisatçılar, kapitalizmde büyüme ve dağıtım ilişkisi sorunları incelerken, kapitalizmin ekolojik etkilerini, çevreyle ilgili asli bir kavram olmaksızın ele almışlardır. Ancak çevre kirliliği tartışmalarında Post-Keynesyen iktisat, iklim değişikliğini ve etkilerini sınırlamak için önerdiği uygun politikalar ile önemli bir konuma sahiptir (Peter ve Bird, 1982: 586; Pollitt, 2019).

Post-Keynesyen iktisata göre; kapitalist sistemde ücret payındaki uzun vadeli düşüş, artan kişisel eşitsizlik ve yüksek servet eşitsizliği, yalnızca bireysel acıları değil, aynı zamanda ekonomik ve ekolojik istikrarsızlığı da beraberinde getirmektedir. (Huwe ve Rehm, 2022: 399). Ayrıca üretim süreçlerinin çoğu, hava, toprak ve su kirliliği gibi çevreye de zarar veren dışsallık üretmektedir. Bu durumun en önemli örneği; düşük gelir gruplarının harcamalarının daha karbon yoğun olması nedeniyle, gelirin karbon yoğunluğunun düşük gelirli gruplar için daha yüksek olmasıdır. Ancak geniş çerçevede bakıldığında; daha zengin hanelerin hem uluslararası hem de ülke içi perspektiften tüm tüketim kategorileri genelinde, önemli ölçüde daha yüksek karbon emisyonlarına sahip olduğu görülmektedir. Örneğin AB'de, nüfusun en yüksek karbon ayak izine sahip en üst %10'u en alttaki %50'den daha fazla emisyon salmaktadır⁴.

Post-Keynesyen iktisatçılara göre, devletin toplumsal hedeflere ulaşma çabalarını koordine etme konusunda önemli bir rolü bulunmaktadır. Adil bir geçişin gerekli olduğu bu sistemde uygulanacak iklim politikasının gelir eşitsizliğini artıramaması gerekmektedir. Pek çok Post-Keynesçinin çalışması piyasaları toplumsal ve politik kurumların bir parçası olarak ele almaktadır. Post-Keynesyen iktisatçıların çevreye ilişkin düzenleyici önerileri aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir;

- Uzun vadede sürdürülebilir büyüme oranını belirleyen faktörleri etkilemede hükümet politikalarının daha etkili bir güç olması için sosyal normların değişmesi de gerekmektedir. Örnek olarak; ekonominin gelecekte sürdürülebilir büyümeye ilişkin fikir veya görüşler, bankaların kredi verme davranışlarını ve firmaların borçlanma ihtiyaçlarını etkileyecektir (Fontana ve Sawyer, 2016: 17).

⁴ Bkz: Oxford Committee for Famine Relief, <https://www.oxfam.org/en/press-releases/eus-richest-10-emit-much-planet-heating-emissions-half-eus-poorest-population> (Erişim: 16.06.2024).

- Bugün gerçekleştirilen herhangi bir eylemin yarın sadece insanlar üzerinde değil aynı zamanda biyosfer üzerinde de etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle Post-Keynesyenler üretim faktörlerinin ikâme edilebilirliği ilkesini reddetmekte ve “doğal kaynakların makul yönetimi” kavramıyla örtüşen bir tür tamamlayıcılığın altını çizmektedirler (Berr, 2017: 73).
- İklim değişikliği ile mücadele etmede ve emisyonları azaltmada hükümet yatırımlarının fiyat değiştirme aracından daha etkili olacağı düşünülmektedir (Huwe ve Rehm, 2022: 401-402).
- Post-Keynesçilere göre yeşil yatırımlar hükümetin borç yoluyla finanse etmesi ile karşılanabilmektedir (Legiędź, 2023: 2).

Post Keynesyenler içerisinde sınıflandırılan “**Yeşil Keynesyenizm**” kavramı ile ilişkilendirilen görüş, 2008 Küresel Krizi ile gündeme gelmiştir (Tienhaara, 2018). Ekonomik krizle birlikte yaşanan durgunluk, yeşil altyapıya ve endüstriyel sistemlere geçiş ihtiyacı, “Yeşil Yeni Düzen⁵” (*Green New Deal*) altında, birçok çevrecinin bir tür Yeşil Keynesçi yaklaşımı savunmasına neden olmuştur. Yatırım, artan gelir ve büyümeden oluşan verimli döngüye dayanan tam istihdam Yeşil Keynesçilik, potansiyel olarak iklim değişikliği felaketine karşı bir alternatif olarak son dönemlerde tartışılmaktadır (Green, 2022: 333).

Özetle Yeşil Keynesyenizm ya da Yeşil Keynesçilik kapitalist bir çerçeve içerisinde sıfır büyüme yaklaşımını takip etmek yerine, çevresel kaygıları ön planda tutan ve ekolojik bozulmayı önleyen sürdürülebilir büyümeye doğru bir geçişi savunmaktadır (Arne, 2023: 10). Başka bir deyişle Yeşil Keynesyenizm; Keynesyen maliye politikalarını çevresel tahribatı en aza indirecek şekilde yeniden tasarlayarak çevreye zarar vermeyen bir büyüme anlayışının benimsenmesi gerekliliği üzerinde durmaktadır.

Bu amaçlar doğrultusunda, hükümet harcamalarını politika aracı olarak kullanılması gerektiğini öne süren Yeşil Keynesyenler, ekonomik büyümenin de gerçekleşeceğini ve sürdürülebilir uygulamaların gelişeceğini öne sürmektedir (Legiędź, 2023: 2). Buradaki ana fikir, yeşil teknolojilere

⁵ **Yeşil Yeni Düzen (Green New Deal):** ABD’de ortaya çıkan kökeni 1946’lara kadar uzanan, finansal, ekonomik ve ekolojik sistemlerin birbirine bağlılığın vurgulandığı ve bu sistemlerde çevreyi korumak için önemli bir dönüşüm önerilen bir dizi kapsamlı politikaları içermektedir (Legiędź, 2023: 2).

Temelde Yeşil Düzen savunucuları üç temel iddiada bulunmaktadır. İlk olarak, insan kaynaklı iklim değişikliği tehdidi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için acil ve büyük ölçekli bir ekonomik dönüşümü gerektirmektedir. İkinci olarak, Franklin Delano Roosevelt’in 1930’lardaki orijinal Yeni Düzen’inin kurumsal ve düşünsel mirası, bunu başarmak için bir rehber olarak öğretici kabul edilmektedir. Son olarak; bu, diğer sosyal ve ekonomik hedeflerin yanı sıra büyük ölçekli iş yaratma fırsatıdır (Green, 2022).

ve altyapıya yapılan yatırımların istihdam oluşturarak ekonomik büyümeyi artırabileceği, aynı zamanda karbon emisyonlarını azaltıp sürdürülebilirliği teşvik edebileceği görüşüdür.

Keynesyen mali politikaları çevresel hedeflerle birleştirmeyi hedefleyen Yeşil Keynesçi yaklaşım perspektifinden, çevreyi gözeten politikalar ana hatları ile şu şekilde özetlenebilmektedir (Harris, 2013: 14);

- Yüksek öğrenim yatırımı ile artan kamu araştırma-geliştirme harcamalarına yoğunlaşılması,
- Büyük enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji yatırımı, kısmen kamu ve kısmen teşvik edilmiş özel yatırım yapılması,
- Toplu taşıma, altyapı ve yeşil binalara yatırım yapılması gerekliliği,
- Karbon vergisi uygulamaları; enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynakları için karbon vergisi gelirlerinin geri dönüştürülmesi
- Araba, makine, binalar için verimlilik standartlarının getirilmesi,
- Verimlilik ve yenilenebilir enerji yatırımı için Küresel Yatırım Fonunun oluşturulması,
- Tarım ve ormancılık da dahil olmak üzere gelişmekte olan ülkeler için karbon kredileri ile sanayileşmiş ekonomiler için entegre üst sınır ve ticaret planlarının geliştirilmesi,
- Az gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler için verimlilik ve yenilenebilir teknoloji transferinin sağlanması.

Yeşil Keynesyenlere ait yukarıda özetlenen yeniden büyüme stratejisi, bunlara ulaşmak ve sera gazı azaltımını sağlamak için GSYİH büyümesini gerektirmektedir (Arne, 2023: 11). Çünkü yapısal değişim ve teknolojik ilerlemeler sermayeye bağlı olarak gelişmektedir. Bu çerçevede Yeşil Keynesçiler kamu borç ve açıklarına dikkat edilmesi gerektiğini öne sürmektedir. Post Keynesyen görüşten farklı olarak Yeşil Keynesyenler, yeşile yapılan yatırımı kamu borçlarını göz önünde tutarak sınırlamaktadırlar (Legiędź, 2023: 3).

1.1.3. Çevre Ekonomisi Bilim Dalı ve Teorileri

İktisatçılar yüzlerce yıldır çeşitli doğal kaynak konuları üzerinde düşünmüş olsa da çevre ekonomisi, ekonominin bir alt disiplini olarak 1960'ların ortalarında ortaya çıkmıştır. Ancak iktisat yazınında, çevre ekonomisini önceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlar arasında daha önceki bölümde yer verilen Pigou'nun dışsallık teorisi, Kaldor-Hicks⁶ 'in yaklaşımı öncül kabul edilmektedir

⁶ **Kaldor-Hicks Yaklaşımı:** Çevre kirliliğini negatif dışsallık üzerinden inceleyen teorilerden bir tanesi Kaldor & Hicks Yaklaşımıdır. Teori literatürde “Tazmin İlkesi” ve “Kayıpları Karşılama ilkesi” olarak da bilinmektedir. Yaklaşım sosyal

(Pearce, 2002: 58). Bu alana katkıda bulunan diğer isimlerin; Frank Ramsey (1928)⁷, Harold Hotelling (1931)⁸, Karl William Kapp (1950)⁹, Ciriacy-Wantrup (1968)¹⁰ olduğu kabul edilmektedir (Halkos, 2011: 9-10).

Çevre ekonomisi özünde kaynakların tükenmesi de dahil olmak üzere çevre sorunlarının nedenlerini ve bunların ekonomi ve toplum üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Ve bunları belirlemek için ekonominin araçlarını kullanmaktadır. Bir yandan, çevre ekonomisi kaynak kıtlığı ve ekosistem ile ilgilenirken diğer yandan evrimsel ekonomi nüfus teorisine dayanmaktadır (Halkos, 2011: 18). Çevre ekonomisi, çevreyi ekonomik sistemin bir unsuru olarak ele almakta ve onu bir varlık veya kaynak girdisi olarak düşünmektedir.

Çevre ekonomisi, çeşitli ana akım ekonomik teorilerin ve ilkelerin çevre sorunlarına uygulanmasına dayanmaktadır. Çevre ekonomisi 4 temel kavram ile ilişkilendirilmektedir (Harris ve Roach, 2018: 6);

- Çevresel dışsallıklar teorisi,
- Ortak mülkiyetin ve kamu mallarının optimal yönetimi,
- Doğal kaynakların zaman içinde optimum yönetimi,
- Çevresel mal ve hizmetlerin ekonomik değerlemesi.

Bu kavramlar çerçevesinde, çevre ekonomisi yazınına katkı sağlayan birçok teori geliştirilmiştir. Literatürden derlenen bu teoriler; Scitovsky Yaklaşımı, Çevresel Kuznets Teorisi, Coase Teoremi, Plott Yaklaşımı, Kirlilik Sığınağı Hipotezi, Porter Hipotezi'dir (Barancsuk, 2015: 80-81). Çalışmada bu teorilere kronolojik olarak yer verilmektedir.

1.1.3.1. Scitovsky Yaklaşımı

Dış ekonomiler kavramının ekonomi literatüründe anlaşılması en zor olanlardan biri olduğunu vurgulayan Scitovsky, çevre kirliliğini dış ticarete dışsallığı kullanarak ele almaktadır. Pazarlık ölçütü

refahtaki artış ve azalışları açıklamak için Nicholas Kaldor (1939) tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra Hicks (1939) tarafından geliştirilmiştir. Yaklaşımına göre negatif dışsal ekonomilerin söz konusu olduğu üretim faaliyetlerinde, dışsal faaliyete neden olan firmaların, dışsallığa uğrayan tarafa tazminat vermesi gerekmektedir. Bu yaklaşıma göre, bir tarafta iktisadi faaliyeti gerçekleştiren ekonomik aktörler kazanç elde etmekte, diğer tarafta ise zarar görenler aldıkları tazminat karşılığında uğradıkları zararı telafi etmektedirler (Coleman, 2003: 1517). Özünde Pareto analizine⁶ dayanan Kaldor&Hicks yaklaşım fayda sağlayan tarafın, maliyete katlanan tarafa zararı karşılığında ödemedede bulunması, dengeleyici bir karşılık olarak görülmektedir (Backhaus, 1980: 153).

⁷ **Bkz:** Ramsey, F., (1928), "A Mathematical Theory of Saving", *Economic Journal*, 38.

⁸ **Bkz:** Hotelling, H., (1931), "The Economics of Exhaustible Resources", *Journal of Political Economy*, 39.

⁹ **Bkz:** Kapp, K. W. (1950), *The Social Costs of Private Enterprise*, Cambridge: Harvard University Press.

¹⁰ **Bzk:** Ciriacy-Wantrup (1968), *Resource Conservation: Economics and Politics*, California: University of California Press.

olarak da bilinen ve Kaldor-Hicks yaklaşımına alternatif olarak ortaya çıkan Scitovsky Yaklaşımı Tibor Scitovsky (1954) tarafından literatüre kazandırılmıştır.

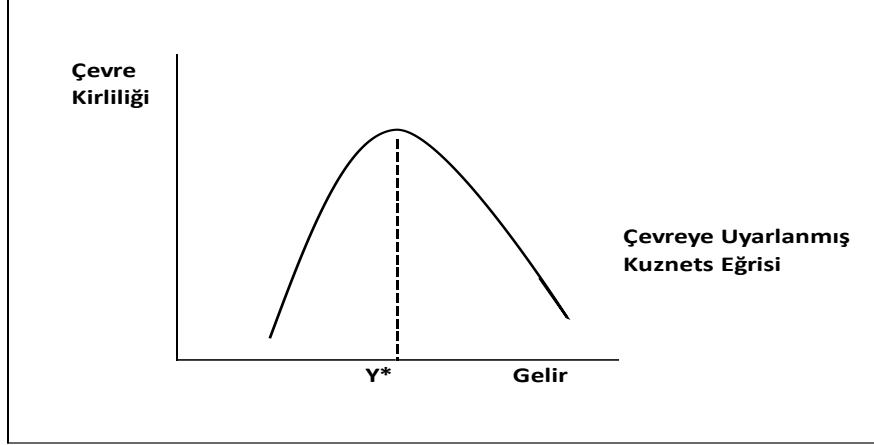
Scitovsky'e göre; göre bir ekonomik birim faaliyetleri sonucunda başka bir ekonomik birime dışsal maliyet yüklüyorsa; dışsal maliyetin karşılıklı anlaşma yoluyla sınırlandırılabilir. Bu yaklaşımda zarar gören tarafın zararının, zarar veren tarafın karşılanması üzerine kurgulanmaktadır. Ancak bu koşulun gerçekleşebilmesi için pazarlık işlem maliyetinin, pazarlıktan beklenen net faydayı aşmaması gerekmektedir. Negatif dışsallık yayan tarafın faaliyeti sonucunda birden fazla taraf zarar görüyorsa ve bu zarara uğrayanları koruyacak herhangi bir yasal düzenleme bulunmadığı durumda tarafların bir araya gelerek negatif dışsallığa yol açanla pazarlık yapmaları mümkün olmamaktadır (Scitovsky, 1954).

1.1.3.2. Çevresel Kuznets Teorisi

Simon Kuznets (1955) çalışmasında, kişisel gelir dağılımındaki uzun vadeli değişikliklerin nedenlerini incelemektedir. Kuznets bir ülkenin ekonomik büyümesi sırasında gelir dağılımındaki eşitsizlik artar mı yoksa azalır mı sorularına yanıt aramaktadır. Bu amaçla Kuznets çalışmasında, ekonomik gelişme ile kişi başı gelir arasında korelasyonu incelemektedir. İnceleme sonucunda, artan milli gelire karşın, gelişmenin ilk dönemlerinde gelir eşitsizliği büyümektedir. Belirli bir gelişme döneminden sonra ise gelir eşitsizliğinde iyileşme meydana gelmektedir. Kuznets tarafından literatüre kazandırılan, ters U şeklindeki bu ilişki yazında Kuznets Eğrisi olarak tanımlanmaktadır. Hipotezin çevreye uyarlanmış hâli ise; çevre kirliliği ile kişi başına düşen milli gelir arasındaki ilişkiyi ele alan Çevresel Kuznets Teorisi'dir (Dinda, 2004: 432).

Çevresel Kuznets Teorisi'ne göre; çevre kirliliği ile kişi başına düşen milli gelir arasında “ters u” veya “çan eğrisi” şeklinde bir ilişkinin varlığıdır. Hipoteze göre; bir ülkede meydana gelen çevresel etkiler ekonomik kalkınmanın ilk aşamalarında artmakta ancak belirli bir gelir düzeyinin üzerine gelince azalmaktadır. Grafik 2’de çevreye uyarlanmış Kuznets Eğrisi gösterilmektedir;

Grafik 2: Çevreye Uyarlanmış Kuznets Eğrisi



Kaynak: Panayotou, 1993: 58 grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 2’de görüldüğü üzere hipoteze göre; çevre kirlenmesi ve kişi başına düşen gelir miktarı arasındaki ilişkide çevre kirliliğine bağlı olarak yaşam kalitesi başlangıçta bozulmakta ancak daha sonra iyileşmektedir. Kişi başına düşen gelir düzeyi ile çevre kirliliği arasındaki ilişkinin ters U biçiminde olmasının nedeni olarak üç faktörün etkisinden bahsedilmektedir. Bunlar ölçek etkisi, yapısal etki ve teknoloji etkisidir (Grossman ve Krueger, 1991). Ekonomik büyüme sürecinin ilk evresinde teknoloji veri iken, üretime bağlı olarak kullanılan girdi miktarı ve enerji tüketim miktarı artacaktır. Bu durum daha fazla atık ve kirletici emisyon neticesinde çevre kirliliğine neden olacaktır. Ölçek etkisi olarak açıklanan bu dönem geçici bir dönemdir. İkinci aşamada açıklanan yapısal etki ise, devam eden büyüme süreci ile ekonominin yapısal bir dönüşümüne/değişime uğrayacağını ifade etmektedir. Yapısal dönüşüm ile ekonomik büyüme çevre üzerinde pozitif yönde etki edecektir. Çünkü gelir düzeyi arttıkça, üretimde temiz çevreyi gözeten iktisadi faaliyetlerin payı artacaktır. Eş anlı olarak yapısal değişimle enerji yoğun üretimden teknoloji yoğun bilgi sektörüne geçiş yapılacaktır. Büyüme sürecinde son etki kanalı ise teknolojik etkidir. Yapısal değişim etki kanalına bağlı olarak, gelir düzeyi artan ülkeler araştırma-geliştirme harcamalarına daha fazla kaynak ayıracaklardır. Bu durumda eski ve kirli teknolojiler, yerini yeni ve temiz teknolojilere bırakacak ve çevresel kalite artacaktır. Bu açıklamalar çerçevesinde Grafik 2’de olduğu üzere ölçek etkisi Çevresel Kuznets Eğrisi’nin artan kısmını, yapısal ve teknolojik etki kanalları ise azalan kısmını temsil etmektedir.

Çevresel Kuznets Eğrisi, toplam kirlilik düzeylerine ilişkin ampirik çalışmayı ekonomik analiz alanına taşımaktadır. Literatürde çevresel kalitenin, ekonomik büyümeyle birlikte zorunlu olarak azalması gerektiği şeklindeki yaygın görüşü çürütmektedir (Copeland ve Taylor, 2003: 26-27). Hipotezin testi üzerinden oluşturulan ilk çalışma Grossman ve Kreuger’e aittir (Öztürk ve Tiftikçigil 2022: 243). Grossman ve Kreuger (1991) çalışmalarında, hava kalitesi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi seçili ülkeler üzerinden incelemiştir. Çalışma sonucunda hava kirletici madde konsantrasyonunun kişi başı gelir seviyelerinin düşük olduğu ülkelerde arttığı; yüksek gelir

seviyelerinde GSYİH büyümesi ile kirletici madde konsantrasyonunun azaldığı bulgusuna ulaşmışlardır (Grossman ve Kreuger, 1991: 1-57).

1.1.1.3. Coase Teoremi

Ronald Coase (1960), Neo-klasik iktisatta Pigou'nun dışsallık analizine karşıt, Scitovsky yaklaşımını destekleyici bir görüş geliştirmiştir. Literatürde Coase Teoremi olarak bilinen bu teori, çevre kirliliğini analiz eden modern teoriler arasında yer almaktadır. Coase, bazı koşullar altında çevreyi kirlütenlerin ve kirlilikten zarar görenlerin uygun tazminatı belirlemek için özel müzakerelere girebilmesi nedeniyle vergi ve düzenlemelerin gereksiz olabileceğini savunmaktadır (Coase, 1960: 2-5).

Coase Sosyal Maliyet Sorunu adlı (*The Problem of Social Cost*) çalışmasında dışsallığı, işlem maliyeti olmayan, zarar veren tarafın tüm sorumluluğu alarak, zararın tamamını ödemek zorunda olduğu bir ortam varsayımı ile ele almaktadır. Coase Teoremi'ne göre dışsallık, şu şekilde açıklamaktadır (Coase, 1960: 2-5);

- Dışsallık iki taraflı olduğu için yalnızca bir taraf zararın sorumlusu olarak belirlenmemelidir. Oluşan çevresel dışsallıklar için, negatif dışsallığa maruz kalanların, çevre kirliliğine sebep olanlar ile anlaşma yaparak onlara belirli bir miktar para teklif etmeleri durumunda kirliliğe sebep olanların yarattıkları kirliliği sınırlandırmak için farklı çözüm yolları arayacaklardır. Örnek olarak; duman yayan bir fabrikanın daha önce duman kirliliğinin olmadığı bir bölgede kurulduğunu ve yılda 100\$ değerinde hasara neden olduğunu varsaymaktadı. Bu senaryoda vergilendirme çözümü benimsenmekte ve fabrika duman çıkardığı sürece fabrika sahibine yıllık 100\$ vergi uygulanmaktadır. Ayrıca, işletme maliyeti yıllık 90\$ olan bir duman önleme cihazı bulunmaktadır. Böyle bir durumda optimal olarak duman önleme cihazı kurulmasına karar verilecektir. Böylece 90 \$'lık bir harcamayla 100 \$'lık hasar önlenecek ve fabrika sahibi yılda 10\$ daha iyi durumda olacaktır. Ancak ulaşılan konumun optimal olmama ihtimali bulunmaktadır. Zarara uğrayanların, başka yerlere taşınarak ya da kendilerine mal olacak ya da yıllık 40\$ gelir kaybına eşdeğer çeşitli önlemler alarak bundan kaçınabileceklerini varsaymaktadı. Bu durumda, fabrika duman çıkarmaya devam ederse ve bölgede bulunanlar başka bir yere taşınırsa veya hasarı önlemek için başka ayarlamalar yaparsa, üretim değerinde 50 dolarlık bir kazanç olacaktır. Fabrika sahibinin ödemesi gereken vergi, neden olduğu zararlar eşit olacak şekilde belirlenirse, çift vergi sisteminin başlatılması ve fabrika sahibinin zararı önlemek için ek maliyet olarak ödediği tutara eşit bir miktarı ilçe sakinlerinin ödemesi arzu edilir görünmektedir. Bu koşullar altında, maliyeti üreticinin zararı azaltmak için katlanacağı maliyetten daha az olduğunda, insanlar bölgede kalmayacak veya hasarın oluşmasını önlemek için başka önlemler almayacaktır. Üreticiye verilen zararın vergilendirilmesiyle sınırlandırılan

bir vergi sistemi, zararın önlenmesi için gereğinden fazla yüksek maliyetlerin ortaya çıkmasına neden olacaktır.

- Pigou'nun aksine Coase'ye göre dışsallık, devlet müdahalesine olmadan ekonomik aktörler tarafından çözüme kavuşabilir. Mülkiyet hakları kuramını öneren Coase, mülkiyet haklarının doğru bir şekilde belirlendiği bir ortamda karşılıklı anlaşarak dışsallıktan kaynaklanan sorunların bertaraf edileceğini öne sürmektedir.
- Coase, farklı eylemlerin teşvik edilmesi gerektiğinde mülkiyet haklarının ürünün kendisinden daha önemli olduğu sonucuna varmaktadır. Bu nedenle, mülkiyet haklarının ekonomik analizde herhangi bir ticarete konu olan üretim faktörü olarak ele alınması gerektiğini ileri sürmektedir.
- Zararlı etkilerin yol açtığı sorunları çözerken amaç, üretim değerini maksimize etmek olmalıdır. İşlem maliyetleri olmadığında, taraflar arasında gerçekleşen işlemler, üretim değerini maksimize etmelidir. İşlem maliyetlerinin, taraflar arasında pazarlığı engelleyecek kadar yüksek olma durumunda, üretim değerini maksimize etmek temel amaç olmalıdır.
- Refah ekonomisinin sorunları en nihayetinde ahlakın incelenmesinde çözümlenmelidir.

Özetle Coase, ele aldığı dışsallık sorununun iki potansiyel çözüm getireceğini düşünmektedir. Birincisi; dışsallığın yaratıcısına uygulanan bir vergi ya da eylem yükünü kirleten tarafa yükleyen bir tür düzenlemedir. İkincisi, mağdurun kirleticiye, kirletmemesi için para ödemesini içermektedir. İlk durumda kirleten öderken, ikinci durumda mağdur ödemektedir (Pearce, 2002: 61). Her iki durum da Coase için eşdeğer kabul edilmektedir.

Coase Teoremi, çevre ekonomisi ve düzenleme teorisinde, kazandırdığı mülkiyet kuramı ve pazarlık ile dışsallığın ortadan kaldırılabileceğini öngörmesi nedeniyle önem taşımaktadır. Coase'den önce dışsallığı ele alan çalışmalar incelendiğinde ortak görüşün, özellikle vergilendirme olmak üzere hükümet düzenlemelerinin gerekli olduğu yönündedir. Coase ise, çevresel dışsallıkların, mülkiyet haklarının kurulması ve uygulanmasının ötesinde hükümet düzenlemesi gerektirmediğini ileri sürmektedir. Coase'ye göre eğer mülkiyet hakları iyi tanımlanmışsa ve herhangi bir işlem maliyeti yoksa, dışsallıklar olsa bile kaynakların verimli bir şekilde tahsis edilmesi sağlanacaktır (Coase, 1960: 5);

Ancak Coase'un teorik sonucunun gerçek dünyadaki çevre sorunlarına uygulanabilirliği ve sonuçları konusunda tartışmalar devam etmektedir. Teoremin uygulamalarının araştırılmasındaki zorluklardan biri, Coase pazarlığının ne olduğu konusunda anlaşmazlıkların var olmasıdır (Deryugina, Moore ve Tol, 2021: 82). Bu anlaşmazlıkların başında pazarlık taraflarından biri yerel veya ulusal bir hükümet olma ihtimalidir. Pazarlığa taraf sayısının çokluğu da bir diğer sorundur. Bir diğer eleştiri ise; teoremin mülkiyet haklarının net bir şekilde tahsis edilmesinin dışsallıkları içeren sorunları çözeceğine

yöneliktir. Mülkiyet hakları gerçek dünyada, hükümet müdahalesi olmadan çevresel dışsallıklara açıkça tahsil edilememektedir (Harris ve Roach, 2018: 60).

Coase de çalışmasında analizinin bu belirsizliklerine değinmektedir. Analizinin *laissez faire* durumu ile bir tür ideal dünya arasındaki karşılaştırma yoluyla ilerlediğini vurgulayan Coase, karşılaştırılan alternatiflerin doğasının hiçbir zaman net olmadığını ifade etmektedir. *Laissez faire* durumunda parasal, hukuki veya politik bir sistemin varlığını ve bunların neler olduğunu okuyucunun inisiyatifine bırakmaktadır.

1.1.3.4. Plott Yaklaşımı: Düzenleyici Vergiler

Dışsallıklar üzerinden çevre kirliliğini ele alan bir diğer çalışma Charles Raymond Plott'a (1966) aittir. Kamu kesimi çözüm önerilerinden olan yaklaşıma göre; dışsallığı yaratan atık miktarı üzerinden ya da kullanılmaları çevresel zarara yol açan üretim girdileri ve tüketici malları üzerinden vergi alınması gerekmektedir. Vergiler, negatif dışsal ekonomilere karşı düzenlenmelidir. Plott çalışmasında dışsallıkların içselleştirilmesi için düzenleyici vergilerin (*corrective taxes*) ve uygulanabilecek diğer vergilerin kullanılması gerektiğini önermektedir. Yaklaşımda düzenleyici vergiler kullanılarak kaynak dağılımında etkinliğin sağlanması amaçlanmaktadır. Çalışmasında düzenleyici vergi uygulamasını şu şekilde açıklamaktadır (Plott, 1966: 84-87);

- X adında belirtilmeyen bir ürün üreten bir fabrika bulunmaktadır. X ürününü üretme süreci, yakında bulunan başka bir işletme için olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukların X'in üretiminde kullanılan, örneğin yanma işleminden kaynaklanan duman gibi bazı kaynakların sonucu olabileceği varsayılmaktadır. Bununla birlikte, dışsallıklarla ilgili tartışmalara katılan birçok kişi örneğin Pigou, bu tür durumlarda düzenleyici verginin X üretimine uygulanması gerektiğini varsaymaktadır. Ancak Plott'a göre; oldukça kısıtlayıcı koşullar dışında bu prosedür temelde yanlıştır. Düzenleyici bir verginin mevcut olması halinde, bunun ya duman çıkışına ya da belirli koşullar altında dumanın üretildiği kaynak girdisine uygulanması gerekmektedir.
- Plott dışsallığa neden olan ürünün sadece bir üretim faktörünün fonksiyonu olması durumunda; sadece söz konusu üretim faktörünün vergilendirilmesiyle sağlanabileceğini önermektedir. Bu tip vergiler, kirlilik oluşturan faaliyetlere kirliliğin maliyetini yüklenme sorumluluğunu yüklemektedir.
- Düzenleyici vergilerle negatif dışsallıklar azaltılırken pozitif dışsallıkların artırılması hedeflenmektedir. Plott'a göre dışsallığın önlenmesi için uygulanabilecek bir başka vergi türü ise; dışsallığa neden olan faaliyetin oluşturduğu atık miktarı üzerinden alınan vergidir.

1.1.3.5. Kirlilik Sığınağı Hipotezi

Neoliberalleşme süreci ile hızlanan dış ticaret serbestisi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde farklı etkilere yol açmaktadır. Özellikle bu süreç ile teknolojiye geri kalan gelişmekte olan ülkelerin, sanayileşme sürecinde kirlilik yaratan endüstriyel faaliyetlere yöneldikleri görülmektedir. Gelişmiş ülke tüketicilerinin ise temiz çevreye olan taleplerinin artması ve dünya genelinde çevreyle ilgili yasal düzenleme ve regülasyonlar uluslararası alanda ekonomik yapının şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Literatürde artan çevresel regülasyonlara ve ticaretin serbestleşmesine karşı olumlu ve olumsuz farklı bakış açısı bulunmakta ve bu görüşler için temelde 2 farklı hipotez geliştirilmektedir (Şahin, Gökdemir ve Ayyıldız, 2019: 106). Bu hipotezlerden ilki; Kirlilik Sığınağı Hipotezi, ikincisi ise Porter Hipotezi'dir.

Birinci hipoteze göre kirlilik yaratan sanayiler, katı çevre politikaları uygulayan ülkelere kaçıp, kısıtlamaların yetersiz veya gevşek olduğu dışa açık ekonomilerde faaliyetlerine devam etmektedirler. Bunun tersine, temiz endüstrilerin üretim faaliyetlerini zengin ülkelere doğru kaydırmasıdır. Yoksul ve gelişmekte olan ülkelere kirlilik yoğun endüstrilerin yoğunlaşmasını açıklayan bu olgu Kirlilik Sığınağı Hipotezi (*Pollution Heaven Hypothesis*) ya da Yer Değiştirme Hipotezi olarak adlandırılmaktadır (Gill, 2018: 168). Çalışmalar kirlilik sığınağı hipotezini 3 şekilde ele alarak açıklamaktadır (Doytch ve Uctum, 2011: 5);

- Bazı çalışmalar ihracat ve düzenleme arasındaki ilişkiyi analiz etmektedir. Düzenleme maliyetleri artırdığından, daha katı düzenlemelere sahip ülkelerin ihracatı, gevşek düzenlemelere sahip ülkelere göre nispeten daha pahalı hale gelmektedir. Dolayısıyla ihracat azalırken ve nispeten kirli mal ithalatları artmaktadır.

- Bazı çalışmalar, kirlilik yoğun malların ticaret modelindeki değişimini incelemektedir.

- Bazı çalışmalar ise; firmaların lokasyon kararını araştırmaktadır. Buna göre, yüksek düzenleme maliyetlerinin firmaların yatırım kararlarını caydırması muhtemeldir. Uluslararası düzeyde ele alınan spesifik soru, kirletici endüstrilerdeki doğrudan yabancı yatırımların gelişmekte olan ülkelere doğru artıp artmadığıdır.

Birinci hipoteze göre özetle; gelişmiş olan ülkeler kendi çıkarı doğrultusunda artan maliyetleri üstlenmek ya da temiz teknoloji üretmek yerine, yatırımlarını gelişmekte olan ülkelere aktarırken; gelişmekte olan ülkeler ise yabancı yatırımı çekmek amacıyla, bu duruma izin vermekte ve kendi çevre standartlarını verimlilik seviyesinin altına düşürmektedir. Gelişmekte olan ülkelere tüketicilerin çevre

duyarlılıklarının nispeten az olması ve bu ülkelerde çevre ile ilgili yasal düzenlemelerinin yetersiz olması bu ülkelerde kirlilik cenneti oluşmasına yol açmaktadır. Bu hipotez yalnızca çevresel kirlilik değil aynı zamanda, gelişmiş ülkelere ait çok uluslu şirketlerin, gelişmekte olan ülkelere yaptıkları yatırımlarda ülkenin ucuz işgücü ve hammadde olanaklarından yararlanmasına da odaklanmaktadır. Çevre aktivistleri, ticaretin serbestleştirilmesinin çevre için kötü olduğunu, zira bu durumun bazı durumlarda gevşek çevre standartlarına sahip ülkelerin küresel pazarda karşılaştırmalı bir avantaja sahip olmasına yol açtığını savunmaktadır (Spence, 2011: 3).

1.1.3.6. Porter Hipotezi

Çevresel regülasyonlara ilişkin geliştirilen ikinci hipotez, çevre regülasyonlarının pozitif yönlerine odaklanan Kirlenme Hale Hipotezi (*Pollution Halo Hypothesis*) olarak da bilinen Porter Hipotezidir.

Geleneksel ekonomik teori, firmaların rekabetçi kalabilmek için maliyetlerini en aza indirdiğini göstermektedir. Dolayısıyla herhangi bir çevresel düzenleme firmalara ek bir maliyet getirmekte ve dolayısıyla kârlarını azaltmaktadır (Harris ve Roach, 2018: 379). Teknolojik standartlar, çevre vergileri veya ticareti yapılabilir emisyon izinleri gibi çevresel düzenlemeler, firmaları bazı girdileri kirliliğin azaltılmasına ayırmaya zorlarken, bu üretici açısından verimsizliğe yol açmaktadır. Teknolojik standartlar ise üretim sürecinde teknoloji veya girdi seçimini kısıtlamaktadır. Aynı zamanda çevresel düzenlemeler ekonomik büyümeyi sınırlamaktadır (Ambec vd., 2010: 2).

Ancak bu genel görüşe karşıt hipotez, Michael Porter tarafından geliştirilmiştir. Porter'e göre (1991); bir ülkedeki katı çevre düzenlemelerinin, inovasyonları artırarak ülke ekonomisine pozitif yönde katkı sağlayacaktır. Porter'e göre; uygun şekilde planlanmış çevresel düzenlemeler, teknolojik yeniliği teşvik edecek, giderlerde azalmaya ve kalitede iyileşmelere yol açacaktır. Hipoteze göre yeni ve temiz teknoloji üreten ülke aynı zamanda uluslararası alanda üstün konuma gelecektir. Ancak çevre düzenlemeleri uygun şekilde tasarlanırsa inovasyona yol açacaktır.

Porter çalışmasında “Çevreye Duyarlı Üretim” yaklaşımını önermektedir. Bu yaklaşımı bir şirketin çevresel uygulamaları karar alma süreçlerine entegre etme çabalarını kapsayan proaktif bir yönetim modeli olarak açıklamaktadır. Porter ve Linde çevresel düzenlemelerin sağlayacağı diğer katkıları çalışmalarında şu şekilde özetlemektedir (Porter ve Linde 1995: 97-118);

- Çevresel düzenlemeler, firmalara olası kaynak verimsizlikleri ve potansiyel teknolojik gelişmeler hakkında sinyal vermektedir.

- Bilgi toplamaya odaklanan düzenlemeler, kurumsal farkındalığı artırarak çeşitli faydalar sağlamaktadır.
- Çevresel düzenlemeler, çevreye yönelik yatırımların değerli olacağı konusundaki belirsizliği azaltmaktadır.
- Düzenlemeler, yeniliği ve ilerlemeyi teşvik eden pozitif bir baskı oluşturmaktadır.

Özetle değerlendirildiğinde; ilk hipotez olan Kirlilik Sığınağı Hipotezi açısından bakıldığında, katı çevre düzenlemeleri gelişmiş ülkelerde çevreyi kirleten endüstrilerin, gelişmiş ülkelere taşınmasına ve gelişmekte olan ülkelere kirliliğin artmasına neden olmaktadır. Porter Hipotezi ise; katı çevre düzenlemelerinin, endüstrilerin yeniden yerleşimini azaltan, endüstrilerin rekabet gücünü artıran ve böylece çevreyi iyileştiren ileri teknolojileri ve yenilikleri teşvik ettiğini savunmaktadır. İyi tasarlanmış çevre düzenlemeleri, bazı durumlarda sadece çevreyi korumakla kalmayıp, aynı zamanda üretim sürecinin iyileştirilmesine, ürün kalitesinin iyileştirilmesine ve bu yolla kârı ve rekabet gücünü artırmaktadır.

1.1.4. Ekolojik Ekonomi Yaklaşımı ve Çevre

Ekolojik ekonomi, ekonomik ve ekolojik sistemler arasındaki etkileşimi incelemek için farklı akademik disiplinlerin bakış açılarını bir araya getiren bir alan olarak ortaya çıkmıştır. Ekolojik ekonomi, ekonomiyi daha büyük ve sınırlı bir küresel ekosistemin bir alt sistemi olarak gören disiplinler arası bir çalışma alanıdır. Nispeten yeni bir alan olan ekolojik ekonomi, çevre sorunlarını ele alırken bunların disiplinler arası bir şekilde incelenmesi gerektiği görüşüne sahiptir.

Çevre ekonomisinden farklı olarak ekolojik ekonomi, belirli bir dizi ekonomik prensibin uygulanmasıyla değil, tüm insan faaliyetleri de dahil olmak üzere yaşamı destekleyen biyolojik ve fiziksel sistemler bağlamında ekonomik aktivitenin analiz edilmesiyle ilgilenmektedir (Harris ve Roach, 2018: 5). Ekolojik ekonomi, ekonomik analize yönelik mevcut yaklaşımı temelden değiştirmeyi hedeflemektedir (Halkos, 2011: 18). Kenneth Boulding ve Nicholas Georgescu-Roegen'in bu alanın öncüsü olarak kabul edilmektedir (Perman vd., 2003: 96).

Boulding (1966) çalışmasında, insanlığın sürdürülebilir bir ekonomiye ulaşması için gerekli olan sürekli yönelim değişikliğini ele almaktadır. Boulding, günümüzde hâkim olan, ekonomik büyümenin artmasını hedefleyen görüşün, yanlış temeller üzerine inşa edildiğini düşünmektedir. Ekonomik performansın yalnızca GSYİH gibi göstergelerle ölçülmesi yanlıştır. Ekonomi ile çevre etkileşimlerinin doğasına ve ekonomik başarıyı neyin oluşturduğuna ilişkin algılarımızda bir değişiklik olması gereklidir. Çevresel bozulmanın en önemli göstergesi olan kirlilik, dünyanın birçok alanında önemli bir

sorundur ve gelecek nesiller için durum daha kötü olacaktır. Bu durumu düzeltmek için piyasaya dayalı teşvik programları gereklidir.

Georgescu-Roegen (1971) çalışmasında, homo economicus birey varlığını, neoklasik ve Marksist iktisatı gerçeklikten yoksun ve doğal kaynakları ekonomik süreçten dışarıda bırakması nedeniyle eleştirmektedir. Bu durumu kolaylık olarak tanımlayan Georgescu-Roegen, iktisadi süreçlerin Entropi Yasası ile yakından bağlantılı olması gerekliliğini savunmaktadır. Georgescu-Roegen, insan ve doğa etkileşimini iktisadi süreçlerin temeline koymaktadır.

Ekolojik iktisatçılar, çevresel etkileri, enerji gereksinimleri ve nüfus artışı nedeniyle ekonominin sürdürülebilirliğini incelemektedirler. Ekolojik iktisatçıların üstünde durdukları temel iktisadi ve çevresel kaygıların ve eleştirilerin başında; büyüme yer almaktadır. Ekolojik iktisatçılara göre; nüfusların büyümesi ile bunların sosyal, ekonomik ve ekolojik sistemler üzerinde yarattığı baskının anlaşılması gerekmektedir (Legiędź, 2023: 4). Sonsuz ekonomik büyümenin hem sosyal hem de çevresel açıdan sürdürülemez olduğunu düşünün görüş, büyümeyle ilişkilendirilen, daha fazlasının her zaman daha iyi olduğu yönündeki örtülü değer sorgulanması gerektiğini önermektedir (Holt, Pressman ve Spash, 2009: 5).

Ekolojik iktisatçıların üzerinde durduğu bir diğer konu; kişi başına büyüme ile çevre kalitesi arasındaki korelasyonu inceleyen araştırmaların sadece kısa vadeli maliyetlere odaklanırken; küresel ısınma gibi uzun vadeli maliyetlerin yol açacağı sorunların göz ardı edilmesidir (Holt, 2005: 180). Bu araştırmalar sürdürülebilir kalkınma için önemli olan kaynak stoklarına değil, yalnızca kirletici emisyonlara odaklanmakta, kirletici emisyonların ekosistemler üzerindeki sonuçları değerlendirilmemektedir. Aynı zamanda kirleticilerin bir ülkedeki azalmasının bir başka ülkeye aktarılıp artabileceği dünya çapındaki etkilere bakılmaktadır. Bu nedenlerle çevresel sorunlar göz ardı edilerek, çevresel kalitenin belirlenmesinde ve piyasaya dayalı teşviklerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayan kurumsal reformların öneminin zayıfladığı vurgulanmaktadır. Bu çerçevede ekolojik iktisatçıların temel politika önerileri aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir;

- Temel Gelir, Temel Hizmetler veya benzer politika önlemleri yoluyla ücretli emek dinamiklerinin yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Ekonomideki ücretli emek kurumunun temelden reform edilmesi, tüketim ve üretim düzeylerinin azalmasına yol açacağı için daha yüksek bir yaşam kalitesine katkıda bulunacaktır. Bazı ekolojik iktisatçılar, büyüme olmadan *Yeşil Yeni Düzen* çağrısında bulunmaktadır (Strunk, Ederer ve Rezai, 2022: 109).
- Devam eden ekonomik büyümenin sürdürülemez olması nedeniyle, çevresel etkiyi azaltmak ve sosyal ve ekolojik refahı önceliklendirmek için genel ekonomik faaliyetlerin azaltılması gerekmektedir (Legiędź, 2023: 4).
- Yıkıcı iklim değişikliğini önlemek için yenilenebilir enerji benimsenmelidir.

- Uzun vadeli sürdürülebilirliği teşvik edecek tarımsal sistemler geliştirilmeli ve gelecek için kaynakları korumak amacıyla yenilenemeyen kaynak kullanımı geliştirilmelidir (Harris ve Roach, 2018: 228).
- Ekonomi çevre sistemi, başta termodinamik ve ekoloji olmak üzere doğa bilimlerinden gelen ilkeler ışığında incelenmelidir (Perman vd., 2003: 35).
- Son yıllardaki sera gazı emisyonlarının yavaş ilerlemesine bakıldığında, politik-ekonomik sistemde daha temel bir dönüşüm gerektirmektedir (Huwe ve Rehm, 2022: 406).

Özetle değerlendirildiğinde; ekolojik iktisat Post-Keynesyenlerden farklı olarak büyümenin çevre üzerinde meydana getirdiği olumsuz yönler odaklanmaktadır. Mevcut iktisadi çalışmaları sürdürülebilirliği her boyutuyla incelememekle eleştirmektedir.

1.2. İklim Değişikliği ile İlgili Uluslararası Müzakere ve İş Birlikleri

İklim değişikliğinin etkilerinin sınır aşan bir boyutta olması uluslararası düzeyde önlem ve iş birliğini gerekli kılmaktadır. Bu bölümde çevrenin korunması konusunu ele alan belli başlı uluslararası konferans, anlaşma ve iş birliklerine kronolojik olarak yer verilecektir.

1.2.1. Stockholm Konferansı (1972)

Çevrenin korunması konusu uluslararası arenada, ilk kez Stockholm'de 5-16 Haziran 1972 tarihleri arasında, Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı, diğer adıyla Stockholm Konferansı'nda tartışılmıştır (UNEP, 2022: 2). Konferans aynı zamanda başlığında çevre konusu geçen ilk BM toplantısıdır.

Stockholm Konferansı, Birleşmiş Milletlere üye devletler arasında ekonomik büyüme, çevre kirlenmesi ve dünyadaki canlıların esenliği arasındaki bağlantı üzerine bir diyalogun başlangıcı niteliğindedir. Konferansta alınan kararlar; bütün ülkeleri, insanların refahı için çevresinin korunması ve iyileştirilmesi amacıyla ortak çaba göstermeye davet etmektedir. Bu bağlamda Konferans bildirgesinde toplam 26 tane ilke yayınlanmıştır. Bildirgede yayınlanan ilkeler, aşağıda özet olarak açıklanmaktadır (United Nations, 1972a: 4-5):

İlke 1-26: Özgürlük, eşitlik ve kaliteli bir çevrede yeterli yaşam şartları sağlanmış olarak yaşamak, insanların temel hakkıdır. İnsan, aynı zamanda, bugünkü ve gelecek kuşaklar için çevreyi koruma ve iyileştirmenin sorumluluğunu taşımaktadır. Gelecek nesillerin de iyiliğini gözeterek dünyanın tüm doğal kaynakları ve yenilenebilir kaynakları üretme kapasitesi, vahşi yaşam habitatı korunmalı ve iyileştirilmelidir.

Yenilenemeyen kaynaklar, bir gün tükenmeleri önlenecek şekilde kullanılmalı ve bunların yararlarının tüm insanlar tarafından paylaşması sağlanmalıdır. Ekosistemlere ciddi ve geri döndürülemez zarar gelmesini engellemek için, toksik ve diğer zararlı maddelerin deşarjı ve ısının serbest bırakılması durdurulmalıdır.

Tüm ülkelerin, kirliliğe karşı mücadelesi desteklenmelidir. Devletler, insan sağlığına tehlike oluşturabilecek, canlı kaynaklara ve deniz yaşamına zarar verebilecek faaliyetlere müdahale etmelidir. Dünyada yaşam kalitesinin iyileştirilmesi için ekonomik ve sosyal kalkınma esastır. Ülkenin düzeyinden (geri kalmışlığından) kaynaklanan eksiklikler ciddi sorunlar oluşturmaktadır ve bu durum ancak mali ve teknik yardımla, gelişmekte olan ülkelerin kalkınma çabalarını destekleyerek giderilebilir. Bu nedenle bütün ülkelerin çevre politikaları gelişmekte olan ülkelerin kalkınma potansiyelini güçlendirmelidir. Tüm ülkelerin çevre politikaları, gelişmekte olan ülkelerin durumunu gözетerek, onların durumunu kötüleştirmeden kurgulanmalıdır. Uluslararası kuruluşlar bu amaçla planlar yapmalıdır. Kaynaklar, gelişmekte olan ülkelerin koşulları ve özel gereksinimleri göz önünde tutularak, çevreyi korumak ve iyileştirmek için kullanılabilir hale getirilmelidir. Bu amaçla ilave uluslararası teknik ve mali yardım yapılmalıdır.

Kaynakların daha rasyonel bir şekilde yönetilmesini sağlamak ve böylece çevreyi iyileştirmek için, devletler kalkınma planlamalarına entegre ve koordineli bir yaklaşım benimsemelidir. Akılcı planlama, kalkınma ihtiyaçları ile çevreyi koruma arasındaki herhangi bir çelişkiyi uzlaştırmak için önemli bir araç oluşturmaktadır. Çevre üzerinde olumsuz etkilerden kaçınmak ve herkes için sosyal, ekonomik ve çevresel faydalar elde etmek için yerleşim ve kentleşmede planlama uygulanmalıdır. Bu doğrultuda sömürgeci ve ırkçı amaçlara yönelik projeler terk edilmelidir. Temel insan haklarını engellemeden, nüfus artış hızının veya aşırı nüfus yoğunluğunun, çevre üzerinde olumsuz etkilerinin olması muhtemel bölgelerde demografik politikalar uygulanmalıdır. Çevresel kaliteyi artırmak amacıyla, çevresel kaynakları planlama, yönetme veya kontrol etme görevi, uygun ulusal kurumlara verilmelidir. Bilim ve teknoloji, çevresel risklerin belirlenmesi, önlenmesi ve kontrolü ile çevre sorunlarının çözümü ve insanlığın ortak yararı için kullanılmalıdır. Çevrenin korunması ve iyileştirilmesi için kişilerin, kurumların ve toplulukların aydınlatılması gerekmektedir. Medya bu amaca uygun olarak kullanılmalıdır. Çevre sorunları konusunda ulusal ve uluslararası bilimsel araştırmalar başta gelişmekte olan ülkelere olmak üzere bütün ülkelere teşvik edilmelidir. Birleşmiş Milletler Kuruluş Senedi ve uluslararası hukuk kurallarına göre; ülkeler kendi hakimiyet haklarını kullanarak kendi kaynaklarını kullanır ve çevre politikalarını belirlerler. Ancak, bu eylemleri sırasında kendi hakimiyet sınırları dışındaki bölgelerin çevresine zarar vermeme sorumluluğunu da taşırlar. Bu nedenle kendi hakimiyet sınırları dışındaki bölgelere verdikleri çevre zararı varsa; sorumlu tutulmaları ve

tazminat ödemeleri için uluslararası hukukun gerektiği şekilde genişletilmesi için iş birliği yapacaklardır. Uluslararası topluluk tarafından kabul edilebilecek, her durumda her ülkede geçerli olan değerler sistemini ve uygulanabilirlik derecesini dikkate almak esas olacaktır. Çevrenin korunması ile ilgili uluslararası meseleler, tüm ülkeler tarafından eşit bir temelde iş birliği ruhu içinde ele alınmalıdır. Çok taraflı veya iki taraflı düzenlemeler veya diğer uygun araçlar yoluyla iş birliği yapılmalıdır. Devletler, uluslararası kuruluşların çevrenin korunması ve iyileştirilmesi için eşgüdümlü rol oynamasını sağlamalıdır. İnsanlar ve çevre, nükleer silahların ve diğer tüm kitle imha araçlarının etkilerinden korunmalıdır. Bu amaçla devletler, bu tür silahların ortadan kaldırılması ve tamamen imha edilmesi konusunda ilgili uluslararası organlarda anlaşmaya varmak için çaba göstermelidir.

Bildirinin yayınlanmasını takiben BM Genel Kurulu'nun kararı ile "Birleşmiş Milletler Çevre Programı" (UNEP)¹¹ oluşturularak çevre sorunlarına yardımcı olacak bir organ kurulmuştur (Johnson, 2012: 27).

1.2.2. Birleşmiş Milletler Çevre Programı - UNEP

Stockholm Konferansı'nın başarılarından biri kabul edilen Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Haziran 1972'de Birleşmiş Milletler'e bağlı bir organ olarak kurulmuştur. UNEP' e üye 59 ülke¹² vardır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, <https://www.mfa.gov.tr/>, 2002). Kurumun merkezinin nerede kurulacağı konusu, Stockholm Konferansı boyunca tartışılmıştır. Tartışmalar neticesinde merkezin Kenya'ya kurulması kararlaştırılmış ve kurulma nedeninin, BM içerisindeki kurumların merkezlerinin coğrafi olarak adil dağıtımını gözetmek olarak ifade edilmiştir (United Nations, 1972b: 3). Ancak Kenya'nın BM organlarından uzak olması, ülke iç dinamiklerinin getirdiği istikrarsızlıklar, kurumun etkinliğini kısıtladığı gerekçesiyle uzun dönem boyunca eleştiri almaya devam etmektedir (Heimer 1998: 131).

50 yılı aşkın bir geçmişe sahip olan UNEP, çevrenin korunmasına ilişkin oluşturulan, ilk uluslararası program/organizasyon olması nedeniyle önem taşımaktadır. UNEP kendi tanımını ile; gelecek nesilleri gözeterek, ulusların ödün vermeden yaşam kalitelerini iyileştirmek için bilgi vererek ve olanak sağlayarak çevreyi önemsemede ortaklığı teşvik eden bir kurum olma misyonunu taşımaktadır (UNEP, <https://www.unep.org/who-we-are/about-us>, 2024).

Başta sadece Yönetim Konseyi'ne bağlı olarak oluşturulan UNEP, ihtiyaç doğrultusunda zamanla artan sorumluluklardan dolayı kurumun yönetim yapısında değişikliğe yol açmıştır. UNEP bugün 7

¹¹ UNEP: United Nations Environment Program

¹² Bkz: Ek 1, Tablo 80, UNEP'e Üye Ülkeler

faaliyet birimi ve 5 bölge ofisi aracılığı ile çalışmalarına devam etmektedir. UNEP faaliyet birimleri aşağıdaki şekilde özetlenmektedir (UNEP, 2006: 5-48);

- **Erken Uyarı ve Değerlendirme Birimi (DEWA)¹³**: DEWA birimi UNEP'in işlevsel yeni organizasyonunun bir parçası olarak 1999 yılında oluşturulmuştur. Birimin amacı sürdürülebilir kalkınma için; zamanında, bilimsel olarak güvenilir, çevresel analizler, veriler ve bilgiler sağlamaktır. Bu amaçla DEWA, küresel çevrenin durumunu izleyerek, analiz ederek rapor yayınlamaktadır. Ortaya çıkabilecek çevresel tehditlere karşı erken uyarı sağlamaktadır.
- **Çevre Hukuku ve Sözleşmeleri Birimi (DELC)¹⁴**: DELC birimi UNEP'in, uluslararası çevre hukuku, yönetim ve politikasının geliştirilmesi işlevlerini yürütmek amacıyla kurulmuştur. Birimin çalışmaları şu alanlara yoğunlaşmaktadır;
 - Çevre hukukunun ilerici gelişiminde uluslararası topluluğa liderlik etmek,
 - Çevresel sorunlara yanıt olarak yasal, kurumsal ve politik önlemlerin geliştirilmesi ve uygulanmasında devletleri desteklemek,
 - Çok taraflı çevre anlaşmaları arasında ve UNEP ile bu anlaşmalar arasında iş birliği ve koordinasyonun kolaylaştırılmasını sağlamak,
 - Uluslararası çevre hukuku ve yönetimiyle ilgili konularda devletler arasında politika diyalogunun kolaylaştırılması.
- **Teknoloji, Sanayi ve Ekonomi Birimi (DTIE)¹⁵**: DTIE'nin ana amacı çevresel faaliyetlerde daha sağlıklı politikaların uygulanmasını teşvik etmektir. Birim ekonomik karar vericilere yönelik çözümler sunmakta ve yenilikçi politika seçenekleri, pilot projeler ve yaratıcı pazar mekanizmaları sunarak iş ortamının değiştirilmesine yardımcı olmaktadır. Çevreye duyarlı teknoloji kullanımını yaymak için özel sektör ve sivil toplum kuruluşu (STK) ile iş birlikleri geliştirerek faaliyet sürdürmektedir. Kimyasallar ve sağlık, enerji ve iklim, kaynaklar ve piyasalar olmak üzere 3 alana ayrılmıştır.
- **Bölgesel İş Birliği Birimi (DCS)¹⁶**: DCS, UNEP'in yönetim faaliyetlerini planlayan ve riskleri hesaplayan birimdir. Birim etkili yönetim için araçlar ve planlar sağlayarak ve maruz kaldığı riskleri yöneterek UNEP'in kurumsal çıkarlarını korumayı hedeflemektedir. BM'ye hesap verilebilirlik ilkesini gözetmektedir.
- **Çevre Politikasının Uygulanması Birimi (DEPI)¹⁷**: DEPI, uluslararası düzeyde sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için çevre politikasının uygulanmasından sorumlu birim olarak

¹³ **DEWA**: The Division of Early Warning and Assessment

¹⁴ **DELC**: The Division of Environmental Law and Conventions

¹⁵ **DTIE**: Division of Technology, Industry and Economics

¹⁶ **DCS**: The Division Corporate Services

¹⁷ **DEPI**: The Division of Environmental Policy Implementation

kurulmuştur. Birim, UNEP'in politika, program, izleme, toplumsal cinsiyet ve sosyal koruma işlevlerinin yanı sıra BM sistemi ve 2030 Gündemi gibi önemli küresel süreçlerle ilgili çalışmaktadır.

- **İletişim ve Enformasyon Birimi (DCPI)¹⁸**: DCPI birimi, UNEP'in küresel çevre çalışmalarını kamuoyu ile paylaşmak amacıyla çok çeşitli organizasyonları yürütmek için kurulmuştur. İletişim Birimi halkın katılımını sağlayarak kirlilikten yeşil finansmana kadar konularda politika ve uygulamaları etkilemeye çalışmaktadır.
- **Küresel Çevre Fonu Esgüdüm Birimi (DGEF)¹⁹**: DGEF birimi 1992'de Rio Dünya Zirvesi öncesi kurulmuştur. Özel sektör, çok taraflı şirket, banka ve STK'ların oluşturduğu toplam 18 kurum ile iş birliği ile faaliyetlerini sürdürmektedir. Çevrede oluşan sorunları finanse etmek amacıyla GEF Güven Fonu oluşturulmuştur.

1.2.3. Brundtland Komisyonu (1987)

Stockholm Konferansı'ndan sonra BM'nin isteği üzerine 1983'te, dönemin Norveç Başbakanı Gro Harlem Brundtland başkanlığında komisyon kurulmuştur. Komisyon 'Ortak Geleceğimiz' olarak bilinen raporunu, 1987 yılında BM'ye sunmuştur. Raporda ilk kez sürdürülebilir kalkınma kavramı tanımlanmıştır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2002). Sürdürülebilir kalkınma: "*Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma*" olarak tanımlanmaktadır. (United Nations, 1987: 15). Dünyanın tek olması nedeniyle ortak sorumluluk ilkesi doğrultusunda, gelişmiş veya gelişmekte olan tüm ülkelerde ekonomik ve sosyal kalkınmanın hedeflerinin sürdürülebilirlik açısından tanımlanması gerekliliği raporda vurgulanmaktadır.

Nüfus, gıda güvenliği, türlerin ve genetik kaynakların kaybı, enerji, sanayi ve insan yerleşimlerine odaklanan komisyon, bunların hepsinin birbiriyle bağlantılı olduğu ve birbirlerinden ayrı olarak ele alınamayacağı düşüncesi ile hareket etmektedir. Bu nedenle birbiriyle bağlantılı olan bu etmenler arasında sürdürülebilir kalkınmanın uyumlu olması gerekliliğine dikkat çekilmektedir. Raporda, dönemin mevcut ulusal ve uluslararası sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin üzerinde durması/sahip olması gereken noktalar ise şu şekilde belirtilmektedir (United Nations, 1987: 57-58);

- Karar alma süreçlerine etkin yurttaş katılımını sağlayan bir siyasi sistem,
- Sürdürülebilir bir temelde teknik bilgi üretebilen bir ekonomik sistem,
- Kalkınma için ekolojik temeli koruma yükümlülüğüne saygı duyan bir üretim sistemi,
- Sürekli yeni çözümler arayan teknolojik bir sistem,

¹⁸ **DCPI**: Division of Communications & Public Information

¹⁹ **DGEF**: Division of Global Environment Facility

- Sürdürülebilir ticaret ve finansı destekleyen uluslararası bir sistem ve kendini düzeltme kapasitesine sahip bir idari sistem.

Raporda bu anlayış çerçevesinde kabul edilen çevrenin korunması ve sürdürülebilir kalkınmaya ilişkin önerilen yasal ilkelerin özeti şu şekildedir (United Nations, 1987: 286-288);

- Tüm devletler, biyosferin işleyişi için gerekli olan ekosistemleri ve ekolojik süreçleri sürdürecektir, biyolojik çeşitliliği koruyacak ve canlı doğal kaynakların ve ekosistemlerin kullanımında optimum sürdürülebilir verim ilkesini gözetmelidir.
- Tüm devletler yeterli çevre koruma standartları oluşturacak ve çevre kalitesi ve kaynak kullanımındaki değişiklikleri izleyerek ve ilgili verileri yayınlamalıdır.
- Tüm devletler çevreyi veya bir doğal kaynağın kullanımını önemli ölçüde etkileyebilecek faaliyetlere ilişkin ön çevresel değerlendirmeleri yapmalıdır.
- Gelişmiş ülkeler özellikle gelişmekte olan ülkelere, çevre koruma ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek amacıyla yardım sağlamalıdır.
- Doğal kaynakları makul ve hakkaniyete uygun bir şekilde kullanılmalıdır.
- Devletler, tehlikeli faaliyetleri gerçekleştirirken veya bunlara izin verirken riski sınırlamak için tüm makul ihtiyati tedbirleri almalı ve faaliyetlerin üstlenildiği sırada zararlı olduğu bilinmese bile, önemli sınır ötesi zararın meydana gelmesi durumunda tazminat ödenmesini sağlamalıdır.
- Devletler, önemli ancak önleme maliyetinden daha az olan sınır ötesi zarara neden olan faaliyetleri gerçekleştirmeyi veya bunlara izin vermeyi planlarken, söz konusu faaliyetin gerçekleştirilebileceği adil koşullar konusunda etkilenen devlet ile müzakerelere girmelidir.
- Her devlet sınır ötesi doğal kaynakların en iyi şekilde kullanılmasını ve sınır ötesi çevresel müdahalelerin etkili bir şekilde önlenmesini veya azaltılmasını sağlamak için diğer devletlerle iyi niyetle iş birliği yapmalıdır. Çevreye ilişkin uluslararası bir yükümlülüğü ihlal eden faaliyetler durdurulmalı ve verilen zararın tazmin edilmesi sağlanmalıdır.

Özetle Brundtland Komisyonu; bugün genel olarak anlaşıldığı şekliyle sürdürülebilir kalkınma için yol gösterici uluslararası bir rapor yayınlamıştır. Gelecek nesilleri sürdürmek için gerekli kaynakları güvence altına almaya dair kararların, acil alınmasını vurgulayan bir bildiri niteliği taşımaktadır. Ancak raporda yayınlanan maddeler değerlendirildiğinde; rapor bir eylem planından ziyade, tüm devletlerin iş birliği yapmaları gereken alanları açıklayan bir referans niteliğindedir.

1.2.4. Montreal Protokolü (1987)

1985’de Antarktika’da ozon deliğinin tespit edilmesi sonrasında hükümetler, birçok Kloroflorokarbon ve halonların üretim ve tüketimini azaltacak katı önlemlere ihtiyaç olduğu yargısına

varmışlardır (United Nations, 1989: 29-30). Bu amaçla Montreal Protokolü, insan sağlığını ve çevreyi, ozon tabakasını değiştiren veya değiştirme olasılığı bulunan insan faaliyetlerinden kaynaklanan olumsuz etkilere karşı korumak için gerekli önlemleri almak için imzalanmıştır. Ozon tabakasını incelten maddelere dair olan Protokol 1987 yılında kabul edilmiş ve 1990 yılında yürürlüğe girmiştir.

Protokolde anlaşmaya varılan ve yürürlüğe giren önemli konular özet olarak aşağıdaki gibidir (United Nations, 1989: 30-39);

Madde 1-19: Taraflar, Protokolün yürürlüğe girişini takip eden 7. ayın ilk gününden itibaren başlayacak 1 yıllık dönemde ve bundan sonra gelecek her dönemde, belirlenen maddelerin hesaplanmış tüketim seviyelerinin, kendileri için hesaplanmış tüketim seviyelerini aşmamasını temin edeceklerdir. Taraflar 1990'dan itibaren, bu Protokol'e taraf olmayan herhangi bir devletten belirlenen maddelerin ithal edilmesini yasaklayacaktır. Taraflar 1993'den itibaren, bu Protokol'e taraf olmayan herhangi bir devlete belirlenen maddelerin ihraç edilmesini yasaklayacaktır. Taraflar, 1990'dan itibaren her 4 yılda bir bilimsel, çevresel, teknik ve ekonomik veriler ışığında, belirlenen maddelerde belirtilen kontrol önlemlerini, değerlendirmeye tabi tutacaklardır. Her değerlendirmeden en az 1 yıl önce taraflar, paneller düzenleyeceklerdir. Paneller toplandıktan sonra 1 yıl içinde varılan sonuçları taraflara bildireceklerdir. Taraflar, ilk toplantılarında, kabul edilen hükümlere uyulup uyulmadığına dair tespiti ve taraflara uygulanacak işlemlere ilişkin prosedürleri görüşecek ve kabul edeceklerdir. Belirtilen kontrol önlemlerine uyum sağlamak için, devletlere finansal ve teknik iş birliği sağlamak amacıyla bir mekanizma oluşturulacaktır. Yürütülecek faaliyetler dahil olmak üzere, protokolün işleyişi için gerekli olan tüm fonlar tarafların katkıları ile oluşturulacaktır. Protokole hiçbir rezerv konmayacaktır. Taraflar, belirtilen yükümlülükleri üstlendikten itibaren 4 yıl geçmesinden sonra, yazılı bildirimle Protokol'den çekilebilecektir. Protokolde kontrol edilen maddeler; kloroflorokarbon, halon, karbon tetraklorür, metil kloroform ve metil bromür olarak belirlenmiştir.

1.2.5. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı – Rio Konferansı (1992)

Stockholm Konferansı ve Brundtland Komisyonu, insanlığın karşı karşıya olduğu çevre sorunlarına geliştirilecek eylemlerin, tüm ülkelerin ortak katılımı ile gerçekleştirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu amaçla 1992'de Rio de Janeiro'da "Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı" gerçekleştirilmiştir. Rio Konferansı'nın birincil gündemi; uluslararası iş birliğine ve kalkınma politikasına rehberlik edecek, çevre ve kalkınma konularında uluslararası eylem için geniş bir gündem ve yeni bir plan üretmektir (UNEP, 1992: 1-2). Bu amaçla konferans 179 ülkenin siyasi liderleri, diplomatları, bilim adamları, medya temsilcileri ve STK'larının katılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Soğuk Savaş'ın bittiği bu dönemde konferans, yeni ve adil bir uluslararası iş birliği kurma hedefiyle, herkesin çıkarlarına saygı duyan ve küresel bütünlüğünü koruyan, dünyanın ayrılmaz ve

birbirine bağımlı doğasına vurgu yapmıştır. Konferans; Rio Deklarasyonu, Gündem 21, Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ve BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi olmak üzere 4 temel eylem planına bölünmüştür.

1) Rio Deklarasyonu: Rio Deklarasyonu veya diğer adıyla Rio Çevre ve Kalkınma Bildirgesi, çevre ve kalkınma alanında devletlerin birbirleriyle ilişkilerine ilişkin ilkeleri tanımlayan bir belge niteliğindedir. Bildirge, Rio Konferansı esnasında kabul edilmiştir. Temelde 1972 BM İnsan Çevresi Konferansı'nın Stockholm Bildirgesi'ndeki fıkırlara dayanmaktadır (Dodds, 1997: 3). Bildirgede 27 ilke yayınlanmıştır. İlke ve maddeler aşağıda özetlenmektedir (UNEP, 1992: 3-8);

İlke 1-27: Sürdürülebilir kalkınmanın kaygı merkezinde insan var. Her insanın doğayla uyumlu, sağlıklı ve üretken bir yaşam sürmeye hakkı vardır. Devletler, BM ve uluslararası hukuk ilkelerine uygun olarak, kendi çevre ve kalkınma politikaları uyarınca kaynaklarını kullanma konusunda egemen hakka ve kendi yetki alanları veya kontrolleri dahilindeki faaliyetlerin zarar görmemesini sağlama sorumluluğuna sahiptir. Kalkınma şimdiki ve gelecek nesillerin gelişimsel ve çevresel ihtiyaçlarını eşit bir şekilde düşünerek gerçekleştirilmelidir. Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için, çevre korumak sürecinin ayrılmaz bir parçasını oluşturmalıdır. Sürdürülebilirlik için vazgeçilmez bir gereklilik olarak yoksulluğun ortadan kaldırılması, yaşam standartlarındaki farklılıkları azaltmak ve dünya insanlarının ihtiyaçlarını karşılamak için tüm devletler iş birliği yapacaklardır. Özellikle en az gelişmiş ve çevresel açıdan en savunmasız olanların özel durum ve ihtiyaçlarına özel öncelik verilecektir.

Devletler, dünya ekosisteminin bütünlüğünü korumak ve eski haline getirmek için iş birliği yapmalıdır. Gelişmiş ülkeler, küresel çevre üzerindeki baskıları ve kontrol ettikleri teknolojiler ve finansal kaynaklar göz önüne bulundurulduğunda, uluslararası sürdürülebilir kalkınma arayışında üstlendikleri sorumluluğu kabul etmelidir.

Sürdürülebilir kalkınma ve herkes için daha yüksek bir yaşam kalitesi elde etmek için devletler, sürdürülemez üretim ve tüketim kalıplarını değiştirmelidir. Devletler, bilimsel ve teknolojik bilgi alışverişi yoluyla bilimsel anlayışı geliştirerek, teknolojilerin geliştirilmesini ve transferini artırarak sürdürülebilir kalkınma için iş birliği yapmalıdır.

Çevre sorunları, herkesin katılımıyla en iyi şekilde ele alınabilir. Bu nedenle her birey, kendi topluluklarındaki faaliyetler hakkında bilgiler de dahil olmak üzere, çevre ile ilgili bilgilere ve fırsatlara uygun erişimi sağlanmalıdır. Devletler, bilgiyi geniş çapta erişilebilir kılarak kamu bilincini ve katılımını kolaylaştırarak teşvik etmelidir. Devletler; çevre standartları, yönetim amaçları ve öncelikleri ile ilgili çevre mevzuatı çıkarılmalıdır.

Devletler, çevresel sorunları daha iyi ele almak için tüm ülkelerde ekonomik büyümeye ve sürdürülebilir kalkınmaya yol açacak destekleyici ve uluslararası ekonomik sistemi teşvik etmek için iş birliği yapmalıdır. Ticaret politikası, keyfi veya haksız bir ayrımcılık aracı veya uluslararası ticarete örtülü bir kısıtlama oluşturmamalıdır. Küresel çevre sorunlarına yönelik çevresel önlemler, mümkün olduğu kadar uluslararası bir uzlaşmaya dayanmalıdır. Devletler, çevresel zararlara ilişkin ulusal hukuk geliştirmelidir. Devletler ayrıca, yetki alanları dahilindeki faaliyetlerden veya yetkileri dışındaki alanlardaki kontrollerden kaynaklanan çevresel zararların olumsuz etkilerine ilişkin uluslararası hukuk geliştirmek için iş birliği yapmalıdır.

Devletler, çevresel bozulmaya neden olan veya insan sağlığına zararlı olduğu tespit edilen her türlü faaliyetleri caydırmak için iş birliği yapmalıdır. Ciddi ya da geri döndürülemez hasar tehditlerinin olduğu durumlarda, tam bilimsel kesinliğin olmaması, çevresel bozulmayı önlemek için uygun maliyetli önlemleri erteleme bir nedeni olarak kullanılmamalıdır.

Kirleten öder ilkesine göre; çevreyi kirletenler kirlilik maliyetini üstlenmeli ve kamu yararına gereken saygıyı göstermelidir. Çevre üzerinde olumsuz etkisi olması muhtemel olan faaliyetler için çevresel etki değerlendirmesi yapılmalıdır.

Devletler, doğal afetleri veya çevre sorunları ile ilgili diğer acil durumları diğer devletlere derhal bildirmelidir. Mağdur olan devletlere yardım etmek için iş birliği yapılmalıdır. Devletler, önemli bir olumsuz sınır ötesi çevresel etkiye neden olabilecek faaliyetleri hakkında potansiyel olarak etkilenen diğer devletlere önceden bildirimde bulunmalıdır.

Kadınların çevre yönetimi ve kalkınmasında hayati bir rolü vardır. Bu nedenle tam katılımları sürdürülebilirliği sağlamak için çok önemlidir. Yerel halkın geleneksel uygulamaları çevre yönetimi ve kalkınmasında önemli bir role sahiptir. Devletler, kimliklerini, kültürlerini tanımalı ve sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesine etkin katılımlarını sağlamalıdır.

Bu bildirgede yer alan ilkelerin yerine getirilmesinde ve sürdürülebilir kalkınma alanında uluslararası hukukun daha da geliştirilmesinde tüm devletler iş birliği yapmalıdır.

2) Gündem 21: Rio Konferansı'nın oluşturduğu ancak bağlayıcı niteliği olmayan eylem planıdır. Planda çevrenin korunmasından ziyade sürdürülebilir kalkınmanın dinamiklerini içeren geniş çaplı bir çalışma yapılmıştır. Ana hatları ile; yoksulluk, eğitim, teknoloji, sağlık, tüketim alışkanlıkları konularını içeren ve 40 bölümden oluşan geniş çaplı bir kalkınma planıdır (UNEP, 1992). Plan Rio Konferansı'na katılan temsilciler tarafından desteklenmiş ve onaylanmıştır.

Plan küresel çevrenin devam eden bozulmasının başlıca nedeninin, sürdürülemez tüketim ve üretim modeli olduğuna vurgu yapmaktadır. Bu nedenle plan, tüketim alışkanlıkları ve üretim yapısına geniş yer vermektedir. Yeni tüketim ve üretim modellerinin de önerildiği planda, maliyet hesaplamaları da sunulmaktadır.

3) Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi: Rio Konferansı'nda oluşturulan bir diğer anlaşmadır. Sözleşme Haziran 1992'de sunulmuş ve ülkeler tarafından onaylatılmak üzere Haziran 1993'e kadar süre tanınmış ve sözleşme 1993'te yürürlüğe girmiştir (UNEP, 1992: 21). Sözleşmenin çıkış noktası; tüm kaynaklardan gelen canlı organizmalar arasındaki çeşitliliğin bütün olarak ele alınmasıdır.

Sözleşme 42 madde ve 2 Ek²⁰'den oluşmaktadır (UNEP, 1992). Birinci maddede sözleşmenin amacının biyolojik çeşitliliğin korunması ve bu amaca bileşenlerin sürdürülebilir kullanımı ile ulaşılması ilkesi açıklanmaktadır. İkinci maddede, sözleşmede kullanılan biyolojik çeşitlilik ile ilgili kavramlara yer verilmektedir. Üçüncü maddede devletlerin faaliyetlerinin diğer ülkelerin sınırlarına zarar vermemesi sorumluluğu vurgulanmaktadır. Sözleşmeye göre taraflar, biyolojik çeşitliliğin korunması için özel tedbirler alındığı bir sistem kuracaklardır. Ekosistemi, tehdit eden yabancı türlerin girişini engelleyeceklerdir. Tehdit altındaki türlerin korunması için gerekli mevzuat düzenleyeceklerdir. Hedefler için özellikle gelişmekte olan ülkelere mali ve diğer desteklerin sağlanmasında iş birliği yapacaklardır. Biyolojik çeşitliliğin korunması için, genetik kaynakların menşe ülkesinde, bitki, hayvan ve mikro-organizmalar üzerinde araştırma yapılması için gerekli düzenlemeler geliştireceklerdir. Biyolojik çeşitliliği korumanın öneminin anlaşılması için, medya aracılığı ve eğitim programları ile teşvik çalışmaları yapılacaktır. Sözleşmenin diğer maddelerinde sözleşmenin kapsamı, uygulanması, finansı ve sözleşme uyarınca belirlenen sorumlulukların takibi konularına yer verilmektedir.

4) BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi: İklim değişikliğinin ekosisteme ve insanlara negatif etkilerine önlem olarak 1992'de kabul edilmiş ve 1994 'de yürürlüğe girmiştir. Sözleşmenin önsözünde, iklimin "*insanlığın ortak kaygısı*" olarak nitelendirilmesi, uluslararası çevre hukukunun mevcut²¹ ve yeni ortaya çıkan çeşitli kavramlarına atıfta bulunmaktadır (UNEP, 1992: 4).

Sözleşme 26 ana maddeye ayrılmaktadır. Birinci maddede çevre ve iklim değişikliği ile ilgili tanımlamalara yer verilmektedir. İkinci maddede sözleşmenin amacı açıklanmaktadır. Üçüncü maddede sözleşmenin ilkeleri yer almaktadır. Bu maddeye göre; sözleşmeye konu taraflar güçlerine göre sorumluluk alacaktır (UNEP, 1992: 9). Bu hususta sözleşmesinin en önemli kısmı; tarihsel ve mevcut küresel sera gazı emisyonlarının en büyük payının gelişmiş ülkelere atfedilmesidir.

²⁰ Ek I: Belirleme ve İzleme; Ek II: Hakemlik ve Uzlaşma

²¹ Bkz: Stockholm Konferansı (1972), Viyana Sözleşmesi (1990)

(Bodansky, 1993: 498). Bu paragraf özellikle gelişmekte olan ülkeler için önemli bir uzlaşmayı temsil etmektedir. Çünkü aslında hala geçerli olan bu durum; çevrenin tahribatı, uluslararası ekonominin yönetiminde, sanayileşmiş/gelişmiş ülkelerin büyük ölçüde söz sahibi olduğu gerçeğini dile getirmektedir. Dördüncü maddede tarafların yükümlülüklerine yer verildiği 10 madde bulunmaktadır. Maddeler uyarınca taraflar, Montreal Protokolü ile denetlenmeyen tüm sera gazlarına ilişkin ulusal envanterlerini güncelleyecek ve bölgesel programlar oluşturacaklardır. İklim değişikliğine neden olan faktörleri, değişikliğin etkileri, önemini uzun vadede daha iyi anlamak için veri arşivi kuracaklardır. Sera gazı emisyon azalımının 10 yıl sonunda ve periyodik olarak geri seviyeye düşüreceklerini taahhüt edeceklerdir. Veri arşivi takip etmek için araç olacaktır. Sözleşmenin diğer maddelerinde ise; sözleşmeye yardımcı organların (sekretarya, mali mekanizma) ve sözleşmede değişiklik konularına yer verilmiştir.

Sözleşmeye aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 196 ülke tarafından onaylanmıştır. Sözleşmeye ülkelerin daha sonra katılabilmesi için 1 yıl ilave süre tanınmıştır.

1.2.6. Kyoto Protokolü (1997)

Kyoto Protokolü Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin ilk uygulama anlaşması niteliğindedir. Protokol, atmosfere salınan sera gazı miktarının 1990'daki taban çizgisine göre azaltılması amacıyla ilk kez sanayileşmiş ülkeleri ve ekonomileri emisyon azaltma hedeflerine yasal olarak bağlaması açısından önem taşımaktadır (United Nations, 2022: 15). Protokol 1997 yılında kabul edilmiş olup, 2005'te yürürlüğe girmiştir. Sözleşmeyi imzalayan ülkeler Ek 2'de yer alan Tablo 81'de gösterilmektedir. Protokol'ün ilk taahhüt dönemi 2008- 2012 yıllarını kapsamaktadır. 2012 yılında düzenlenen 18. Taraflar Konferansı'nda Kyoto Protokolü'nün 2020 yılına kadar uzatılmasına karar verilmiş ve 2. Taahhüt dönemi 2012-2020 olarak belirlenmiştir. Kyoto Protokolü'nde anlaşmaya varılan ve yürürlüğe giren önemli konular özet olarak aşağıdaki gibidir (UNFCCC, 1998: 2-20);

Sözleşme'nin 1. Maddesi'nde bulunan tanımlar uygulanacaktır; Taraflar Konferansı; Sözleşmeye katılan Tarafların Konferansı'dır. Sözleşme; 9 Mayıs 1992 tarihinde New York'ta kabul edilen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'dir. IPCC; Dünya Meteoroloji Örgütü ve BM Çevre Programı tarafından 1988'de kurulan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'dir. Montreal Protokolü; 16 Eylül 1987'de kabul edilen ozon tabakasını incelten maddeleri kapsamaktadır. Mevcut ve Oy Kullanan Taraflar; Sözleşmede bulunan ve oy kullanan ülkelerdir. Taraf; metin içinde aksi belirtilmedikçe bu Protokol'e taraf olan ülkelerdir.

Taraflar, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü ve Uluslararası Denizcilik Örgütü ile çalışarak, havacılık ve deniz yakıtlarından kaynaklanan ve Montreal Protokolü tarafından kontrol edilmeyen sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını ve azaltılmasını sağlayacaklardır. Taraflar, 2008-2012 yıllarını kapsayan taahhüt döneminde, insan faaliyetlerinden kaynaklanan karbondioksit eşdeğeri sera gaz

salınım toplamını, 1990 yılı seviyelerinin en az %5 aşığına indirmek için, sınırlandırma ve azaltım taahhütlerine uygun olarak ve bu Madde'nin hükümleri gereğince hesaplanan olan miktarları aşmamasını, bireysel ya da müştereken sağlayacaklardır. Taraflar 2005'e kadar bu Protokol'deki taahhütlerin gerçekleştirildiğine dair kanıtlanabilir bir ilerleme göstereceklerdir.

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan karbondioksit eşdeğeri sera gazları; karbondioksit, metan, azot oksit, hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar ve kükürt hekzaflorür olarak tanımlanmıştır. Taraflar, birinci taahhüt dönemi başlamadan en geç bir sene önce, Montreal Protokolü'nce denetlenmeyen ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazlarının, kaynaklardan salınımını ve yutaklardan uzaklaştırılmalarının hesaplanabilmesi için ulusal bir sistem oluşturacaktır. IPCC tarafından kabul edilen ve Taraflar Konferansı'nın üçüncü oturumunda üzerinde mutabık kalınan yöntemler hesaplamanın ana kaynağı olacaktır. Taraflar, insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazlarının kaynaklardan salımlarına ve uzaklaştırılmasına ilişkin envanter raporunu yıllık olarak sunacaklardır.

Taraflar, ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklarını ve koşullarını dikkate alarak sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirebilmek için maliyet-etkin ulusal ve uygun olduğu ölçüde, bölgesel programlar düzenleyeceklerdir. Bu programlar, enerji, ulaştırma ve sanayi sektörlerinin yanı sıra tarım, ormancılık ve atık yönetimi ile ilgili olacaktır. Arazi planlamasını iyileştirmek için kullanılan teknolojinin, iklim değişikliğine olan uyumu göz önünde bulundurulacaktır. Bu maddede temiz kalkınma mekanizması tanımlanmaktadır. Mekanizmanın amacı; taraf olmayanlara, sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirerek sözleşmenin nihai amacına katkıda bulunmak üzere destek sağlamak ve tarafların taahhütlerini yerine getirmelerine yardım etmektir. Bilimsel ve Teknolojik Danışma Yardımcı Organı ve Uygulama Yardımcı Organı, oluşturulacaktır. Taraflar Konferansı tarafından sera gazı salım ticaretine ilişkin raporlama ve hesap verilebilirlik için, gerekli prensip, yöntem ve kurallar belirlenecektir.

Taraflardan her biri bu Protokol'e değişiklikler önerme hakkına sahiptir. Herhangi bir değişiklik; kabulü için önerilen toplantı tarihinden en az 6 ay önce taraflara bildirilecektir. Protokolü en az 55 ülkenin imzalaması ve salınımların en az %55'ine karşılık gelmesi durumunda, bu koşullara uyulduğu tarihten sonraki doksanıncı gün yürürlüğe girecektir. Protokolün bir taraf için yürürlüğe girdiği tarihten itibaren üç yıl geçtikten sonra herhangi bir zamanda, yazılı bildirimde bulunarak bu Protokolden çekilebilme hakkına sahiptir. Protokolde yayınlanan özet sera gazı azaltım taahhütleri Tablo 1'de yer almaktadır;

Tablo 1: Kyoto Protokolü Sera Gazı Azaltım I. Taahhüt (G20 Ülkeleri)

Ülke	Sera Gazı	Kabul Edilen Yıl	Başlangıç Emisyon Miktarı (ton)	Emisyon Azaltma Taahhüdü
ABD		1998 - Ek 1		-7%
Almanya		1998 - Ek 1	4,868,096	-8%
Arjantin		2001	-	Dahil edilmemiştir
Avustralya*		1998 - Ek 1	-	+8%
Brezilya		2002	-	Dahil edilmemiştir
Çin		2002	-	Dahil edilmemiştir
Endonezya		2004	-	Dahil edilmemiştir
Fransa	Karbon dioksit	1998 - Ek 1	2,819,626	-8%
Güney Afrika	Metan	2002	-	Dahil edilmemiştir
Güney Kore	Azot oksit	2002	-	Dahil edilmemiştir
Hindistan	Hidroflorokarbon	2002	-	Dahil edilmemiştir
İngiltere	Perflorokarbon	2002	-	Dahil edilmemiştir
İtalya	Kükürt hekzaflorür	1998 - Ek 1	3,412,080	-8%
Japonya		1998 - Ek 1	2,416,277	-8%
Kanada		1998 - Ek 1	5,928,257	-6%
Meksika		1998 - Ek 1	2,791,792	-6%
Rusya		2000	-	Dahil edilmemiştir
Suudi Arabistan		1998 - Ek 1	16,617,095	0%
Türkiye		2005	-	Dahil edilmemiştir
AB		2009	-	Dahil edilmemiştir
		1998 - Ek 1	19,621,381	-8%

Kaynak: UNFCCC, 1998, https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf 'den alınan bilgiler tablo hâline getirilmiştir.

(*) Avustralya'nın Kyoto Protokolü ile belirlenen hedefi; 2008–2012 döneminde emisyonlarını 1990'daki seviyesinin %8 üzerinde sınırlamaktır.

Kyoto Protokolü özetle, iklim değişikliğini yavaşlatmaya yönelik ilk büyük küresel çaba ve çok taraflılığın önemli bir simgesi kabul edilmektedir. Kyoto Protokolü, bazı ülkelerde emisyonların azaltılmasını sağlamış, ilk taahhüt dönemi için Kyoto hedefleri olan en az 18 ülke, 2005'ten bu yana mutlak emisyon azaltımlarını sürdürmeye devam etmiştir. Bunun yanı sıra Kyoto Protokolü ile başlayan sera gazı raporlaması ulusal ve uluslararası kapasitenin oluşturulmasına katkı sağlamıştır (IPCC, 2022b: 17).

Ancak her ne kadar Kyoto Protokolü'nü 55 ülke imzalasa da özellikle sera gazı salınımında asıl rol oynayan gelişmiş ülkelerin protokolü kabul etmesi önem taşımaktadır. Sanayileşmiş ülkelerin başında yer alan ve yenilenemeyen enerji tüketiminin fazla olduğu ABD, ülkenin ekonomik çıkarlarına olumsuz bir etkide bulunacağını ileri sürerek 2001'de protokolü kabul etmediğini açıklamıştır. Atmosfere en fazla sera gazı emisyonu salınımı yapan ülke konumundaki Çin ise Protokolce sorumluluk almamıştır. Tablo 4'te yer verildiği üzere, Çin'in sera gazı emisyonu Protokol'ün imzalandığı tarihten günümüze %208 artmıştır. Dünya geneline baktığımızda ise; sera gazı emisyonu Protokol'ün imzalandığı tarihten günümüze %71 artmıştır. Özetle Kyoto Protokolü, istenen hedeflere ulaşmada yetersiz kaldığı görülmektedir.

1.2.7. Kopenhag Taraflar Konferansı (2009)

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı olarak da bilinen Kopenhag Taraflar Konferansı, 07–18 Aralık 2009 tarihleri arasında Danimarka'nın Kopenhag kentinde 113 ülke²² temsilcilerinin

²² **Bkz:** Ek 3, Tablo 82

katılımı ile gerçekleştirilmiştir (United Nations, 2010: 5). Konferans, Kyoto Protokolü'nde belirlenen hükümlerin uygulanmasına ilişkin, taraflara hizmet etmektedir. Toplantıda aynı zamanda BM, 2012'de bitecek olan Kyoto Protokolünün ilk aşamasını değerlendirmiştir (UNFCCC, 2009: 2). Konferansta anlaşmaya varılan ve yürürlüğe giren önemli konular özet olarak aşağıdaki gibidir (United Nations, 2010: 5-7);

İlke 1-12: İklim değişikliğinin çağın en büyük zorluklarından biridir. Küresel sıcaklıktaki artışın 2 santigrat derecenin altında olması gerektiğine dair bilimsel görüşü kabul ederek, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunu önleyecek bir seviyede stabilize etme nihai hedefine ulaşmak için, uzun vadeli iş birliği eylemi geliştirilmelidir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı özellikle hassas olan ülkeler üzerindeki kritik etkilerini kabul ederek ve uluslararası desteği de içeren kapsamlı bir uyum programı oluşturulmalıdır.

Küresel sıcaklıktaki artışı 2 santigrat derecenin altında tutmak ve emisyonları azaltmak için, Birleşmiş Milletler Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)²³ Dördüncü Değerlendirme Raporunda belgelendiği gibi, bilimle tutarlı ve adil bir şekilde bu hedefe ulaşmak için harekete geçilmelidir. Gelişmekte olan ülkelerde hedefe ulaşma zamanının daha uzun olacağını kabul ederek, sosyal ve ekonomik kalkınma ile yoksulluğun ortadan kaldırılmasının kalkınmanın ilk ve en önemli öncelikleri olduğunu göz önünde tutarak, iş birliği yapılmalıdır. Özellikle gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde, kırılganlığı azaltmak ve dayanıklılık oluşturmak için, uluslararası iş birliği gerekmektedir. Gelişmiş ülkeler bu doğrultuda gelişmekte olan ülkeleri desteklemek için mali kaynak ve teknoloji sağlamalıdır. Ülkelerin emisyon hedefleri bu anlaşma ekinde verilmelidir. Az gelişmiş ülkeler ve gelişmekte olan ülkeler, gönüllü olarak destek verebilirler. Ulusal envanter raporları da dahil olmak üzere öngörülen hafifletme eylem raporları her iki yılda bir, ulusal bildirimler yoluyla iletilmelidir. Ormansızlaşma ve ormansızlaşmadan kaynaklanan emisyonu azaltmak, ormanlar tarafından sera gazı emisyonunun ortadan kaldırılmasının artırılması için REDD-plus²⁴ dahil bir

²³ **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):** United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change: BM'ye ait Dünya Meteoroloji Örgütü ve BM Çevre Programı tarafından 1988'de iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere kurulmuştur. İklim değişikliğinin etkilerini inceleyen, Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization- WMO) ve Birleşmiş Milletler Çerçeve Programı (UNEP) tarafından 1988'de kurulan kurumdur. IPCC, Türkiye'nin de içinde olduğu 195 üye ülke tarafından belirlenmiş bağımsız süreçlere göre faaliyetlerini sürdürmektedir. IPCC raporlarını 3 ayrı çalışma grubu hazırlamaktadır. Birinci grup; geçmiş, şimdiki ve gelecekteki iklim değişikliğinin temelini oluşturan fizik bilimine odaklanır. İkinci grup; iklim etkilerini, sosyoekonomik ve doğal sistemlerin iklim değişikliğine karşı savunmasızlığını araştırmaktadır. Üçüncü grup ise; iklim değişikliğinin azaltılmasına, emisyonların azaltılmasına ve atmosferden sera gazlarının uzaklaştırılmasına yönelik yöntemlerin değerlendirilmesini yapmaktadır (Bkz: <https://www.ipcc.ch/>).

²⁴ **Redd-plus:** Ormansızlaşmadan ve orman bozulmasından kaynaklanan emisyonların azaltılması, orman karbon stoklarının korunması, ormanların sürdürülebilir yönetimi ve orman karbon stoklarının artırılması olarak ifade edilebilir (United Nations, 2022: 52).

mekanizma kurulacaktır. Piyasaları kullanma, maliyet etkinliğini artırmak için özellikle düşük emisyonlu gelişmekte olan ekonomilere gelişmeye devam etmeleri için teşvikler sağlanmalıdır.

Gelişmekte olan ülkelere, ormansızlaşmadan kaynaklanan emisyonları azaltmak için önemli finansman da dahil olmak üzere azaltımla ilgili gelişmiş eylemleri sağlamak ve desteklemek için, finansman sağlanmalıdır. Gelişmiş ülkelerin toplu taahhüdü ve uluslararası kuruluşlar aracılığıyla 2010-2012 dönemi için, 30 milyar ABD dolarına yaklaşan yeni ve ek kaynaklar sağlanacaktır. Az gelişmiş, gelişmekte olan ve Afrika gibi en savunmasız ülkelere, finansmanda öncelik verilecektir. Gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkelerin ihtiyaçlarını karşılamak için 2020 yılına kadar ortaklaşa yılda 100 milyar ABD dolarını taahhüt edecektir. Bu finansman, alternatif finansman kaynakları da dahil olmak üzere, kamu ve özel, ikili ve çok taraflı çok çeşitli kaynaklardan sağlanacaktır. Bu tür fonların önemli bir kısmı Kopenhag Yeşil İklim Fonu'ndan²⁵ geçecektir.

Alternatif finansman kaynakları da dahil olmak üzere potansiyel gelir kaynaklarının katkısını incelemek üzere Taraflar Konferansı'nın rehberliğinde ve ona karşı sorumlu bir Üst Düzey Panel kurulacaktır. Kopenhag Yeşil İklim Fonunun, gelişmekte olan ülkelerde adaptasyon, kapasite geliştirme, teknoloji geliştirme ve azaltımla ilgili projeleri, programları, politikaları ve diğer faaliyetleri desteklemek için sözleşmenin mali mekanizmasını işleyen bir kuruluşu olarak kurulmasına karar verilmektedir. Teknoloji geliştirme ve transferini geliştirmek için, Teknoloji Mekanizması kurulacaktır. Anlaşmanın uygulanmasına ilişkin nihai hedefi 2015 yılı olarak kararlaştırılmaktadır.

Özetle Kopenhag BM İklim Değişikliği Konferansı, iklim değişikliğine yönelik uluslararası tepkiyi güçlendirmek için küresel çapta bir toplantıdır. Küresel artıştaki sıcaklığın 2 santigrat altında tutulması konusunda mutabık kalınmıştır. Ancak toplantıda hangi ülkelerin sorumluluk payları belirlenmemiştir.

1.2.8. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği 16. Taraflar Konferansı (2010)

Birleşmiş Milletler 16.Taraflar Konferansı 2010 yılında Cancun, Meksika'da birçok ülke, bağımsız kuruluş ve STK'ların katılımı ile gerçekleşmiştir. Konferans sonunda imzalanan Cancun Anlaşması ile yayınlanan bildiride, çevre ve sürdürülebilir kalkınma ile ilgili görüşülen özet konular şu şekildedir (UNFCCC, 2010: 1-29);

Anlaşmada özellikle gelişmiş ülke Taraflarının fazla olan emisyonlarını azaltması ve gelişmekte olan ülke Taraflarına uygun teknoloji, kapasite geliştirme ve mali kaynak sağlamaları gerekliliği

²⁵ Kopenhag Yeşil İklim Fonu: Copenhagen Green Climate Fund

vurgulanmaktadır. Gelişmekte olan ülke Taraflarında kırılganlığı azaltmak ve dayanıklılık oluşturmak için uluslararası iş birliği gerekmektedir. Bu gereklilikler çerçevesinde gelişmekte olan ülke Tarafları, kendi yetenekleri ve ulusal koşullarına uygun olarak, ormansızlaşmadan kaynaklanan emisyonların azaltılmasını, orman karbon stoklarının korunmasını, sürdürülebilir orman yönetimini taahhüt etmektedir. Aşırı hava olayları ilgili etkiler de dahil olmak üzere, iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle ilişkili kayıp ve hasarları anlamak ve azaltmak için uluslararası iş birliği kabul edilecektir.

Gerekli olan finansal destek, gelişmiş ülke taraflarından, gelişmekte olan ülkelere, uluslararası kuruluşlar aracılığıyla, 2010-2012 dönemi için 30 milyar ABD\$ olarak belirlenmiştir. Mali mekanizmayı yürütmek üzere Yeşil İklim Fonu (*Green Climate Fund*) kurulması kararlaştırılmıştır. Kurulan fonun gelişmekte olan ve gelişmiş ülke Taraflarından eşit sayıda üyeden oluşan 24 üyeli bir kurul tarafından yönetilmesine karar verilmiştir. Fonun faaliyetlerini inceleme görevi, Dünya Bankası'na bırakılmasına karar verilmiştir.

1.2.9. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı (Rio +20 Zirvesi -2012)

BM Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı (Rio+20 Zirvesi), BM Çevre ve Kalkınma Konferansı'nın (1992) devamı niteliğindedir. Konferans 20-22 Haziran 2012'de Rio de Janeiro, Brezilya'da gerçekleştirilmiştir.

Konferansta Binyıl Kalkınma Hedefleri üzerine inşa edilen ve 2015 sonrası kalkınma gündemiyle örtüşen Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi geliştirmek için bir süreç başlatılmaya karar verilmiştir. Bu amaçla "*İstediğimiz Gelecek*" isimli, kalkınma için yol haritası niteliğinde bir sonuç belgesi yayınlanmıştır. Bildiride çevre ve sürdürülebilir kalkınma ile ilgili özet konular şu şekildedir (United Nations, 2012: 1-49);

Madde 1-72: Sürdürülebilir kalkınmanın hedeflerine ulaşılması için, her seviyede, ekonomik, sosyal ve çevresel yönleri bir araya getirerek ve bu etmenlerin aralarındaki ilişkileri tanıyarak daha ileri düzeyde ele alınması gerekmektedir. İnsanların sürdürülebilir kalkınmanın merkezinde olduğu varsayımı ile adil ve bütünüleyici bir dünya için, ekonomik büyümeyi, sosyal kalkınmayı ve çevrenin korumasını teşvik ederek, herkesin yarar sağlaması için çalışılmalıdır.

Binyıl Kalkınma Hedeflerine ulaşmak ortak hedeftir. Konferansta belirlenen sürdürülebilir kalkınma hedefleri, Binyıl Kalkınma Hedefleri'nden farklı olarak evrensel ve ülkelerin gelişmişlik düzeyine bakılmaksızın tüm ülkeler için geçerli olmalıdır. Günümüz ve gelecek için; ekonomik, toplumsal ve çevresel ihtiyaçlar arasında adil bir denge oluşturmak için doğa ile uyumlu yaşamayı teşvik edilmelidir. Ulusal ticarete ithalatçı ülkenin yargı yetkisi dışındaki çevresel zorluklar için çevresel önlemler, uluslararası fikir birliği çerçevesinde alınmalıdır.

Sürdürülebilir kalkınmada yeşil ekonomi modeli; çevre üzerinde olumsuz etkileri azaltacak şekilde yönetme imkânı, kaynakların daha etkin şekilde kullanımı ve atıkların azaltılmasını sağlayacaktır. Sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğun ortadan kaldırılması için yeşil ekonominin desteklenmesi, çevreye duyarlı teknolojiler ve araştırma ve geliştirme edilmelidir.

2012’de gerçekleştirilen konferans, 1992 Rio Konferansı sonrası ilerlemeyi değerlendirmek, boşlukları tespit etmek, gelişen yenilikleri değerlendirmek ve sürdürülebilir kalkınmaya yönelik taahhütleri yenilemek için önemli bir görüşme niteliğindedir. 20 yıl öncesi ve sonrası sürdürülebilir kalkınmanın gelişimi değerlendirildiğinde; dünya GSYİH’si yaklaşık %75, kişi başına düşen GSYİH ise %40 artmıştır (OECD, 2012: 2). Bu iyileşme yaşam standartlarında yaygın iyileşmeler sağlamıştır.

1.2.10. Paris İklim Anlaşması (2015)

Global iklim krizinin önüne geçmek imzalanmış bir başka anlaşma Paris İklim Anlaşması’dır. Paris İklim Anlaşması; 2011’de başlayan müzakere sürecinin sonunda 2015’te 21. Taraflar Konferansı’nda (Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change – COP21) kabul edilmiştir (Sustainable Innovation Forum, 2015). Anlaşmaya 195 ülke dahil olmuştur. Paris Anlaşması, neredeyse tüm dünya uluslarının emisyonları azaltmak için ortak bir hedefte birleştiği anlaşma olması sebebiyle, iklim değişikliğinde önemli bir dönüm noktası kabul edilmektedir (United Nations, 2022: 15).

Konferansta, iklim değişikliğinde alınacak aksiyonlara, sürecin finansmanına ve bu döneme kadar yapılan eylemlerin değerlendirilmesine odaklanılmıştır. Anlaşmaya varılan ve yürürlüğe giren önemli konular özet olarak aşağıdaki gibidir (UNFCCC, 2015a: 2-25 ve UNFCCC 2015b: 1-136);

İlke 1-106: Anlaşmada Sözleşme’nin 1. Maddesinde yer alan tanımlar geçerlidir; Sözleşme, 9 Mayıs 1992 tarihinde New York’ta kabul edilen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi anlamına gelmektedir. Taraflar Konferansı, Sözleşme Tarafları Konferansı anlamına gelmektedir.

İklim değişikliği risk ve etkilerini önemli düzeyde azaltma bilinciyle, küresel ortalama sıcaklıktaki artışı sanayileşme öncesindeki seviyeye göre; 2°C’nin altında tutmak ve sıcaklık artışını sanayileşme öncesi dönemdeki seviyelerin 1,5°C üzeri ile sınırlandırmak için çaba göstermek gerekmektedir. Sıcaklık hedefinin gerçekleştirilebilmesi için Taraflar, gelişmekte olan ülkelerin beklenen seviyeye ulaşmalarının daha uzun süreceğini göz önünde bulundurarak, sera gazı emisyonlarının global düzeyde en iyi seviyeye ulaşmasına destek olmalıdır.

Taraflar, ormanlar da dahil olmak üzere Sözleşme’nin 4. Maddesinde atıfta bulunulduğu üzere, sera gazı yutakları ve rezervuarlarını uygun şekilde korumak ve geliştirmek için harekete geçmelidir. Taraflar, Sözleşme kapsamında halihazırda üzerinde mutabakata varılan; ormansızlaşma ve orman

bozulmasından kaynaklanan emisyonların azaltılmasına ilişkin faaliyetlere yönelik politika yaklaşımlarını teşvik etmelidir. Taraflar, azaltım ve uyum eylemlerinin seviyesini artırmak ve sürdürülebilir kalkınma ile çevresel bütünlüğü teşvik etmek için ulusal katkılarının uygulanmasında bazı Tarafların gönüllü olarak iş birliği sağlayacağını kabul edeceklerdir.

İklim değişikliğinin etkilerinden kaynaklı kayıp ya da zararlar için Varşova Uluslararası Mekanizması, Paris Anlaşması Taraflar toplantısı niteliğindeki Taraflar Konferansı'nın yetkisi ve yönlendirmesi altında yürütülür belirlediği şekilde geliştirilip güçlendirilebilir. Bu doğrultuda iş birliği ve kolaylaştırma yapılabilecek alanlar şunları içerebilir: (a) Erken uyarı sistemleri; (b) Acil durumlara hazırlık; (c) Yavaş gelişen olaylar; (d) Geri dönüşü olmayan ve kalıcı kayıp ve zararlara yol açabilecek olaylar; (e) Kapsamlı risk değerlendirmesi ve yönetimi; (f) Risk sigortası olanakları, iklim risk havuzu ve diğer sigorta çözümleri; (g) Ekonomik olmayan kayıplar; (h) Toplulukların, geçim kaynaklarının ve ekosistemlerin dirençliliği.

Anlaşmaya taraf olan gelişmiş ülkeler, sözleşme kapsamında yükümlülüklerinin devamı niteliğinde, gelişmekte olan taraf ülkelere hem azaltım hem de uyum konusunda destek olmak için finans kaynağı sağlayacaktır. Anlaşma kapsamında emisyon azaltım ve uyum eylemlerinin uygulanması için teknoloji kullanılacak ve yaygınlaştırılacaktır. Taraflar, teknoloji geliştirme ve teknoloji transferi konusundaki iş birliğini güçlendirecektir. Anlaşma kapsamında kurulan Teknoloji Mekanizması, Paris İklim Anlaşmasına hizmet edecektir.

Gelişmekte olan ülkeler, uyum ve azaltım eylemlerini uygulamak da dahil olmak üzere etkili bir iklim değişikliği eylemi gerçekleştirmeli ve teknolojinin geliştirilmesini, yaygınlaştırılmasını, uygulanmasını, iklim finansmanına erişimi, eğitim, öğretim ve halkın bilinçlendirilmesini, kolaylaştırmalıdır. Taraflar, bu Anlaşma kapsamındaki eylemlerin geliştirilmesi için gerekli adımların önemini kabul ederek, iklim değişikliği eğitimini, öğretimini, kamu bilincini, halkın katılımını ve halkın bilgiye erişimini geliştirmek için uygun önlemlerin alınmasında iş birliği yapacaklardır.

Anlaşma 22 Nisan 2016- 21 Nisan 2017 tarihleri arasında New York'taki Birleşmiş Milletler Genel Merkezinde imzaya açık olacaktır. Anlaşma, Sözleşme'nin toplam küresel sera gazı emisyonlarının minimum tahmini %55'ine neden olan en az 55 tarafının onay belgelerini sunmalarını takip eden 30. gün yürürlüğe girecektir. Anlaşmaya taraf olan her ülke, bir oy hakkına sahiptir. Bölgesel ekonomik entegrasyon teşkilatları, kendi yetki alanlarına giren konularda, anlaşmaya taraf olan kendi üye devletlerinin sayısına eşit oy sayısı ile, oy kullanma hakkına sahiptirler. Bu teşkilatlar, eğer kendi Üye Devletlerinden herhangi birisi oy hakkını kullanmış ise oy hakkı kullanmayacak veya kullanmamış ise oy hakkını kullanabilecektir. Anlaşmada bir Taraf için yürürlüğe girdiği tarihten 3 yıl sonrasında itibaren söz konusu Taraf, yazılı bildirerek anlaşmadan çekilme hakkına sahiptir.

Gelişmekte olan ülke tarafları, somut bir yol haritasıyla emisyon azaltımı ve iklim değişikliği ile mücadele için, 2020 yılına kadar yıllık 100 milyar ABD dolarının finansmanı ortaklaşa sağlayacaklardır. Ormansızlaşma ve orman bozulmasından kaynaklanan emisyonların azaltılmasına yönelik politika yaklaşımlarının ve teşviklerin uygulanması için; gerekli mali kaynaklar önemlidir. Bu tür yaklaşımlarla ilişkili karbon dışı faydaların önemini yeniden teyit ederken; diğer fonların yanı sıra, Yeşil İklim Fonu (Green Climate Fund) gibi çok taraflı kaynaklardan ve Taraflar Konferansının ilgili kararlarına uygun olarak alternatif kaynaklardan gelen destek önemlidir.

Taraflar arası teknoloji transferi ve gelişim için; Teknoloji Mekanizması güçlendirilmeli ve Teknoloji Yürütme Komitesi ile İklim Teknolojisi Merkezi anlaşmanın uygulanması için destek vermelidir. Anlaşma yarıncı usuller, prosedürler ve kılavuzlara ilişkin tavsiyelerde bulunmak ve süreç değerlendirmeleri için taraflar en geç 2018'e kadar rapor vermelidir. Emisyon azaltım faaliyetlerine yönelik teşviklerin sağlanmasında iç politikalar ve karbon fiyatlandırması gibi araçlar önemlidir. Kyoto Protokolü'ne taraf olan ve henüz yükümlülükleri yerine getirmeyen tüm taraflar, Kyoto Protokolü'nü onaylamalı ve sera gazı emisyonu azaltım taahhütü vermelidir.

Paris İklim Anlaşması, Kyoto Protokolünden sonra imzalanan global bir sözleşme niteliğinde olması nedeniyle önem taşımaktadır. Önceki bölümde anlatıldığı üzere Kyoto Protokolü'nde sera gazı azaltım yükümlülüğü sadece gelişmiş ülkeleri kapsamaktadır. Ancak Kyoto Protokolünde en büyük kirleticiler olan ABD ve Çin yer almamaktadır. Paris İklim Anlaşması ise Birleşmiş Milletler çatısı altında hem gelişmiş hem de gelişmekte olan birçok ülkenin kabul ettiği bir anlaşmadır.

Anlaşmada özetle; tüm taraflar emisyon azaltımı konusunda yükümlülük almayı kabul etmişlerdir. Bu yükümlülük gelişmiş ülkelerin mutlak azaltım yapmasını; gelişmekte olan ülkelerin ise mevcut kapasitelerine göre bir azaltım yapmasını içermektedir. Aynı zamanda gelişmiş ülkelerin bu süreçte finansman sağlaması anlaşmanın önemli bir diğer maddesidir. Anlaşma ile birlikte sera gazı azaltımı için ilk kez karbon fiyatlaması politikası önerilmiştir.

1.2.11. Afet Riskinin Azaltılmasına İlişkin Sendai Çerçevesi (2015 – 2030)

Uluslararası alanda, iklim değişikliği ile mücadelede gerçekleştirilen eylemlerden bir tanesi 2015 yılında Sendai, Japonya'da BM üye devletleri ve çeşitli sivil toplum kuruluşlarının katılımı ile gerçekleşen BM Dünya Afet Riskinin Azaltılması Konferansıdır (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015: 9). Konferansta imzalanan Sendai Anlaşmasında, birçoğu iklim değişikliği nedeniyle daha da kötüleşen ve afetlerin, sürdürülebilir kalkınmayı olumsuz yönde etkilemesi üzerinde durulmaktadır. Bu çerçevede anlaşma iklim değişikliğini küresel bir afet olarak değerlendirerek, 2030'a kadar doğayı korumak ve afetlerin getirdiği riskleri en aza indirmek için bir ajanda niteliğindedir.

Anlaşmada iklim değişikliği ve çevrenin korunması ile ilintili, görüşülen ve karar birliğine varılan konular özet olarak aşağıdaki gibidir (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015: 9-37);

(1) Afet riskini anlamak, (2) afet riskini yönetmek için afet riski yönetişiminin güçlendirilmesi, (3) dayanıklılık için afet riskinin azaltılmasına yatırım yapmak, (4) daha iyiyi inşa etmek olmak üzere 4 öncelikli alanda yerel, ulusal ve küresel düzeyde devletlerin sektörler arasında odaklanmış eylemlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik, sürdürülebilir kalkınma, çevre, tarım, sağlık, gıda ve beslenme ve diğerleri gibi afet riskinin azaltılmasıyla ilgili araç ve araçların uygulanması ve tutarlılığı için küresel iş birliği hâlinde olunmalıdır. Gelişmekte olan ülkeleri desteklemek amacıyla BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Taraflar Konferansı, küresel ve bölgesel düzeydeki uluslararası finans kuruluşları ve Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Hareketi gibi örgütler ve anlaşma organları koordinasyon halinde olmalıdır.

1.2.12. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 26. Taraflar Konferansı (2021)

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 26. Taraflar Konferansı (The Conference of the Parties- COP26), Glaskow, İskoçya’da hükümet temsilcileri, akademisyenler, hükümet dışı kuruluşlar ve benzeri aktörlerin katılımı ile 2021’de gerçekleşmiştir. Paris İklim Konferansı’ndan sonra, iklim değişikliği için toplanılan uluslararası ilk konferanstır. Müzakereler 2 hafta sürmüştür ve 200 ülkenin Glaskow İklim Paketi’ni imzalaması ile sona ermiştir.

Konferansta iklim değişikliğinin halihazırda birçok kayıp ve hasara neden olduğu, daha fazla soruna yol açacağı, sıcaklıklar arttıkça iklim ve aşırı hava koşullarından kaynaklanan etkilerin daha büyük bir sosyal, ekonomik ve çevresel tehdit oluşturacağı vurgulanmaktadır. Bu çerçevede konferansta iklim değişikliği ile mücadele, sera gazı azaltımı, adaptasyon, finans ve iş birliği olmak üzere dört temel hedefe odaklanılmıştır. İklim değişikliği ile mücadelenin, kararlılığın artırılması ve tarafların önceden verdiği taahhütleri yerine getirmesi vurgulanmıştır. Konferans sonucu yayımlanan sözleşmenin ana maddeleri özetle aşağıdaki gibidir (UNFCCC, 2021: 1-8);

İlke 1-66: Sözleşmenin nihai hedefi ile uzun vadeli küresel hedefine yönelik mevcut çabalar ve hedefe yönelik eylemler arasındaki boşlukları ele almak için, bu kritik on yılda (2030’a kadar) adaptasyon ve finansmana ilişkin eylemin artırılmasının aciliyeti vurgulanmaktadır. Gelişmekte olan ülke tarafların ihtiyaçlarının ve önceliklerinin karşılanmasında, iklim finansmanına erişimin en üst düzeye çıkarılmasında etkili ve tutarlı bir iklim finansmanı ortamının önemlidir. İklim değişikliğinin etkilerinin, 1,5 °C’lik sıcaklık artışında, 2 °C’ye kıyasla çok daha düşük olacağı kabul edilmekte ve bu nedenle sıcaklık artışını 1,5 °C ile sınırlamak için çaba göstermelidir. Küresel ısınmanın 1,5 °C ile sınırlandırılmasının, küresel karbondioksit emisyonlarının 2030 yılına kadar 2010 düzeyine göre %45

oranında azaltılması ve yüzyılın ortasında net sıfır²⁶ indirilmesi de dahil olmak üzere, küresel sera gazı emisyonlarında hızlı ve sürekli azalmalar gerekliliği kabul edilmektedir. Bu nedenle Taraflar, 2030 yılına kadar metan da dahil olmak üzere karbondioksit dışındaki sera gazı emisyonlarını da azaltmak için daha fazla eylem planı geliştirmelidir. Taraflar, düşük emisyonlu enerji sistemlerine geçiş için teknolojileri geliştirmeli, yaygınlaştırılmalı ve bu politikaların benimsenmesini hızlandırmalı, temiz enerji üretimi ve enerji verimliliği önlemlerini yaygınlaştırmalıdır. Sözleşmeye taraf gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülke tarafların ihtiyaçlarını karşılamak üzere 2020 yılına kadar yılda 100 milyar ABD Dolar verme sözlerini yerine getirmelidirler. Mali Mekanizmanın faaliyet gösteren birimleri, çok taraflı kalkınma bankaları ve diğer finansal kurumlar, iklim eylemine yönelik yatırımları artırmalıdır.

Gelişmekte olan ülkeler, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı savunmasızdır. Bu ülkelerde ilişkili kayıp ve zararların önlenmesi, en aza indirilmesi için finansman, teknoloji transferi ve kapasite geliştirme dahil olmak üzere gerekli destekler acil olarak sağlanmalıdır. Bugüne kadarki iklim değişikliği ile ilgili yapılan anlaşmalarda taahhütlerini yerine getirmeyen ülkeler, mümkün olan en kısa sürede eylem planlarını harekete geçirmelidirler.

Taraflar, düşük sera gazı emisyonu ve iklime dirençli kalkınmaya yönelik tutarlı finansal akışlar sağlanmasını mümkün kılan; sürdürülebilir kalkınmayı, yoksulluğun ortadan kaldırılmasını, insana yakışır iş ve kaliteli işlerin yaratılmasını teşvik eden adil geçişlerin sağlanması kabul etmelidir. Sözleşmenin amacına ve Paris Anlaşmasının hedeflerine katkıda bulunmak amacıyla toplumun, sektörlerin ve bölgelerin tüm aktörleri arasında teknolojik ilerleme dahil olmak üzere yenilikçi iklim eylemi konusunda uluslararası iş birliği önemlidir. İklim değişikliğine karşı eylemlerde yerli halkların ve yerel toplulukların bilgilerinin önemli rolü bulunmaktadır. Bu nedenle tüm taraflar, iklim eyleminin tasarlanması ve uygulanmasında yerli halk ve yerel toplulukları aktif olarak dahil etmelidir.

Özetle değerlendirilecek olursa 26. Taraflar Konferansı; Paris Anlaşması'nın uygulanmasına ve iklim değişikliği ile mücadelenin kararlılığın artırılmasına odaklanmaktadır. 26. Taraflar Konferansı, Paris İklim Anlaşması'ndan sonra, gelişmelerin değerlendirildiği ilk zirve olması açısından önem taşımaktadır. 2021'e kadar iklim değişikliği ile ilgili verilen taahhütlerin ne kadarının gerçekleştirildiği değerlendirilerek, 2030 hedeflerine ulaşmak için kararlaştırılan eylemlerin üzerinden geçilmektedir.

1.2.13. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği 27. Taraflar Konferansı (2022)

Uluslararası çapta iklim değişikliği ile mücadele için yapılan bir diğer organizasyon, Kasım 2022'de Mısır'da gerçekleşen 27. Taraflar Konferansı'dır. Konferansa 194 ülkeden 40 binin üzerinde katılımcı, 100'den fazla siyasetçi katılım sağlamıştır. Ana hatları ile konferansta, tarafların iklim

²⁶ **Net sıfır:** Net sıfır, bazı sektörlerin başka yerlerdeki negatif emisyonlarla dengelenmesi halinde hala pozitif miktarlarda emisyon salabileceği anlamına gelmektedir (International Money Fund, 2022: 10).

değişikliğinin etkilerinden kaçınmak için küresel ortalama sıcaklık artışı sınırlama hedefi tekrarlanarak, bugüne kadar gerçekleştirilen eylemlerin gözden geçirilmiştir. Konferansın kazanımlarından biri; iklim değişikliğinden adaletsiz bir şekilde etkilenen ülkelerin zararlarının, tazmin edilmesi için Kayıp ve Zarar Fonu'nun kurulmasının kararlaştırılması kabul edilmektedir. Konferansta anlaşmaya varılan Şarm El-Şeyh Uygulama Planı'nı özet olarak aşağıdaki gibidir (UNFCCC, 2022: 1-10);

İlke 1-55: Sıcaklık artışını 1,5 °C ile sınırlamak için daha fazla çaba gösterilmelidir. Kyoto Protokolünün ve Paris Anlaşmasının ilke ve hedefleri doğrultusunda düşük emisyonlu ve iklime dayanıklı kalkınmaya yönelik adil, eşitlikçi ve kapsayıcı geçişleri uygulamaya kararlılık devam etmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliğine yönelik eylemlerini desteklemede, Az Gelişmiş Ülkeler Fonu ve Özel İklim Değişikliği Fonu'nun rolü önemlidir. Bu 2 fona verilen katkılar artırılmalıdır.

IPCC'nin 6. Değerlendirme Raporu'na göre; iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden kaynaklanan kayıp ve hasarlar tüm bölgelerde artmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerdeki kayıp ve hasarlarla ilişkili önemli mali maliyetler, ülkelerin borç yükünün artmasına ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin gerçekleştirilmesine zarar vermektedir. Bu nedenle, Taraflar Konferansı kapsamında, bu kayıp ve zararların ele alınmasına odaklanılması, iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle bağlantılı kayıp ve hasara yanıt veren finansman düzenlemelerinin ilk kez değerlendirilmesi önemlidir.

2050'ye kadar net sıfır emisyonu ulaşabilmek için, 2030 yılına kadar yenilenebilir enerjiye yılda yaklaşık 4 trilyon ABD doları yatırım yapılması gerekmektedir. Bu tür bir finansmanın sağlanması; finansal sistemin yapılarının dönüştürülmesini, hükümetlerin, merkez bankalarının, ticari bankaların, kurumsal yatırımcıların ve diğer finansal aktörlerin katılımını gerektirmektedir. Gelişmiş ülke Tarafların, Paris İklim anlaşmasında taahhüt verdikleri, yılda 100 milyar ABD Dolarını ortaklaşa harekete geçirme hedefinin yerine getirilmemesi yeniden vurgulanmaktadır. Ve taraflara taahhütün yerine getirilmesi için yeniden çağrıda bulunmaktadır.

Teknoloji Yürütme Komitesi ile İklim Teknolojisi Merkezi ve Ağı, Paris Anlaşması hedeflerine ulaşmak için, gereken değişimi kolaylaştıracak ilk ortak çalışma programı (2023-2027) uygulanacaktır.

Gelişmekte olan ülkelerde kapasite boşlukları mevcuttur. Gelişmiş ülke tarafları, sürdürülebilirliği artırmak için uzun vadeli kapasite geliştirme için, gelişmekte olan taraflara destek sağlamalıdır. Ve sözleşme kapsamındaki uzun vadeli küresel hedefler periyodik olarak gözden geçirilmelidir. Gelişmekte olan ülke taraflara, yeterli desteğin sağlanması için gelişmiş ülke tarafları, ulusal koşullara uygun olarak ve bu sözleşmenin nihai hedefiyle tutarlı olarak orman örtüsünü ve karbon kaybını yavaşlatacaktır.

Yerel topluluklar, gençler ve çocuklar da dahil olmak üzere sivil toplumun iklim değişikliğini ele alma ve ona yanıt verme konusundaki rolü büyüktür. Bu bağlamda çok düzeyli ve işbirlikçi eylemlere tam katılım sağlanmalıdır. İklim değişikliğini ele alma ve ona yanıt verme konusunda çocuklar ve gençler değişimin aktörleridir. Sözleşmeye taraf tüm ülkeler, nesiller arası eşitliğin önemini bilincinde olarak ve gelecek nesiller için iklim sisteminin istikrarını koruyarak, çocukları ve gençleri iklim politikası ve eylemini tasarlamaya ve uygulama süreçlerine dahil etmelidir.

Özetle BM İklim 27. Değişikliği 27. Taraflar Konferansı; yüksek katılımın sağlanması ve iklim değişikliği ile mücadelede uluslararası kararlılığın sürdürüldüğünün göstergesi olması, nedeniyle önem taşımaktadır. Konferansta alınan bir diğer karar; Kayıp ve Zarar Fonu kurulması ise iklim değişikliğine neden olan gazları atmosfere salan gelişmiş ülkelerin faaliyetlerini bağlayıcı nitelikte olup bir diğer önemli kazanımdır. Fona 720 milyon ABD doları toplanmıştır. Nitekim Pakistan İklim Bakanı Sherry Rehman alınan bu kararı, “İklim adaleti için ilk adım” olarak değerlendirmektedir.

1.2.14. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği 28. Taraflar Konferansı (2023)

Uluslararası çapta iklim değişikliği ile mücadele için yapılan bir diğer organizasyon, Kasım-Aralık 2023'te Dubai'de gerçekleşen 28. Taraflar Konferansı'dır. Konferans, küresel ısınmayı 1,5°C ile sınırlamayı amaçlayan Paris Anlaşması'na karşı kolektif ilerlemeyi ölçen ilk BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Küresel Durum Değerlendirmesi'ni sunduğu için önem taşımaktadır. Konferansta 2023 yılı boyunca yapılan çalışmalar, Küresel İklim Eylemi 2023 Yıllığı aracılığıyla rapor edilmiştir. Tüm raporlar oluşturulan Küresel İklim Eylem Portalı'nda (*Global Climate Action Portal*) yayınlanmaktadır. Konferansta anlaşmaya varılan maddeler özet olarak aşağıdaki gibidir (UNFCCC, 2023: 1-9);

Madde 1-56: Sıcaklık seviyesini 1.5 santigrat derece ile sınırlamanın anahtarı; enerji sistemini karbondan arındırmaktır. Bu, temiz enerjiye geçişin hem talep hem de arz açısından hızlandırılmasını gerektirirken, bu dönüşümün düzenli, adil olması ve aynı zamanda enerji güvenliğini de hesaba katmasını gerektirmektedir. Enerji geçişini hızlandırmak için COP 28 Başkanlığı, Küresel Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Taahhüdünü başlatmaktadır. 130 hükümetin onayıyla (11 Aralık 2023 itibarıyla) Taahhüt; katılımcıların dünyanın kurulu yenilenebilir enerji üretim kapasitesini 2030 yılına kadar üç katına ve en az 11.000 GW'a çıkarmayı hedeflemektedir. Küresel ortalama yıllık enerji verimliliği iyileştirme oranını 2030'a kadar her yıl yaklaşık %2'den %4'ün üzerine toplu olarak ikiye çıkarmak için ülkeler birlikte çalışmayı taahhüt etmektedirler.

Konferans Başkanlığı hem taraflar hem de taraf olmayan paydaşlarla birlikte çalışarak, sektörel emisyonların azaltılmasına yönelik iş birliğine odaklanan girişimlerin başlatılmasına öncülük etmektedir. Konferansta, tüm sektörlerde soğutmayla ilgili emisyonları 2050 yılına kadar 2022

seviyelerine göre küresel olarak en az %68 azaltmak amacıyla Küresel Soğutma Taahhüdü imzalanmıştır.

28 Taraflar Konferansı Başkanlığı tarafından yürütülen çalışmalara ek olarak, enerji geçişlerine ilişkin küresel iklim eylemi gündeminde çok paydaşlı iş birliğini gösteren duyurular yapılmıştır. Kömürü Geçmiş Enerji İttifakı (*The Powering Past Coal Alliance*), kömürle çalışan enerji üretiminden temiz enerjiye geçişi hızlandırmak için, birçok hükümetin İttifak'a eklendiğini duyurmuştur. Fransa, diğer ülkeler ve kuruluşlarla birlikte, kömürden temiz enerjiye geçişi kolaylaştırmak için, yeni kamu ve özel finansman kaynaklarını hızlandırmayı amaçlayan Kömür Geçişini Hızlandırıcıyı (*Coal Transition Accelerator*) başlatmıştır.

Nükleer enerji kapasitesinin küresel olarak 2050 yılına kadar üç katına çıkarılması hedefini ortaya koyan ve uluslararası finans kuruluşlarının hissedarlarını nükleer enerjinin enerji kredi politikalarına dahil edilmesini teşvik etmeye davet eden, yeni başlatılan Üçlü Nükleer Enerji Bildirgesi (*Declaration to Triple Nuclear Energy*) 22 hükümet tarafından onaylanmıştır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) ile birlikte küresel kamu hizmeti şirketleri ve enerji şirketleri dahil olmak üzere 31 paydaş, temiz enerji dağıtımını ilerletme konusunda ortak bir taahhüt için bir araya geldiği Sıfır için Kamu Hizmetleri İttifakını (*Utilities for Zero Alliance*) başlatmıştır. 2030 hedeflerine paralel olarak, petrol ve gaz sektöründe metanın azaltılması için yeni çalışmalar başlatılmıştır. Latin Amerika ve Karayipler Yenilenebilir Enerji Merkezine dahil olan ülkeler, toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerji hedefini 2030 yılına kadar %70'ten %80'e çıkarmıştır.

Konferansta katılımcılar, Yeşil İklim Fonu, Uyum Fonu, En Az Gelişmiş Ülkeler Fonu ve Özel İklim Değişikliği Fonu dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere alanlara yönelik iklim finansmanı taahhütlerini bildirmişlerdir. Uluslararası finansal mimarinin reformuna ilişkin belirtilen ihtiyaçlara yanıt vermek amacıyla, çok taraflı kalkınma bankaları, Yeşil İklim Fonu ve Küresel Çevre Fonu gibi uluslararası kuruluşlar, Doğa ve İklim için Sürdürülebilirlik Bağlantılı Devlet Finansmanının Kredi Arttırılması hakkında Ortak Deklarasyonu ve Görev Gücünü onaylamıştır.

Dünya Bankası, BM ve diğer çok taraflı kalkınma bankaları, Uluslararası Para Fonu, Uluslararası Sürdürülebilirlik Standartları Kurulu, Finansal Sistemi Yeşillendirme Ağı, Glasgow Finansal İttifakı gibi kuruluşların katılımıyla desteklenen Net Sıfır için Glasgow Mali İttifakı kurulmuştur. İttifak, gelişmekte olan ekonomilerdeki finansal kurumlara yönelik iklim finansmanı teknik yardım programlarının kullanılabilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. İttifak finansal kuruluşların net sıfır taahhütlerini eyleme dönüştürmek için gereken araçları ve metodolojileri geliştirmek için çalışmaktadır. İttifak tarafından desteklenen sekiz ihracat kredi kuruluşu, Oxford Üniversitesi Yenilik ve Bilgi Merkezi, İklim İşbirliğinin Geleceği (*Future of Climate Cooperation*) ve BM Çevre Programı Finans

Girişimi (*UN Environment Programme Finance Initiative*) ortaklığıyla, BM tarafından toplanan Net-Sıfır İhracat Kredi Kuruluşları İttifakını (*Net-Zero Export Credit Agencies Alliance*) başlatmıştır.

Rekor kıran sıcaklık ve iklimin neden olduğu felaketler, tüm aktörlerin özellikle savunmasız topluluklarda uyum sağlama ve dayanıklılık oluşturma eylemlerini artırma gereksinimini gerektirmektedir. 27. Tarafalar Konferansında başlatılan Şarm El-Şeyh Uyum Gündemi bu gereksinimi hızlandıran eylemler yapmıştır. Gündem, dört milyar insanın dayanıklılığını artırmak için 2030 yılına kadar acilen ihtiyaç duyulan 30'dan fazla küresel uyum sonuç hedefini sunmaktadır. Etki sistemlerine karşılık gelen Yönlendirme Komitesi (*Steering Committee*) 2023'te kurulmuştur. 28. Taraflar Konferansı ile sonuçlanacak ilk Küresel Durum Değerlendirmesi ile Paris Anlaşması kapsamında iklim eylemiyle ilgili yeni beş yıllık döngü başlayacaktır. 2030 İklim Çözümleri: Uygulama Yol Haritası derlenmiştir. 2030 yılına kadar küresel emisyonları yarıya indirmek, uyum boşluklarını gidermek, savunmasız grup ve topluluklardan dört milyar insanın iklim risklerine karşı direncini artırmak için gereken etkili önlemlerin yanı sıra mevcut boşlukların kapatılması gerekmektedir.

Özetle bildirgenin 4. Maddesinde de yer aldığı üzere 28. Taraflar Konferansı Başkanlığı, ülkeleri ve önemli iklim paydaşlarını aşağıdaki dört konu özelinde aksiyon almaları için teşvik etmektedir;

- Temiz enerji alanındaki gelişmeleri hızlandırmak,
- İklim finansmanını düzeltmek,
- Doğaya, insanlara, yaşamlara ve geçim kaynaklarına odaklanmak ve
- Tam katılım sağlamak.

1.2.15. Küresel İklim Değişikliğinin Finansmanı

İklim değişikliği ile ilgili uluslararası müzakere ve iş birlikleri bölümünde anlatıldığı üzere; küresel iklim değişikliğinin oluşturacağı tehlikeleri önlemek için, uluslararası alanda birçok toplantı, protokol, anlaşma gibi çeşitli eylem planları gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede ele alınan önemli konulardan bir tanesi iklim değişikliğini önlemek ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini tanzim etmek, iklim değişikliğine yönelik eylemleri desteklemek için gerekli finansman desteğinin sağlanmasıdır.

İklim finansmanı, düşük karbonlu küresel ekonomiye geçiş için gerekli olan yatırımları ve değişiklikten en çok etkilenen gelişmekte olan ülkeleri desteklemek için kritik bir öneme sahiptir. İklim finansmanına örnek olarak çok taraflı fonlar tarafından sağlanan hibeler, finans kurumlarından alınan piyasa bazlı ve imtiyazlı krediler, ulusal hükümetler tarafından ihraç edilen devlet yeşil tahvilleri ve karbon ticareti ve karbon vergileri aracılığıyla harekete geçirilen kaynaklar gösterilebilir. Tablo 2'de çalışma kapsamında incelenen konferanslarda, iklim değişikliği finansmanı için oluşturulan kuruluş ve fon bilgileri özet olarak gösterilmektedir.

Tablo 2: Küresel İklim Değişikliğinin Finansmanı

Konferans	Yıl	Alınan Karar/Oluşturulan Fon	Hedeflenen Tutar
Stockholm Konferansı	1972	Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) – Çevre Fonu	Devletlerden gelen gönüllü yardımlar toplanmaktadır.
Kyoto Protokolü	1997	Uyum Fonu	100 milyar ABD \$
Kopenhag Taraflar Konferansı	2009	Kopenhag Yeşil İklim Fonu	- 2010-2012 dönemi için; 30 milyar ABD\$ -2020 yılına kadar; yılda 100 milyar ABD \$
Paris İklim Anlaşması	2015	Yeşil İklim Fonu'na destek sağlanması kararlaştırılmıştır.	2020 yılına kadar yıllık 100 milyar ABD\$ toplanması kararlaştırılmıştır.
BM İklim Değişikliği 16. Taraflar Konferansı	2010	Daîmi Finans Komitesi, Yeşil İklim fonu	Devletlerden gelen gönüllü yardımlar toplanmaktadır. Yeşil İklim fonu ile 30 milyar ABD\$ toplanmasına karar verilmiştir.
BM İklim Değişikliği 27. Taraflar Konferansı	2022	Kayıp Zarar Fonu kurulması kararlaştırıldı.	525 milyon ABD\$
BM İklim Değişikliği 28. Taraflar Konferansı	2023	Kayıp Zarar Fonu kuruldu. Net Sıfır için Glasgow Mali İttifakı kuruldu.	665 milyon ABD\$

Kaynak: İklim değişikliği ile ilgili uluslararası müzakere ve iş birlikleri bölümünden derlenerek oluşturulmuştur.

2. ÇEVRE VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

Doğal kaynakların ve yaşamamızın sürdürülebilirliğe ulaşmasının önündeki ana engellerden biri, dünyanın biyofiziksel sınırlarıdır. Ancak yüzyıllardır doğal kaynakların yanlış ve aşırı tüketilmesi devam etmektedir. Özellikle Sanayi Devrimi'nden itibaren doğal kaynaklar giderek azalırken; ekonomik faaliyetler genişlemeye devam etmiştir. Bu nedenle, insanlığın talebinin dünyanın doğal sermayesinin karşılayabileceği sınırları aşma veya bu sınırlar içinde kalma derecesini belirlemek için erken uyarı işaretlerini tespit etmek önem arz etmektedir. İnsan kaynaklı küresel ısınmanın etkilerini tahmin etmek için ilgili araçların kullanılması ve analiz edilmesi gerekmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde çevrenin korunmasının önemine istinaden çevre, çevrenin sürdürülebilirliği ve iklim değişikliği ile ilgili kavramlara yer verilecektir. Önce çevre ve sürdürülebilirlik kavramları ele alınacak, daha sonra çevre tahribatının/kirliliğinin çeşitleri, ekosisteme olası etkileri incelenecektir. Ardından çevresel kirliliğin neden olduğu ve çalışmanın temel konusu olan iklim değişikliği açıklanacaktır. İklim değişikliğine neden olan faktörler ve iklim değişikliğinin küresel etkileri açıklandıktan sonra çevre ekonomi politikaları ilişkisi açıklanacaktır.

2.1. Çevre ve Sürdürülebilirlik

Birbirini etkileyen tüm canlı ve cansız faktörleri içeren çevre; bir organizmanın yaşamını, gelişimini ve hayatta kalmasını etkileyen tüm dış koşulların toplamı olarak tanımlanmaktadır (Maunder, 1992: 85; United Nations, 1997: 28). Çevrenin biricikliği, onun sürdürülebilir olmasını gerekli kılmaktadır.

Çevresel sürdürülebilirlik ve çevresel sınırlarımızda yaşamak ise sürdürülebilir kalkınmanın temel ilkelerinden biridir. Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için çevresel koruma, sürecin ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın ne olduğuna dair birçok farklı yorum getirilmekle beraber, tanım ilk kez Stockholm Konferansı'nda 'Ortak Geleceğimiz' adlı raporda tanımlanmıştır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2002). Bu tanıma göre sürdürülebilir kalkınma: "*Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma*" dır (United Nations, 1987: 15).

Ancak sürdürülebilir kalkınmanın odak noktası, çevreden çok daha geniştir. Sürdürülebilir kalkınmanın toplum, çevre, kültür ve ekonomi olmak üzere birbiri ile iç içe 4 paradigması vardır. Birleşmiş Milletler'in, hedeflerine göre sürdürülebilirlik; aynı zamanda güçlü, sağlıklı ve adil bir toplumla da ilgilidir. Bu hedef hem mevcut hem de gelecekteki topluluklarda, tüm insanların farklı ihtiyaçlarını karşılayan, refahı, sosyal uyumu ve eşit fırsat koşullarını inşa etmek anlamına gelmektedir.

Birleşmiş Milletler 2015 yılında, 193 ülke tarafından kabul edilen 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündem’inde 17 sürdürülebilir kalkınma hedefini yayınlanmıştır. Hedefler özünde, daha adil, daha eşitlikçi, barışçıl, ekolojik ve barışçıl bir gelecek için BM vizyonunu ortaya koymaktadır. Bu hedefler Şekil 1’de gösterilmektedir;

Şekil 1: Birleşmiş Milletler 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları

Sıfır Yoksulluk	Sıfır Açlık	Sağlık ve Kaliteli Yaşam
Erişilebilir ve Temiz Enerji	İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme	Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı
İklim Eylemi	Sudaki Yaşam	Karasal Yaşam
Sorumlu Üretim ve Tüketim	Temiz Su ve Sanitasyon	Toplumsal Cinsiyet Eşitliği
Amaçlar İçin Ortaklıklar	Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar	Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar
Eşitsizliklerin Azaltılması	Nitelikli Eğitim	

Kaynak: United Nations, <https://sdgs.un.org/goals> (Erişim: 03.06.2022).

Çevre sorunlarında sürdürülebilirlik yaklaşımında ülkeler tarafından uygulanması gereken temel ilkelere ilişkin birçok sınıflandırılma bulunmaktadır. Uluslararası kuruluşlar, çevre politikaları ve akademik çalışmalar incelendiğinde, çevresel koruma ilkesi için ortak sınıflandırma; kirlenen öder ilkesi ve ihtiyat ilkesidir. Sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu ele alan ilkeler ise; nesiller arası adalet ilkesi, katılım ilkesi ve insan hakları ilkesidir (Beder, 2006: 12-105).

2.1.1. Çevresel Koruma İlkeleri

Sürdürülebilirliğin çevresel koruma ilkeleri; kirlenen öder ilkesi ve önceden önleme ilkesidir.

- **Kirlenen Öder İlkesi:** Çevre kirliliğinin önüne geçmek için öne sürülen ilkelerden bir tanesi olan kirlenen öder ilkesi ilk kez 1972 yılında OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) tarafından kabul edilmiştir. Literatürde genişletilmiş üretici sorumluluğu olarak da bilinmektedir. Bu ilke kirleticinin, topluma verilen zararın boyutuna veya kabul edilebilir kirlilik düzeyinin aşılmasına göre, kirliliğin azaltılmasına yönelik önlemlerin maliyetini üstlenmesi gerektiğini ifade etmektedir (United Nations, 1997: 58). İlke 1992’de düzenlenen Rio Konferansı’nda bildirge olarak yayınlanan Rio Deklarasyonu’nda 16. maddede bir kez daha vurgulanmıştır. Devletler, kendi kontrollerindeki faaliyetlerin, diğer devletlerin veya ulusal sınırlarının ötesindeki alanların çevresine zarar vermemesini sağlamaktan sorumludur (Soto, 1996: 202). Çevreyi kirlenen taraf, haksız davranışını durdurmalı ve haksız davranıştan önceki durumu yeniden tesis etmelidir. Önceden var olan durumu yeniden oluşturmak mümkün değilse, çevreye zarar veren taraf tazminat vermelidir. Ekonomik açıdan bu,

“negatif çevresel dışsallıkların” içselleştirilmesini oluşturmaktadır. Kirliliğin yarattığı maliyetler, vergi mükellefine değil, kirleticilere yüklenmektedir. Bu ilke ile aynı zamanda kirleticilerin, çevreye zarar vermesini önlemeye çalışılmaktadır.

Kirleten öder ilkesi, kullanan öder ilkesini kapsamaktadır. Kullanan öder ilkesi, doğal bir kaynağın kullanıcılarını doğal sermayenin tükenme maliyetini üstlenmeye çağıran kirleten-öder ilkesinin bir çeşididir (United Nations, 1997: 75). Bu ilkeye göre kirlilik maliyeti, taraflar arasında kullanım oranlarına göre paylaştırılmaktadır. Doğal kaynaklarının irrasyonel kullanılmasının ve israfın önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

- **Önceden Önleme (İhtiyat) İlkesi:** Önceden önleme ilkesi ilk olarak 1970'lerde Almanya'da çevre hukuku ile ilgili tartışmalar esnasında önerilmiştir. Bilimsel, somut tehlikelerin henüz ortaya çıkmadan çevre ile dost teknolojiler ile önlenmesini sağlayan politika ve hukukun geliştirilmesi gerektiğini benimseyen ilkedir (Routledge Handbooks, 2012: 46). İlkenin ortaya çıkmasının başlıca nedeni belirsizliktir. İnsan davranışının sonuçlarıyla ilgili belirsizlikler her zaman var olsa da insan faaliyetlerinin artan kapsamı, karmaşıklığı ve çevreye etkisinin tehlikeli sonuçları nedeniyle son zamanlarda daha önemli hale gelmiştir (Beder, 2006: 47).

Bu doğrultuda herhangi bir faaliyetin çevrede olumsuz etkiler yaratacağı tespit edilemiyorsa ancak bu konuda bir endişe varsa, bu faaliyetin engellenmesi ve potansiyel zararlı etkilerinin ortadan kaldırılması için önlemlerin alınması gerekliliğini benimsemektedir. Bir çevresel sorunu ortaya çıkmadan elimine etmek, o sorunun tahribatını iyileştirmekten daha iyidir prensibidir (Soto, 1996: 200-201). İlkenin başlıca uygulama araçları; yasaklama, şartlı koşullarla izin, belirlenen üretim yöntemi ve teknolojilerin kullanım zorunluğu ve bir olumsuzluk durumunda ispat yükünün faaliyet/proje sahibine ait olmasıdır (Güneş, 2015: 17). Bu ilkenin gerçekleşmesi için, uluslararası çapta, kirleticilerin girişini engelleyen hukuki anlaşmalar düzenlenmiştir.

2.1.2. Sürdürülebilirliğin Sosyal İlkeleri

Sürdürülebilirliğin sosyal ilkeleri; nesiller arası adalet ilkesi, ortak fakat farklı sorumluluk ilkesi ve insan hakları ilkesidir.

- **Nesiller Arası Adalet İlkesi:** Nesiller arası adalet bugün yaşayanların, gelecek nesillere açık olan fırsatlardan ödün vermemesi veya kısıtlamaması gerekliliği kavramıdır (Gilpin, 1999: 97). Birleşmiş Milletler, Brundtland Raporu'nda, tanımladığı sürdürülebilir kalkınma temeline istinaden nesiller arası adalet gözetilerek sürdürülebilirlik koşulu geliştirilmektedir. Bu ilke aynı zamanda insanlığın bilinçli var olmasını temsil etmektedir. Gelecek nesillerin varlıklarının temel gerekliliklerini

sağlamak, insanın yeryüzündeki varlığını korumaya yöneliktir. Bu ilke salt çevre ve insan ile ilintili olmayan aynı zamanda insanın, diğer tüm canlıların ve kültürel mirasların²⁷ her alanda çıkarlarını kapsayan genel bir ilke niteliğindedir (Routledge Handbooks, 2012: 56). Örneğin nesli tükenmekte olan canlılar ya da kültürel ve doğal mirası koruma da bu ilkenin kapsamı içerisinde yer almaktadır.

- **Ortak Fakat Farklı Sorumluluk (Katılım) İlkesi:** Ortak fakat farklı sorumluluk ilkesi, 1992’de Rio Deklarasyonu Bildirgesi’nde oluşturulmuştur. Konferansta çıkarılan BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinde iklim değişikliğinin "*insanlığın ortak kaygısı*" olarak nitelendirilmesi gerekliliği vurgulanmaktadır (UNEP, 1992: 4). Bu ilkeye göre çevrenin korunması; tüm bireylerin, tüm ülkelerin ortak sorun ve sorumluluğudur. Ancak sorumluluğu paylaşma aşamasında, bazı ülkelerin gelişim düzeyi göz önünde bulundurularak, koruma yükünün daha fazlasını taşıması gerekmektedir (UNEP, 1992: 7). Bu ilkede aynı zamanda sanayileşmede gelişimlerini tamamlayan ülkelerin, çevreyi daha fazla kirlettiği düşüncesi göz önünde bulundurulmaktadır. Diğer bir deyişle çevrenin kirlenmesine neden olan tarafın sanayileşmiş ülkeler olduğuna atıf yapılmaktadır.

- **İnsan Hakları İlkesi:** İnsan doğanın bir parçasıdır ve insan hakları, içinde yaşadığımız çevre ile iç içedir. Çevreye verilen zarar insan haklarından yararlanmaya müdahale ederken; insan haklarının kullanılması çevrenin korunmasına ve sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesine yardımcı olur (Knox, 2018: 5). Temiz bir çevreye sahip olmak diğer canlılarla beraber tüm insanların temel haklarından biridir. İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi’nde (1948) yer alan eşitlik hakkı, çevresel kaynaklara eşit erişim ve bunların korunması hakkı olarak yorumlanabilir (Beder, 2006: 101).

2.2. Çevre Kirliliği Türleri ve Sonuçları

Çevresel kirlilik, ekolojik sisteme ve canlı kaynaklara negatif değişime neden olan kirleticilerin, doğal çevreye girmesi olarak tanımlanabilmektedir (United Nations, 1997: 28). İnsan faaliyetleri doğrudan veya dolaylı olarak çevreyi olumsuz etkilemektedir. Hızlı nüfus artışı, plansız kentleşme, sanayileşme, ekonomik gelişme, doğal kaynakların bilinçsiz tüketimi ve tahribatı çevre kirliliğini oluşturan başlıca nedenlerdir.

Çevresel kirlilik, kirliliğin kaynağı, kirletici türleri veya etkilerine göre farklı yollarla sınıflandırılmaktadır (Speth, 1988: 263). Literatürde çevresel kirlilik tanımlarında öne çıkan; hava, su ve toprak kirliliğe maruz bırakılan çevresel faktörler olarak ifade edildiği için çevresel kirlilik türleri de

²⁷ **Bkz:** 1972’de imzalanan World Heritage Convention (Dünya Kültürel Mirası Sözleşmesi), tarafların 'kültürel ve doğal mirasın korunması, muhafaza edilmesi, sunulması ve gelecek nesillere aktarılması' konusunu 4. maddede onaylamışlardır.

bu ana başlıklar altında sınıflandırılmaktadır. Çalışmada, çevreyi ve canlı sağlığını olumsuz etkileyen gürültü kirliliği, çağımızın yeni sorunu hâline gelen elektromanyetik kirlilik (teknolojik) ve Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer Silahlar da bu sınıflandırmaya dahil edilecektir.

2.2.1. Hava Kirliliği

İklim değişikliği ile yakından ilgili olan hava kirliliği, atmosferin doğal özelliklerini değiştiren; istenmeyen herhangi bir kimyasal, fiziksel veya biyolojik kaynak tarafından kirlenmesi olarak ifade edilmektedir (United Nations, 1997: 4; Gilpin, 1976: 4). Hava kirliliği kaynakları aynı zamanda iklimi değiştiren kirleticileri ürettiği için, hava kirliliği derecesi sürdürülebilir kalkınmanın bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (WHO, 2016: 15).

Ev tipi yanma cihazlar, motorlu araçlar, fosil yakıt kullanımı, endüstriyel tesisler ve orman yangınları hava kirliliğine neden olan başlıca kaynaklardır (Maunder, 1992: 9; UNEP, 2018: 5). Özellikle Sanayi Devrimi ile birlikte, artan enerji talebi büyük oranda fosil yakıtların kullanımını artırmıştır. Hava kirliliğini araştıran çalışmalar ve dönemin birçok yayını, bu dönem itibarı ile hava kirliliğinin önemli ölçüde arttığı bulgusuna ulaşmıştır (Bailey, Hatton& Inwood, 2018: 1213). Özellikle çalışmalarda, Sanayi Devrimi'nin başladığı İngiltere'de ülkenin çoğu yerinin gri duman ile kaplandığı tasvir edilmektedir.

Halk sağlığı açısından önemli kirleticiler arasında partikül madde, karbon monoksit, ozon, nitrojen dioksit ve kükürt dioksit bulunmaktadır. Tablo 3'te kişi başı net sera gazı emisyonları karbondioksit (CO₂) eşdeğeri cinsinden verileri G20 ülkeleri ve dünyadaki toplam salınımı ile karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 3: Net Sera Gazı Emisyonları (CO₂ eşdeğeri ton/1000) (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	2.276	2.538	2.989	3.359	3.239	4.308	4.567	7.264	10.212	11.805	12.943	15.633	15.685	7.447
ABD	5.894	5.699	5.998	5.854	6.487	6.822	7.369	7.477	7.058	6.737	5.616	5.923	6.017	6.381
Rusya	2.025	2.349	2.635	2.771	3.167	2.071	1.895	1.971	2.019	2.033	2.061	2.157	2.580	2.287
Hindistan	834	896	998	1.206	1.238	1.462	1.720	1.966	2.569	3.104	3.201	3.901	3.943	2.080
Japonya	1.055	1.106	1.161	1.140	1.269	1.374	1.373	1.377	1.300	1.318	1.145	1.168	1.183	1.228
Almanya	1.340	1.298	1.378	1.322	1.251	1.121	1.040	985	932	897	731	760	784	1.065
Brezilya	394	472	592	622	553	639	725	830	921	1.042	1.065	1.343	1.311	808
İngiltere	850	832	821	776	806	758	724	700	616	514	409	426	427	666
Endonezya	227	249	314	347	468	584	666	711	788	875	976	1.128	1.241	660
Kanada	497	519	578	558	589	639	719	732	702	723	659	670	757	642
Meksika	234	281	384	442	467	504	588	637	720	746	592	808	820	556
Fransa	666	643	674	560	541	534	549	554	511	460	398	420	430	534
İtalya	430	436	485	466	521	536	560	594	523	446	385	393	395	475
Avusturya	333	365	377	402	438	451	502	536	547	544	537	529	571	472
Güney Kore	106	138	191	246	281	427	502	548	645	683	659	659	726	447
Güney Afrika	251	298	321	377	347	499	465	512	526	515	469	553	535	436
Suudi Arabistan	112	133	256	178	165	286	296	425	525	726	755	780	811	419
Türkiye	116	132	151	178	220	248	299	338	399	475	524	564	688	333
Arjantin	234	243	257	249	215	236	264	286	306	329	361	375	383	288
Avrupa Birliği	4.789	4.878	5.368	5.104	4.477	4.231	4.162	4.260	3.944	3.604	3.119	3.803	3.588	4.256
G20 TOPLAM	22.664	23.505	25.929	26.157	26.740	27.728	28.986	32.703	35.765	37.576	36.605	41.993	42.872	31.479
Dünya	25.521	26.798	29.642	30.300	30.630	31.924	34.208	39.004	43.443	46.136	46.121	53.057	53.786	55.510
G20/Dünya	89%	88%	87%	86%	87%	87%	85%	84%	82%	81%	79%	79%	80%	57%

Kaynak: 1972-1990 arası veriler, European Commission, https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023#data_download 'den

1990-2021'e ait veriler, OECD, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=air_ghg, 'den

2022 verileri European Commission, https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023#data_download 'dan alınmıştır (Erişim: 23.04.2024).

Not : CO₂ eşdeğeri ton cinsinden toplam sera gazı emisyonları, kısa dönemli biyokütle yakma (tarımsal atık yakma ve savan yakma gibi) hariç, CO₂ toplamlarından oluşmaktadır.

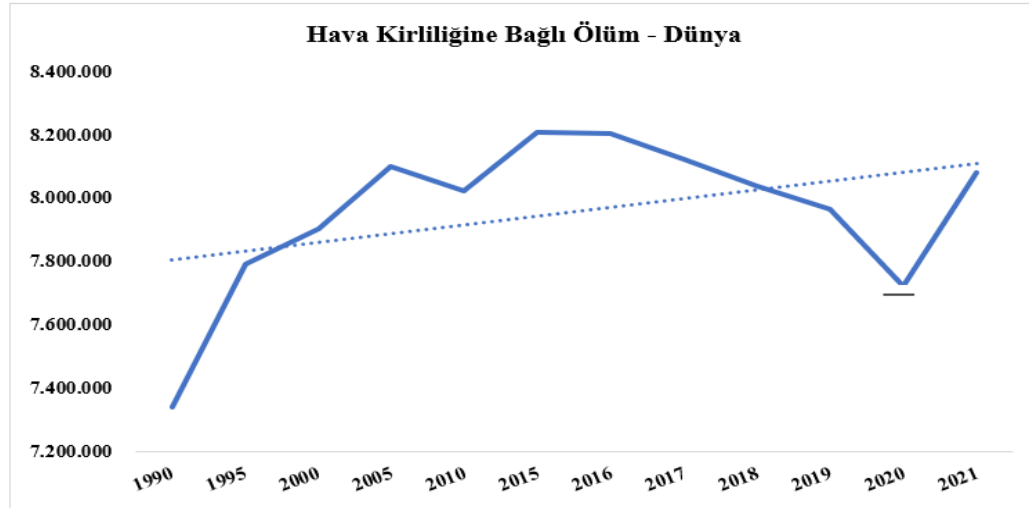
Tablo 3 incelendiğinde; G20 ülkeleri arasında havaya ortalamada en çok karbondioksit salınımı yapan ülkenin açık ara Çin olduğu görülmektedir. G20 ülkelerinin dünyaya toplam karbondioksit salınımının payı ise yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Son 50 yılda pandemi dönemi hariç, havaya karbondioksit salınımının yıldan yıla arttığı gözlemlenmektedir. 2020 Covid-19 Pandemi sürecinde ülkelerin azalan ekonomi faaliyetlerine doğru orantılı bir şekilde, havaya salınan sera gazı emisyonunun düştüğü gözlemlenmektedir. Pandemi süresince diğer ülkelerin aksine 2019'a kıyasla, yalnızca bu oranın Brezilya'da arttığı gözlemlenmektedir. Brezilya'da sera gazı emisyonlarının artış nedeni ise; Amazon'da ormansızlaşma oranının artmasına bağlanmaktadır. Global Forest Watch verilerine göre Brezilya son 10 yıl içerisinde 2,90 megahektar²⁸ ormanını kaybetmiştir (Global Forest Watch, <https://www.globalforestwatch.org/> Erişim: 09.10.2022). Almanya, İngiltere, Fransa ve İtalya'da ise sera gazı salınımı 1972'den günümüze kademeli olarak azalmıştır.

²⁸ **Megahektar:** Bir milyon hektara eşit bir arazi alanı birimi.

Hava kirliliği, başta sağlık olmak üzere ekonomi ve birçok alan üzerinde negatif etki oluşturan çevresel risklerin başında gelmektedir. Dünya Bankası'nın (World Bank, WB) güncel verilerine göre 2019'da hava kirliliğinin etkisi dünyada tahmini 8,1 trilyon dolara; küresel GSYİH'nin %6,1'ine eşdeğerdir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde hava kirliliğinin birçok maliyeti olduğu görülmektedir. Dış ve iç ortam hava kirliliği; akut solunum yolu enfeksiyonu, akciğer kanseri, bronşit ve diğer hastalıklara neden olurken; hava kirliliğine bağlı ölüm oranları da oldukça fazladır (World Bank, 2016: 1). Hava kirliliğinin en çok tahribata uğrattığı ülkeler ise düşük ve orta gelirli gruptur. Grafik 3'te Global Burden of Disease'nin yayınladığı son rapora göre dünyada hava kirliliğine atfedilen ölümlerin toplam sayısı, güncel verilere göre 1990- 2021 dönemleri için gösterilmektedir;

Grafik 3: Dünya - Hava Kirliliğine Bağlı Ölen Kişi Sayısı (1990-2021)



Kaynak: Institute for Health Metrics and Evaluation, Global Burden of Disease, <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool> (Erişim: 26.05.2024).

Not: Veri hava kirliliğine bağlı tahmini yıllık ölüm sayısıdır. Bu, iç mekan ev kirliliği, dış mekan partikül madde ve ozon olmak üzere üç hava kirliliği kategorisini içermektedir.

Grafik 3 incelendiğinde; 1990'dan günümüze dünyada hava kirliliğine bağlı ölümün azımsanamayacak seviyede olduğu gözlemlenmektedir. Grafik 3'te dikkat çeken bir husus 2019-2020 yıllarında hava kirliliğine bağlı ölüm sayısının yaklaşık 8 milyondan 7 milyona düşmesidir. Bu durum, Covid-19 pandemi sürecinde ülkelerin ekonomik faaliyetlerinin azalmasıyla havaya salınan sera gazı emisyonlarının düşmesiyle ilişkilendirilmektedir.

Ek 8'de G20 ülkelerinde hava kirliliğine bağlı ölüm oranına yer verilmektedir. Ek 8 Tablo 88 incelendiğinde; hava kirliliğine bağlı olarak ölüm payının en fazla olduğu ülkenin, havaya en fazla sera gazı salınımı yapan ülke olan Çin olduğu gözlemlenmektedir. Çin'den sonra hava kirliliğine bağlı ölüm oranı G20 içerisinde gelişmekte olan ülkeler arasında sınıflandırılan; Hindistan, Endonezya'dır. Son 30

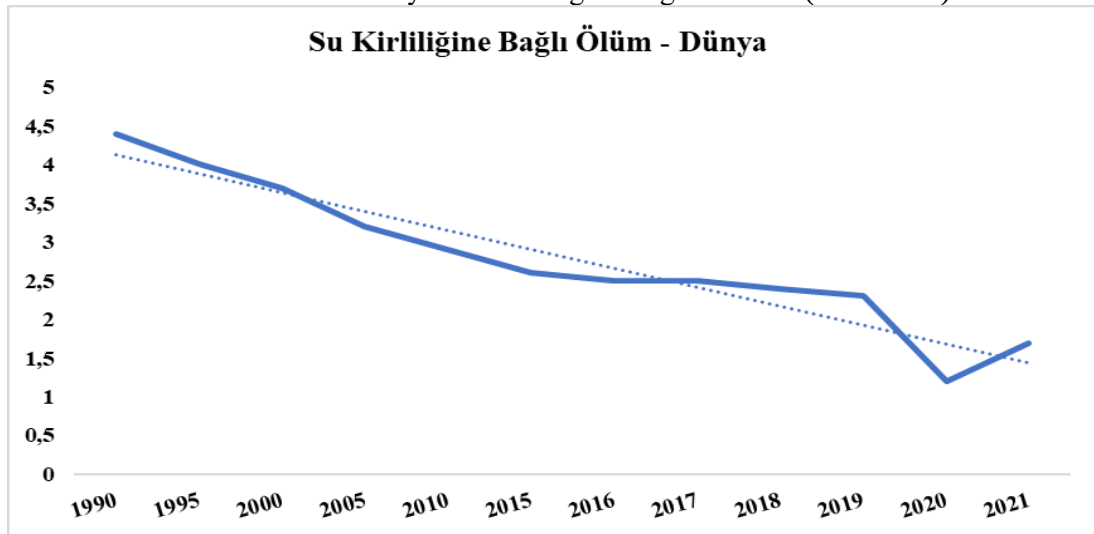
yılda hava kirliliğine bağlı ölüm oranlarının değişimi incelendiğinde; ağırlıklı olarak gelişmiş ülke grubundaki ülkelerde iyileşme olduğu, ancak gelişmekte olan ülkelerde oranın aynı kaldığı gözlemlenmektedir.

2.2.2. Su Kirliliği

Suyun kalitesini azaltan ve kullanım amacına daha az uygun veya elverişsiz hale getiren organik, inorganik, radyoaktif ya da biyolojik bir maddenin var olması sonucunda suyun kullanılamaması; su kirliliği olarak tanımlanmaktadır (Gilpin, 1976: 171). Su kirliliğinin başlıca nedenleri arasında akarsuların üzerine yapılan baraj ve göletler, tarım alanlarında kullanılan ilaç ve gübreleme işlemleri, toprak erozyonları, temizlenmeyen evsel ve endüstriyel atıklar, denizlere bırakılan zararlı kimyasallar, tanker kazaları, nükleer santrallerden çıkan sıcak sular ve atıkların kontrolsüz salınımı yer almaktadır (WHO ve UNEP, 1997: 51). Suyu kirlilikten arındırmanın maliyetli ve zor bir süreç olması, su kirliliğinin kaynağında müdahale edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Su kirliliğine maruz kalan canlılar doğrudan sindirim ve zehirlenme türünde hastalıklara maruz kalmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün güncel verilerine göre; 2020'de 2 milyar insan, iklim değişikliği ve nüfus artışı nedeniyle temiz su erişimine sahip bölgelerde yaşamaktadır (WHO, 2022: 50). Temiz su erişimine imkân olmayan en az 2 milyar insan, dışkıyla kontamine içme suyu kullanmaktadır. Bu nedenle her yıl birçok kişi kötü sanitasyon, kötü hijyen veya güvenli olmayan içme suyu nedeniyle ishalleri hastalıklardan ölmektedir. Grafik 4'te Global Burden of Disease'nin yayınladığı son rapora göre, su kirliliğine nedeniyle her 100 bin kişide hayatını kaybedenlerin oranı 1990- 2021 dönemleri için gösterilmektedir;

Grafik 4: Dünya - Su Kirliliğine Bağlı Ölüm % (1990-2021)



Kaynak: Institute for Health Metrics and Evaluation, Global Burden of Disease, <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool> (Erişim: 25.06.2024).

Grafik 4 incelendiğinde; 1990'dan günümüze düşüş yaşansa da dünyada su kirliliğine bağlı ölüm oranlarının azımsanamayacak seviyede olduğu gözlemlenmektedir. Güncel verilere göre dünyada her 100 bin kişiden 11 bini temiz suya erişemediği için hayatını kaybetmektedir.

Ek 8, Tablo 89'da G20 ülkelerinde su kirliliğine bağlı ölüm oranına yer verilmektedir. Tablo 89 incelendiğinde göze çarpan ilk durum; gelişmekte olan ülke grubunda sınıflandırılan ülkelerde ölüm oranının daha fazla olduğudur. Özellikle Hindistan'da su kirliliğine bağlı ölüm oranının son yıllarda düşmesine rağmen, G20 ülkeleri ile kıyaslandığında çok yüksek kalmaktadır. Hindistan'dan sonra su kirliliğine bağlı ölüm oranı G20 içerisinde gelişmekte olan ülkeler arasında sınıflandırılan; Endonezya ve Güney Afrika'dır. G20 ülkeleri arasında yer alan gelişmiş kabul edilen ülkelerde ise ölüm oranı yaklaşık %0'dır. Son 30 yılda su kirliliğine bağlı ölüm oranlarının değişimi incelendiğinde hem dünyada hem de G20 ülkelerinde bu oranın düştüğü gözlemlenmektedir.

2.2.3. Toprak Kirliliği

Toprak veya arazi kirliliği; toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik dengesinin çeşitli unsurlarla bozulmasıdır. Toprak kirliliğinin oluşmasında birçok faktör bulunmaktadır. Toprağın yanlış kullanılması ve tahribatı bu faktörlerin temelini oluşturmaktadır. Toprak kirliliğine neden olan unsurlar şu şekilde sınıflandırılabilir;

- **Atıkların Kontrolsüz Boşaltılması:** Yanlış yönetilen depolama alanlarından gelen sızıntı suları ve evlerden, endüstriyel tesislerden, madenlerden gelen atıkların kontrolsüz bir şekilde boşaltılması toprak kirliliğine neden olan en önemli faktörlerden biridir (UNEP, 2018: 9). Atıklarda bulunan cıva ve arsenik gibi ağır metaller, eser metaller, organik bileşikler, ilaçlar ve mikroorganizmalar toprağı tahrip etmektedir. Kötü yönetilen atık, aynı zamanda metan üretimi yoluyla küresel iklim değişikliğine doğrudan neden olmaktadır.

Dünyada atık yönetimine bakıldığında, gelişmiş ülkelerdekilerle karşılaştırıldığında, gelişmekte olan ülkelerde yaşayanların, sürdürülemez şekilde yönetilen atıklardan daha fazla etkilendiği görülmektedir. Düşük gelirli ülkelerde, atıkların %90'ından fazlası genellikle düzensiz çöplüklere atılmakta veya açıkta yakılmaktadır. Bu kapsamda atıkların toplanması ve doğru şekilde geri dönüşüme kazandırılması ya da bertaraf edilmesi önemli olmaktadır. Güncel verilere göre G20 ülkelerinde, belediyeler tarafından toplanan atıklar kişi başına düşen kilogram cinsinden Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4: G20 Ülkeleri Belediye Tarafından Toplanan Atıklar Kg/Kişi Başı (1975-2021)

	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Ortalama
ABD	531	605	-	757	740	783	779	736	741	753	750	812	-	-	-	532
Almanya	-	-	-	-	623	642	565	602	632	633	627	606	609	641	647	455
İtalya	255	249	265	353	454	509	544	542	490	501	493	504	503	487	-	410
İngiltere	-	-	-	474	498	577	581	509	483	483	468	463	459	462	464	395
Fransa	-	-	-	-	476	514	530	534	516	553	559	557	555	539	561	393
Avrupa Birliği	-	-	-	-	465	513	506	502	481	493	499	500	504	521	530	368
Türkiye	255	270	358	-	456	476	458	407	400	426	426	424	424	415	-	346
Kore	-	-	515	715	387	361	367	362	367	383	380	397	409	435	-	338
Kanada	-	-	-	-	-	768	790	734	699	691	-	694	-	687	-	338
Japonya	-	375	348	407	416	432	413	354	346	340	339	338	339	330	-	318
Avusturalya	-	681	-	-	-	694	-	616	586	538	512	506	496	-	-	309
Ukraine	-	-	-	-	-	-	-	214	256	258	252	267	267	-	-	101
Meksika	-	-	-	-	332	311	335	352	-	-	-	-	-	-	-	89
Rusya	-	-	-	-	-	354	403	486	-	-	-	-	-	-	-	83
Arjantin	-	-	-	-	-	-	350	392	-	-	-	-	464	-	-	80
Çin	-	-	-	58	86	92	117	116	136	144	151	-	-	-	-	64
Brezilya	-	-	-	-	-	331	325	272	-	-	-	-	-	-	-	62
Suudi Arabistan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72	-	5
Endonezya	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	2

Kaynak: OECD, <https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm> veri tabanından alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 23.04.2024).

Not 1: Kanada'ya ait veriler Government of Canada, <https://www.canada.ca/en.html> veri tabanından alınmıştır (Erişim: 23.04.2024).

Not 2: Hindistan, Güney Kore ve Güney Afrika verilere ulaşılamamıştır.

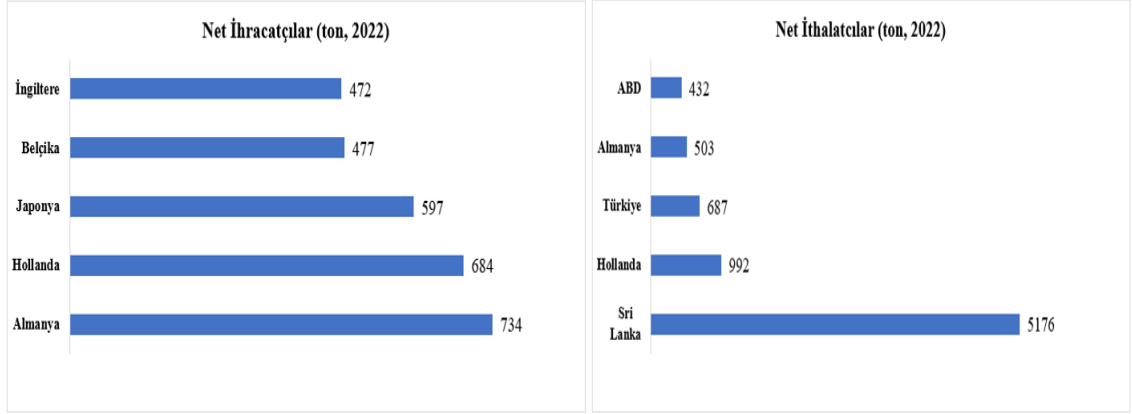
Tablo 4'te veriler; belediyeler tarafından toplanan ve işlenen atıklar olarak tanımlanan belediye atıkları, evlerden gelen atıkları, ticaretten ve işletmelerden gelen benzer atıkları, ofis binaları, kurumlar ve küçük işletmelerden gelen atıkları, bahçe ve bahçe atıklarını, sokak süpürme atıklarını, çöp konteynerlerinin içeriğini ve evsel atık olarak yönetilen pazar temizleme atıklarını içermektedir. Bu kapsamda veriler, belediye kanalizasyon ağlarından ve arıtma tesislerinden gelen atıkları, ayrıca inşaat ve yıkım faaliyetlerinden kaynaklanan atıkları dahil etmemektedir.

Tablo 4 incelendiğinde, eksik verilere rağmen, ortalama en fazla atık toplanan ülkelerin gelişmiş ülkeler olduğu gözlemlenmektedir. Gelişmekte olan ülkelere bu istatistiki gösterge hem yetersiz düzeyde bulunmakta hem de gelişmiş ülkelere nazaran oldukça düşük kalmaktadır. Özetle; atık toplama ve atıkların bertaraf edilmesinde en başarılı ülkelerin gelişmiş ülke grubunda yer alan ülkeler olduğu görülmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerin birçoğu atıklarını geri dönüştürmekle birlikte, gelişmekte olan ülkelere ihracatını yapmaktadır. Bunun nedeni, yerel geri dönüşüm altyapıları geliştirmek yerine atıkları ihraç etmenin daha az maliyetli olmasıdır (Kitt, 1994: 485). Avrupa Birliği düzenlemeleri ile ihracatçı ülke, ihraç ettiği atıkları geri dönüşüm istatistiklerine dahil etmektedir. Ancak bu atıkların ihraç edildikten sonra takip edilmemesi çevresel kirliliğin artmasında önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. İthal eden

ülkelerin istatistiklere bakıldığında, atık yönetim altyapısının zayıf olduğu ülkelerde bu atıkları geri dönüştürülmek yerine, genellikle yasa dışı olarak yakmaktadır (UNEP, 2021: 47). Güncel verilere göre 2022'de dünyada, en büyük plastik atık ihracatçıları ve ithalatçıların ticareti ton cinsinden Grafik 5'te gösterilmektedir.

Grafik 5: Plastik Atık İhracat ve İthalatçıları Top 5 – 2022

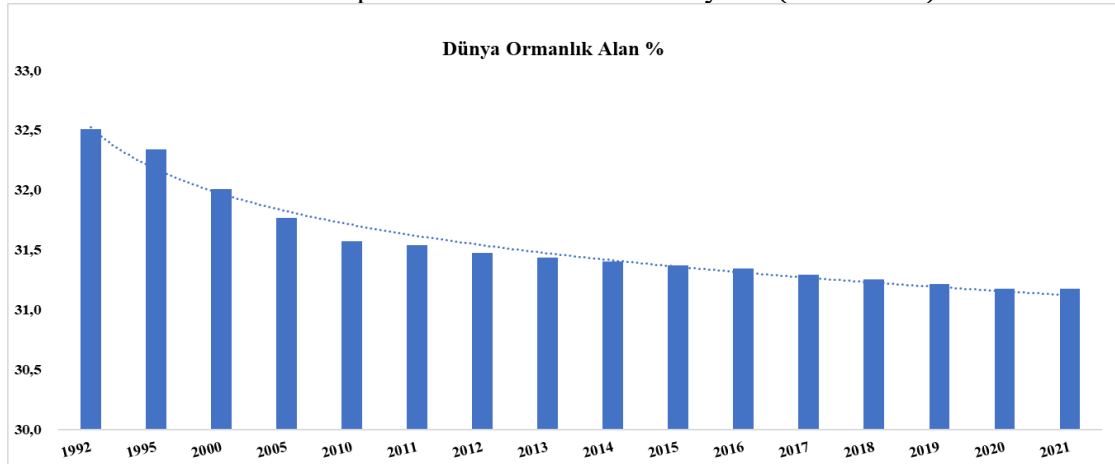


Kaynak: Statista Database <https://www.statista.com/> 'den alınan veriler grafikleştirilmiştir.

Grafik 5 incelendiğinde, plastik atık ihracatının en yüksek olduğu ülkelerin gelişmiş ülke gurunda yer alan olduğu görülmektedir. En fazla plastik atık ithalatı yapan ülke ise diğer ülkelere oranla yüksek miktar ile Sri Lanka'dır. Hollanda ve Almanya hem ithalat hem de ihracat yapmaktadır.

- **Ormansızlaşma ve Toprak Erozyonu:** Ormansızlaşma hem hava kirliliğini hem de toprak kirliliğine neden olan bir faktördür (UNEP, 2018: 6). Ormanlar odun arzı talebini karşılamak veya yeni alanlar açmak için kullanıldığında ve/veya yok edildiğinde, süreç içinde toprak gevşemektedir. Bu durumda, ağaçlar korumamakta ve arazi zamanla çoraklaşarak aşınmaya başlamaktadır. Grafik 6'da 1990'lardan itibaren dünyada toplam arazi üzerinde ormanlık alanların payı güncel olarak gösterilmektedir.

Grafik 6: Toplam Ormanlık Alan - Dünya % (1992-2021)



Kaynak: World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.ZS> den alınan veriler grafik hâline getirilmiştir (Erişim: 26.04.2024).

Grafik 6 incelendiğinde, dünya ormanlık alan yüzdesinde yıllar içinde sürekli bir düşüş olduğu gözlemlenmektedir. Dünya Kaynakları Enstitüsü'nün (World Resources Institute) Küresel Orman İzleme projesi'ne göre 2022 yılında 22.4 Mha'lık²⁹ alan yok olmuştur. En fazla ormanlık alan kaybeden ülkeler ise Rusya (4.29 Mha), Brezilya (3.31 Mha), Kanada (2.30 Mha) ve ABD (2.20 Mha)'dir (World Resources Institute, <https://www.wri.org/initiatives/global-forest-watch>). Ek 5, Tablo 85'te G20 ülkelerinde, toplam ormanlık alan yüzdeleri yer verilmektedir. Tablo incelendiğinde; en fazla ormanlık alana sahip olan ülkelerin gelişmiş ülke grubunda yer alan ülkeler olduğu görülmektedir. Son 30 yılda Brezilya ve Endonezya'nın ormanlık alan yüzdesinin ciddi oranda düştüğü gözlemlenmektedir. İtalya ve Fransa'da ise bu oranda artış olduğu göze çarpmaktadır.

Ormansızlaşma çevre kirliliğine neden olan bir faktör olmakla birlikte, iklim değişikliğinin hem bir göstergesi hem de tetikleyicisi olarak ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Önceki bölümlerde Brezilya örneğinde değinildiği üzere, bir ülkede çevre kirliliğine neden olabilecek ekonomik faaliyetlerde düşüş olsa da ülkede ormanlık alan yüzdesi yeterli değilse sera gazı salınımı yaşanmaktadır.

- **Tarım Kimyasalları:** Çiftçilik sürecinde, gıda arzında verim kalitesini artırmak ve zararlı böceklerden korunmak için kullanılan kimyasallar, arazinin çoraklaşmaya ve aşınmasına neden olan bir diğer faktördür (UNEP, 2018: 1-2). Toprağı kirleten birincil kimyasallar arasında kurşun, cıva, arsenik, kadmiyum ve krom, dikloro difenil trikloroetan gibi ağır metaller bulunmaktadır. Bu metaller aynı toprağa karıştığında yalnızca toprağa değil aynı zamanda dolaylı yollar ile canlı sağlığına da zarar vermektedir. Gıda ve Tarım Örgütü'nün (Food and Agriculture Organization – FAO) yayınladığı güncel verilere göre (2021), G20 ülkeleri içinde en çok tarımda kimyasal kullanan ülkeler; Brezilya (720 ton), ABD (457 ton), Endonezya (283 ton), Çin (245 ton) ve Arjantin'dir (242 ton). G20 ülkelerinde tarımda kimyasal kullanımı Ek 10, Tablo 91'de gösterilmektedir.

Tablo 91 incelendiğinde tarımda kimyasal kullanımının geçmişten günümüze arttığı gözlemlenmektedir. G20 ülkeleri içinde ortalama tarımda en fazla kimyasal kullanan ilk 5 ülke; ABD, Brezilya, Çin, Endonezya ve Arjantin'dir.

- **Çöp Birikim Alanları:** Düzenli depolama alanlarında bulunan çöplerden toprağa toksinlerin sızması toprağı kirletmektedir (UNEP, 2015: 2). Yağmurlar sırasında toksinler diğer alanlara yayılmakta ve kirliliği artırmaktadır. Bu nedenle çöp birikim alanlarının iyi dizayn edilmiş olması gerekmektedir.

²⁹ Mha: Milyon hektar

2.2.4. Diğer Çevresel Kirlilik Türleri

Çevre kirlilik türlerinden bir diğeri olan **gürültü kirliliği**, istenmeyen, genellikle işitmeyi engelleyen ve işitmeye zarar veren yüksek sesler olarak tanımlanmaktadır. Artan şehirleşme ile önemli bir çevre sorunu haline gelen gürültü kirliliği, Dünya Sağlık Örgütü'ne göre hava kirliliği ardından sağlık sorunlarının ikinci en büyük çevresel nedenidir (WHO, 2018: 2). Gürültü kirliliği kaynakları arasında makineler (endüstriyel ekipman, çim biçme makineleri, elektrikli süpürgeler), müzik ekipmanları (yüksek sesli stereolar, hoparlörler) ve ulaşım araçları (kamyonlar, otobüsler, uçaklar vb.) yer almaktadır. Patlamalar gibi aşırı yüksek seslerden hızlı bir şekilde veya yüksek seslere sürekli maruz kalma nedeniyle işitme hasarı meydana gelmektedir (UNEP, 2022: 6-7).

Teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak günümüzde, çevre kirliliği olgusuna bir yenisi; **elektromanyetik kirlilik** eklenmiştir. Doğada kaynağı olan elektromanyetik alanlar (güneş, yıldırım, yıldız gibi) insan faaliyetleri ile günden güne artmaktadır (European Commission, 2005: 3). Özellikle 1990'larda kablosuz telekomünikasyonun kullanılmaya başlanması ile telefon ağlarının yaygınlaşması, radyo iletişimi, akıllı telefonlar, tabletler ve taşınabilir bilgisayarlar gibi günlük kullanımda olan cihazların kullanımına bağlı olarak kirlilikte artışa neden olmuştur (Balmori, 2009: 191; Redlarski vd, 2015: 1-2). Elektromanyetik kirlilik hem canlı sağlığına hem de çevresel kirliliğe doğrudan ve dolaylı olarak etki etmektedir. Ancak elektromanyetik kirlilik diğer çevre kirliliği türlerinin aksine gözle görülmemekte ve etkileri kısa vadede ortaya çıkmamaktadır. Bu durum kirliliğin ölçümünü zorlaştırmaktadır. Bu nedenle mukayese edebilmek için elektromanyetik kirliliğe bağlı istatistiksel bir veri bulunamamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün insan ve hayvanlarda uyguladığı deneysel çalışmasına göre elektromanyetiğe maruz kalmak canlı sinir sistemini doğrudan etkilemektedir. En yaygın belirtiler; beyin aktivitesinde, reaksiyon sürelerinde ve uyku düzenindeki değişiklikler olarak saptanmıştır (WHO, 2002: 6-7).

Çevre kirliliği tanımı gereği, bahsedilmesi gereken bir diğer tür; **Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer Silahlardan** (Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear – CBRN) kaynaklanan kirliliktir. Kimyasal ve biyolojik silahlar; zehirli özellikleri nedeniyle kullanılan organizma, toksin ve kimyasallardır. Bu silahların kullanımını ve üretimini düzenleyen çeşitli mekanizmaların varlığına rağmen, bunlar varlığını sürdürmekte³⁰ ve çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır (Jayaram, 2021). Nükleer silahların yanı sıra bu silahlar da kitle imha silahları

³⁰ **Bkz:** 21. yüzyılda kimyasal ve biyolojik silah sözleşmelerinin varlığına rağmen, Suriye çatışmasında kimyasal ajanların (örneğin sarin ve klorin) hem devlet hem de devlet dışı aktörler tarafından kullanıldığı iddia edilmektedir.

olarak kabul edilmektedir çünkü çok sayıda insana ve çevreye zarar verebilmektedirler. Ülkeler biyolojik ve kimyasal silahları tarihte savaşlarda³¹ kullanmıştır.

2.2.5. İklim Değişikliği

Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization, WMO) tanımına göre, iklim değişikliği belirli bir zaman aralığında, sıcaklıklarda ve hava düzenlerinde uzun vadeli değişiklikleri ifade etmektedir (WMO, 1979: 752). Bu değişiklikler bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Bazı bölgelerde bir yılda yağmur yağışında değişim, bir ay veya mevsim için bir yerin normal sıcaklığındaki değişim ya da olağan sıcaklığındaki bir değişiklik şeklinde olabilir.

Bu değişim 1800'lere kadar doğal bir olay olmasına karşın; Sanayi Devrimi'nden sonra kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtların ağırlıklı kullanılması ile insan faaliyetleri değişimin itici gücü olmuştur (International Labor Organization, 2022: 2). Fosil yakıtların kullanılması Dünyanın etrafında güneş ısını hapsederek, sıcaklıkların yükselmesine neden olan sera gazı emisyonu oluşumuna neden olmaktadır.

İklim değişikliğinin gözlemlenen birçok belirtisi mevcuttur. Bu belirtilerden en yaygın bilineni, iklim değişikliğinin esas olarak daha yüksek sıcaklıklara yol açmasıdır. Ancak sıcaklık değişimi, iklim değişikliğinin etkilerinden sadece bir tanesidir. İklim değişikliğinin sonuçları arasında sıcaklık dışında; su kıtlıkları, şiddetli yangınlar, yükselen deniz seviyeleri, seller, kutup buzlarının erimesi, yıkıcı fırtınalar ve biyolojik çeşitliliğin azalması yer almaktadır (International Labor Organization, 2022: 2).

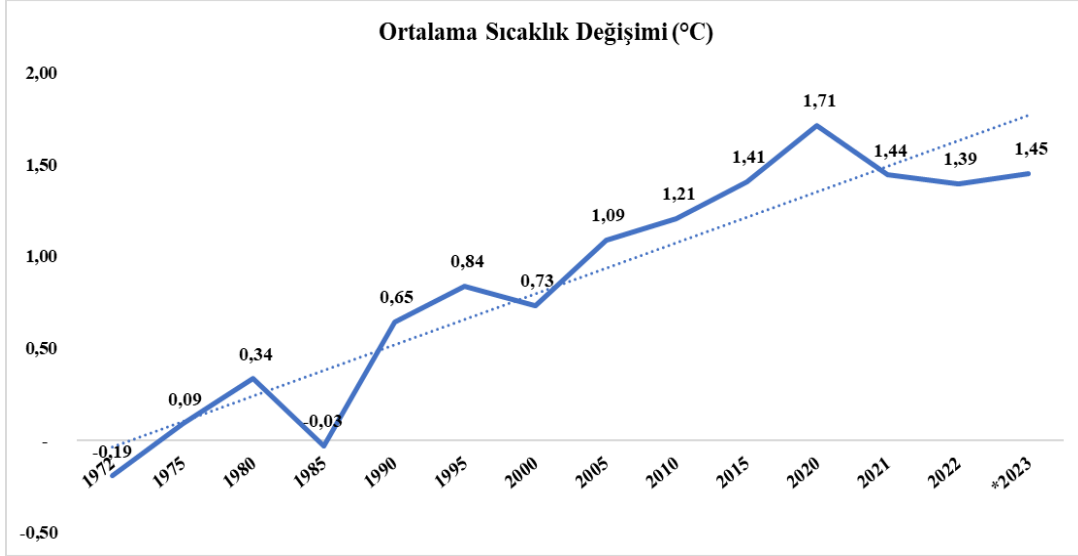
İklim değişikliğinin takibinde de kullanılan bu belirtiler aynı zamanda, iklim değişikliğinin neden olduğu olumsuz etkiler olarak da değerlendirilmektedir. Literatür incelendiğinde en çok kullanılan gözlem değerleri aşağıdaki gibidir;

- **Yeryüzü Sıcaklığının Artması:** İklim değişikliğinin hissedilen en önemli göstergesi sıcaklık olarak kabul edilmektedir. Grafik 7'de 1972'lerden günümüze kadar yerküre sıcaklığında meydana gelen değişme gösterilmektedir.

³¹ **Bkz:** II. Dünya Savaşı sırasında ABD'nin Japonya'ya karşı kullandığı atom bombalar; Hiroşima ve Nagazaki.

I. Dünya Savaşı'nda Hardal gazı toprakları ve yeraltı sularını kirletmek için yaygın olarak kullanılmıştır.

Grafik 7: Meteorolojik Yılın Ortalama Sıcaklık Değişimi (1972-2023)



Kaynak: 1972-2022 dönemine ait veriler; IMF, Climate Change Indicators Dashboard, <https://climatedata.imf.org/> alınan veriler grafik hâline getirilmiştir (Erişim: 17.08.2023).

2023 yılına ait veri; World Meteorological Organization, <https://wmo.int/media/news/wmo-confirms-2023-smashes-global-temperature-record> 'den alınmıştır (Erişim: 24.01.2024).

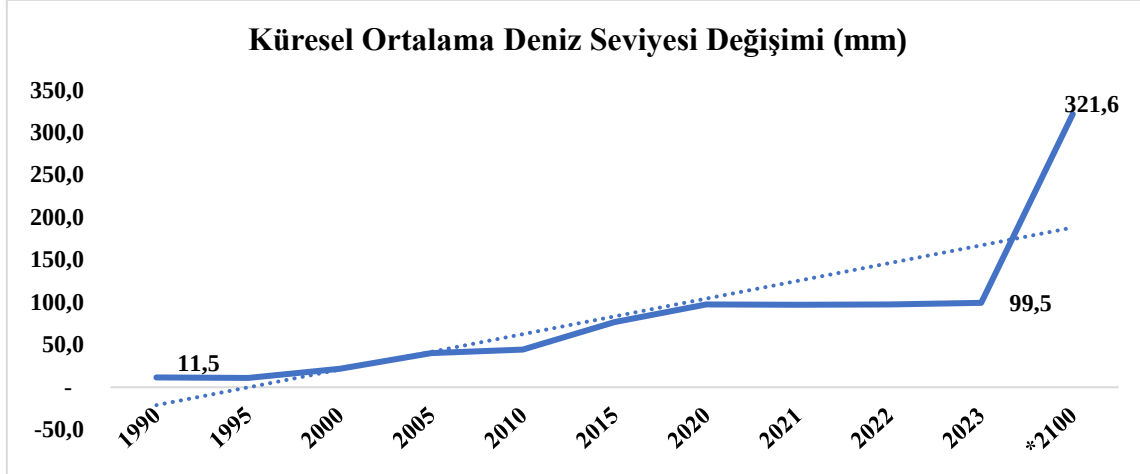
(*) 2023 verisi $\pm 0,12$ sapma olabileceği, kesinleşen rakamın Mart 2024 yılında açıklanacağı belirtilmiştir.

Grafik 7 incelendiğinde 1972 yılında -0,19 olan yerküre sıcaklığının günümüze gelen kadar 0,75 °C arttığı görülmektedir. Kaydedilen en yüksek sıcaklık artışı ise 2020 yılında 1,71 °C'dir. Gelecekte iklimin nasıl olacağını hesaplayan projeksiyonlara göre 1990 yılından 2100 yılına kadar küresel yeryüzünün ortalama ısısının 1.4-5.8°C artış göstereceği tahmin edilmektedir (IPCC, 2001: 13).

- Buharlaşma ve Yağmur Miktarının Artması: İklim değişikliği ile gözlemlenen değişimlerden bir diğeri şiddetli yağışların meydana gelmesidir. Şiddetli yağış, bir yerde görülen yağmur veya kar miktarının normalden önemli ölçüde fazla olduğu durumu ifade etmektedir. İklim değişikliği ile yerküredeki ve okyanuslardaki sıcaklığın artması havaya buharlaşan su miktarını ve bulut oluşumunu arttırmaktadır (IPCC, 2022a: 629-633). Daha yüksek sıcaklıklarda, havanın daha fazla nem tutması, yağış yoğunluğunda, süresinde ve/veya sıklığında bir artışa neden olmaktadır.

- Deniz Su Seviyesinin Yükselmesi ve Buzulların Erimesi: Küresel ortalama deniz seviyesi, şu anda ve gelecekte iklimde meydana gelen değişikliğe ilişkin tahmin sağlayan önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Deniz seviyesinin yükselmesine neden olan iklim değişikliğinin 2 önemli faktörü; buz tabakalarının erimesi ve deniz suyunun ısındıkça genişlemesidir. Grafik 8'de 1990'lardan günümüze, küresel seviyesindeki güncel değişim gösterilmektedir.

Grafik 8: Küresel Ortalama Deniz Seviyesi Değişimi (1990-2100)

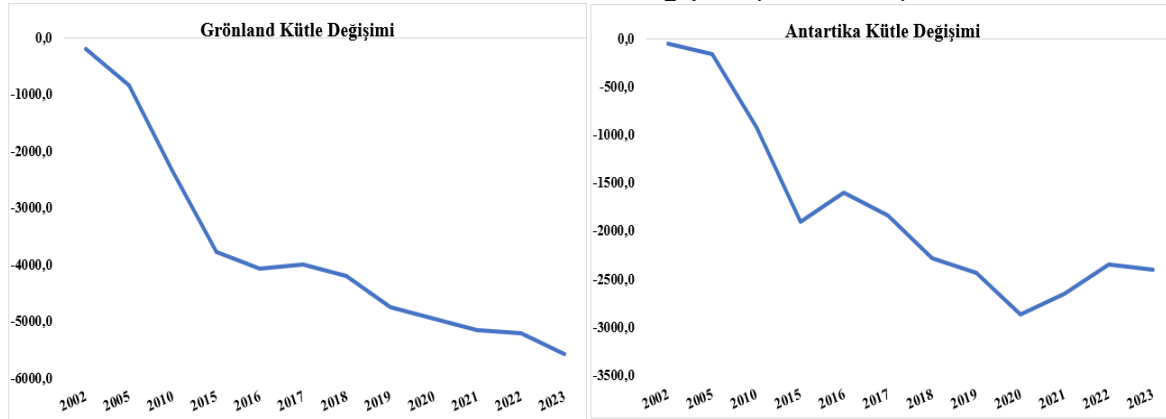


Kaynak: The National Aeronautics and Space Administration, <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> 'den alınan veriler grafik hâline getirilmiştir (Erişim: 24.01.2024).

(*) 2100 tahmin verisi National Oceanic and Atmospheric Administration, <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level> Erişim: 21.09.2023).

Grafik 8 incelendiğinde, küresel ortalama deniz seviyesinin, 1990'dan bu yana yaklaşık 91 milimetre yükseldiği görülmektedir. IPCC'nin yaptığı projeksiyona göre 21. yüzyılda küresel ısınma 1,5°C ile sınırlı kalsa bile deniz seviyesindeki yükselme 2100'den sonra devam edecektir (IPCC, 2019: 7). 2100 yılında küresel deniz seviyesi 2023'e göre yaklaşık 2 kat artacaktır. Grafik 9'da ise sıcaklıkların artışına bağlı olarak buzullarda meydana gelen değişim, buz tabakalarında meydana gelen erime gösterilmektedir.

Grafik 9: Buzullarda Kitle Değişimi (2002-2023)



Kaynak: NASA, Climate Change Indicators Dashboard, <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/> 'den alınan veriler grafik hâline getirilmiştir (Erişim: 24.01.2024).

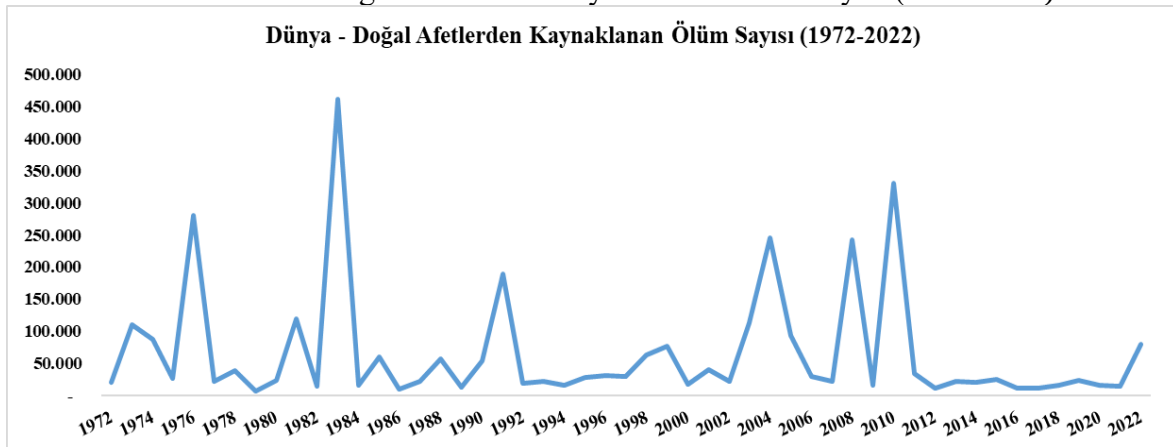
Grafik 9 incelendiğinde, 2000'li yılların başından itibaren buz tabakalarının büyük ölçüde eridiği gözlemlenmektedir. Antartika yılda ortalama 150 milyar ton buz kütlesi erirken, Grönland'da ise yılda yaklaşık 270 milyar ton buz kütlesi erimektedir. Bu durum ise yukarıda değinildiği üzere deniz seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır.

- **Mercanların Beyazlaşması ve Yok Olması:** İklimdeki değişikliğin ekosisteme ve biyoçeşitliliğe olumsuz etkisinin bir diğer örneği; mercan resiflerinin değişime uğramasıdır. Sıcaklık artışının okyanus sıcaklığını artırması ve okyanus asitlenmesi mercanların kireçlenme oranını ve resif çerçevesinin çözünme oranını artırmaktadır (IPCC, 2022a: 42). Bu durum mercanların beyazlamasına ve ölümlerinin artmasına neden olmaktadır.

- **Orman Yangınlarının Artması:** Ormanlar, karbondioksit için yutak olarak küresel iklim düzenlemesinde önemli bir role sahip olup, karbondioksiti emerek atmosferik ısınmayı yavaşlatmaktadır. Ancak iklim değişikliği ile sıcaklıkların artması, enzim molekülleri parçalanmaya başladıkça ağaç türleri için fotosentez zorlaştırmaktadır (Humphreys, 2013: 72). Belirli bir sıcaklık üzerinde ormanlar karbondioksiti atmosfere geri sızdırarak daha fazla ısınmaya yol açmaktadır. Bu durum orman yangınlarına ve ormansızlaşmaya sebep olmaktadır. İklim değişikliğinin hem göstergesi hem de etkilerinden biri olan ormansızlaşma, yakın tarihte küresel boyuta ulaşmıştır. 1972'den günümüze gerçekleşen orman yangınlarında hayatını kaybeden kişi sayısı 2115'tir (The International Disaster Database, <https://public.emdat.be/data> Erişim: 26.01.2024). Kayıt altına alınmayan diğer canlı türlerindeki kayıplar göz önünde bulundurulduğunda, orman yangınlarının verdiği hasarın boyutunun önemi anlaşılmaktadır.

- **Doğal Afetlerin Sıklaşması:** Genel olarak değerlendirildiğinde iklim değişikliği ile doğal afetlerin sürekliliği ve iklimden kaynaklı ölen sayısı artmaktadır. Grafik 10'da iklim değişikliği ile bağlantılı doğal afetler nedeniyle ölen kişi sayısı 1972-2022 dönemleri için küresel çapta gösterilmektedir;

Grafik 10: Doğal Afetlerden Kaynaklanan Ölüm Sayısı (1972-2022)



Kaynak: The International Disaster Database, <https://public.emdat.be/> 'den alınan veriler grafik hâline getirilmiştir (Erişim: 20.11.2023)

Grafik 10'da doğal afetler; kuraklık, aşırı sıcaklık, sel baskını, orman yangını, fırtına, buzul göllerdeki taşkın gibi iklimsel olayları kapsamaktadır. Grafik 10 detaylı incelendiğinde; doğal afetler

nedeniyle hayatını kaybeden kişilerin sayısının oldukça fazla olduğu gözlemlenmektedir. Bugüne kadarki en fazla ölüm, 1983'te aşırı kuraklık ve sıcaklık nedeniyle gerçekleşmiştir.

- **Arazi Örtüsü ve Arazi Örtüsü Değişirme Göstergesi:** Arazi örtüsünün iklim düzenlemesiyle önemli bağlantıları bulunmaktadır. Toprağın karbonu tutma ve karbonu depolama yeteneği, atmosferdeki CO₂ miktarını etkilemektedir. Bu göstergeler arazi örtüsünde zaman içinde meydana gelen değişikliklere bakarak; arazi örtüsünü iklimi etkileyen, iklimi düzenleyen ve iklim açısından nötr etkilere sahip türler halinde gruplandırmaktadır.

İklim değişikliği, dünya çapında insan toplumları ve doğal ekosistemler üzerinde önemli olumsuz etkilere sahiptir. İklim değişikliğinin sel, kuraklık, ısı değişimi, ekolojik değişim gibi ölçülen/deneyimlenen etkilerinin yanı sıra uluslararası alanda, politik, iktisadi birçok etkisi mevcuttur. Ve bu etkiler, ülke ve dünya genelinde eşit olmayıp; tek bir topluluk içerisinde dahi farklılık gösterebilmektedir (IPCC, 2022a: 7). Dünyada ortak kanı iklim değişikliğinden müdahale için en az kaynağa sahip olan yetersiz hizmet alan grupların daha savunmasız hale geldiğidir.

İklim değişikliğinin dünyadaki etkisi; ekosistemde farklı kaynaklar üzerinde etkisi ya da zaman boyunda etkisi gibi farklı boyutlardan ele alınabilmektedir. Bu etkilerin her biri başlı başına bir araştırma konusunu oluşturmaktadır. Literatür incelendiğinde ortak sınıflandırmaya göre, iklim değişikliğinin etkileri belli başlı gruplar arasında kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir;

- **Ozon Tabakasının Delinmesi:** Bir önceki bölümde açıklandığı üzere CFC gibi insan kaynaklı yapay bileşimler N₂O gibi insan faaliyetleri sonucunda artan sera gazı artışı ozon tabakasının incelmesine ve/veya delinmesine neden olmaktadır (Maunder, 1992: 193). Stratosferik ozon tabakası, dünyayı güneşten kaynaklanan zararlı ultraviyole (UV-B) ışınlarından koruyarak, yaşamı mümkün kılmaktadır. Azalan stratosferik ozon konsantrasyonu, artan miktarda UV-B'nin dünya yüzeyine ulaşmasına neden olmaktadır. Stratosferik ozon kaybı ise insan sağlığına ve çevreye çeşitli yönlerden zarar verebilmektedir (NASA, <https://www.nasa.gov/>). Bunlar cilt kanseri, bağışıklık sistemi hasarı, akciğer dokusunda tahribat, karasal ve okyanuslarda biyoçeşitlilik yok olması olarak sıralanabilmektedir.

- **Okyanus ve Kıyı Türlerinde Risk:** Sıcaklık, buz erimesi ve yağış değişiklikleri; tuzluluk, oksijensizleşme ve okyanus asitlenmesi gibi sorunlara yol açmaktadır (IPCC, 2022a: 109). Bu sorunların ekosistemde birçok etkisi bulunmaktadır. Okyanus asitlenmesi; okyanus ve kıyı türlerinde bulaşıcı hastalıklara yol açarak bu ekosistemdeki canlıların varlığını tehlikeye atmaktadır. Deniz seviyesinin yükselmesi doğrudan su baskınlarına neden olmakta ve canlı yaşamını tehlikeye atmaktadır.

- **Biyoçeşitlilikteki Risk:** İklim değişikliğinin anlatıldığı bölümde değinildiği üzere iklim değişiminin oluşturduğu olumsuzluklar canlıları doğrudan etkilemekte ve biyoçeşitliliği tehlikeye atmaktadır. IPCC'ye göre (IPCC, 2014: 72); özellikle Arktik Bölge'de mercan resifleri başta olmak üzere, değişime adapte olamayan birçok sistem şimdiden yok olma tehlikesine sahiptir.

- **Gıda ve Su Güvenliğinde Risk:** İklim değişikliği küresel olarak son 50 yılda tarımsal büyümeyi yavaşlatmıştır. Dünyadaki gıdanın yaklaşık %14'ü azalmıştır (United Nations, 2021: 50). IPCC'nin yayınladığı son rapora göre; özellikle orta ve düşük enlem bölgeleri tarımsal yavaşlamadan en çok etkilenen bölgeler olmuştur. Bir önceki bölümde açıklanan okyanus ısınması ve asitlenmesi, bazı okyanus bölgelerinde kabuklu deniz ürünleri yetiştiriciliği ve balıkçılıktan elde edilen gıda üretimini olumsuz etkilemiştir. Geleceğe yönelik projeksiyonlar sıcaklığa bağlı kuraklığın artacağı ve milyonlarca insanın temiz su bulma sorununa maruz kalacağı yönündedir (UNFCCC, 2011: 3).

- **İnsan Sağlığına Etkisi:** IPCC'nin yaptığı araştırmaya göre iklim değişikliğinden etkilenen bölgelerdeki insanların hem fiziksel hem de mental sağlığı olumsuz olarak etkilenmektedir. İklim değişikliğinin doğa üzerindeki etkisi doğrudan sosyoekonomiyi de etkilemektedir. Bu etkileşim birçok yönden meydana gelmektedir. Değişen iklimle mücadele etmede zayıf kalan gruplarda, aşırı sıcaklık çeşitli hastalıklar ve ölümle sonuçlanmaktadır (IPCC, 2021: 7-8). Daha önceki bölümde açıklanan gıda ve su güvenliğindeki risk de insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. İklim değişikliğine bağlı, temiz su erişimine sahip olmayan 2 milyardan fazla insan doğrudan risk altındadır.

- **Ekonomiye Etki:** iklim değişikliğine atfedilebilen genel olumsuz etkiler ekonomiyi doğrudan etkilemektedir. İklim değişikliğinden kaynaklanan ekonomik zararlar, iklim değişikliğine maruz kalan sektörler, tarım, ormancılık, balıkçılık, enerji ve turizm alanlarında görülmektedir (IPCC, 2022a: 11). Bireysel geçim kaynaklarındaki azalış, tarımsal üretkenlikteki değişiklikler, yaşanan doğa olaylarının ev ve altyapının tahrip etmesi, gelir kayıpları ekonomideki olumsuz etkilerinden bazıları olarak gösterilebilir.

2.2.5.1. İklim Değişikliğine Neden Olan Faktörler

İklim değişikliğine neden olan birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler literatür incelendiğinde; doğal nedenler ve insan kaynaklı faktörler olmak üzere 2 ana başlığa indirgenerek incelenmektedir.

Dünyanın güneşe uzaklığı, volkan patlaması, doğada bulunan sera gazları iklim değişikliğine yol açan doğal faktörlere örnektir. Güneş ile dünya arasındaki enlem değiştiğinde, güneşin daha fazla veya daha az enerji yayması mevsimselliği ve iklimi değiştirmektedir (Members, 1988: 1044). Meydana

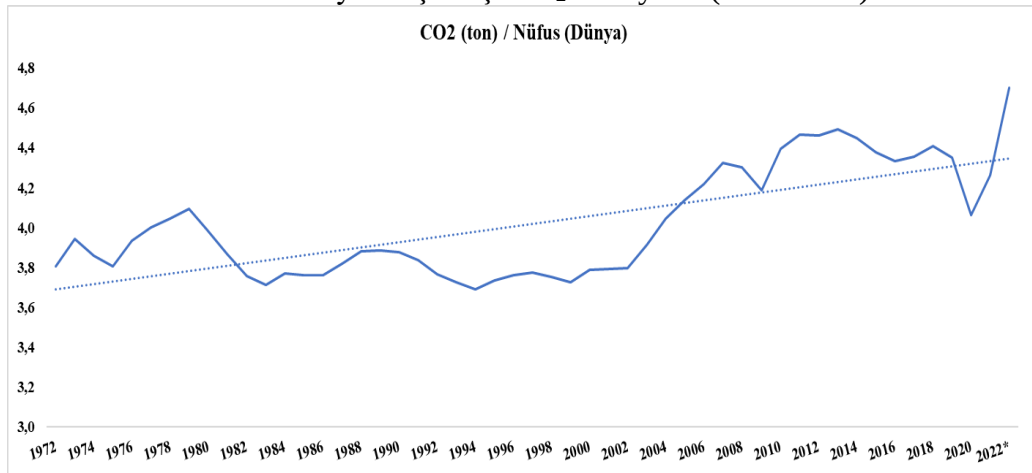
gelen bir volkan patlaması ise sonucunda oluşan volkanik püskürmeler ise; atmosfere ozon tabakasının incelmeyeine yol açan, birkaç farklı türde parçacık ve gaz enjekte etmektedir (Robock, 2000: 193).

Ancak BM himayesinde IPCC (2014), tarafından yayınlanan 5. değerlendirme raporuna göre; son 50 yılda iklim değışikliğı %95 ihtimalle insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. 20. yüzyılın ortalarından beri gözlemlenen ısınma eğilimi atmosferin dünyadan uzaya doğru yayılan sera etkisinin genişlemesine bağlamaktadır. Rapora göre endüstriyel faaliyetler, son 151 yılda atmosferdeki karbondioksit seviyelerini milyonda 280 parçadan milyonda 417 parçaya yükseltmiştir.

Küresel iklim değışikliğıne neden olan ve uluslararası anlaşmalarla azaltılmaya çalışılan başlıca 5 adet ana sera gazı bulunmaktadır. Bunlar; Karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄), Azot Protoksit (N₂O), Kloroflorokarbon (HFC), ve su buharıdır. Bu sera gazlarının çoğı doğal olarak atmosferde oluşmakta ancak son yıllarda insan faaliyetleri sonucu konsantrasyonları³² artmaktadır (Nica, Popescu ve Ibanescu, 2019: 209).

- **Karbon Dioksit (CO₂)**: Dünyanın karbon döngüsünün bir parçası olarak atmosferde doğal olarak bulunan karbon dioksit, 12-13 mikrometreden daha uzun dalga boylarına sahip güçlü bir termal kızılötesi enerji emicidir (Lindsey, 2009: 17). İnsan faaliyetleri yoluyla yayılan birincil ve en uzun ömürlü sera gazıdır. Karbondioksit, fosil yakıtların (kömür, doğal gaz ve petrol), katı atıkların, ağaçların ve diğer biyolojik maddelerin yakılması ve belirli kimyasal reaksiyonlar (çimento imalatı gibi) sonucu atmosfere salınmaktadır (Maunder, 1992: 28). Karbon dioksit; ısıyı hapseder ve yayarak küresel sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Grafik 11’de 1972’den günümüze atmosferde kişi başı CO₂ değışimi ton cinsinden gösterilmektedir.

Grafik 11: Dünya- Kişi Başı CO₂ Emisyonu (1972-2022)



Kaynak: 1972-2021 verileri International Energy Agency, <https://www.iea.org/data-and-statistics/> ‘den alınmıştır.

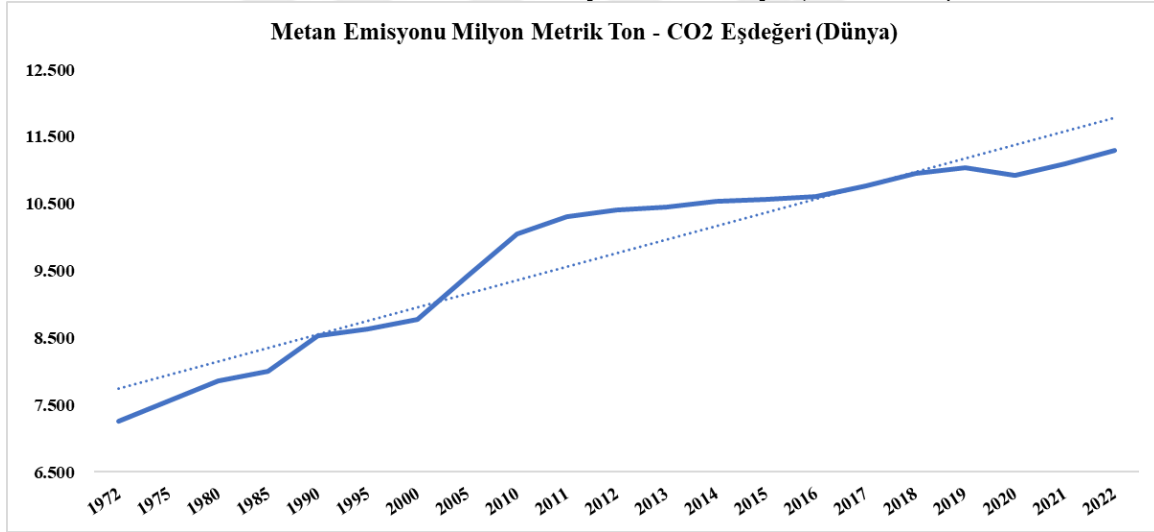
³² **Konsantrasyon:** Bir çözeltinin birim oylumuna düşen ortalama özdecik sayısı, derişiklik (Sinanoğlu, 1978).

(*) 2022 verisi Our World in Data, <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions> 'den alınmıştır.

Grafik 11'de CO₂ ton cinsinden olup, toplam nüfusa oranlanarak gösterilmektedir. Grafik 11 incelendiğinde, 1970'lerde ortalama %3 olan kişi başı CO₂ emisyonunun günümüzde, ortalama %5 seviyesine ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu durum CO₂ konsantrasyonunun eş anlı olarak hem arttığını hem de artış miktarının da hızlandığını göstermektedir.

- **Metan (CH₄)**: Bataklık gazı olarak da bilinen metan gazı, ozon oluşumunun birincil nedeni hava kirleticisi bir sera gazıdır (Gilpin, 1976: 102). Özellikle tarım, hayvancılıkla ilişkili bazı olaylar (hayvanların sindirimi ve gübre yönetimi) olmak üzere hem doğal kaynaklar hem de insan faaliyetleri yoluyla atmosfere salınmaktadır. Molekül bazda metan gazı, karbondioksitten daha aktiftir ancak atmosferde daha az miktarda bulunmaktadır. Aynı zamanda CH₄, atmosferde CO₂'den 10 yıl daha fazla ömre sahip olması nedeniyle önemli bir etkiye sahiptir (Turkenburg, 2012: 198). Bu nedenle CH₄, emisyonlarındaki azalma atmosferik konsantrasyonlarında nispeten hızlı bir azalmaya yol açacaktır. Grafik 12'de güncel dünya CH₄ verisi CO₂ eşdeğeri ile kilo ton cinsinden gösterilmektedir.

Grafik 12: Metan Gazı Emisyonları - Dünya (1972-2022)



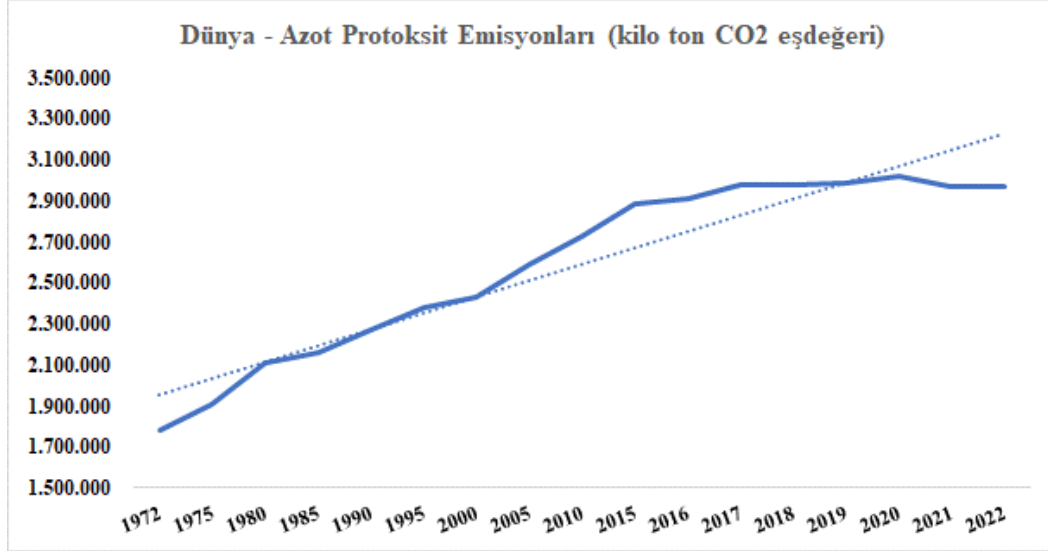
Kaynak: Statistica, <https://www.statista.com/statistics/1298441/annual-global-methane-emissions/> 'den alınan veriler grafik hâline getirilmiştir (Erişim:27.12.2023).

Grafik 12 incelendiğinde, 1970'lerden günümüze atmosferdeki CH₄ salınımının sürekli olarak arttığı gözlemlenmektedir. Son 30 yıl değerlendirildiğinde dünyadaki metan gazının en yüksek seviyeye 2022'de ulaştığı gözlemlenmektedir. Ek 7, Tablo 87'de CH₄ verisi G20 ülkeleri için gösterilmektedir. G20 ülkeleri özelinde CH₄ değerlendirildiğinde; en fazla salınım yapan ülkelerin; Çin, Amerika, Hindistan, Rusya ve Brezilya olduğu gözlemlenmektedir. Fransa ve Japonya ise CH₄ salınımını kademeli olarak azaltmaktadır.

- **Azot Protoksit (N₂O)**: Azot Protoksit de dünyanın karbon döngüsünün bir parçası olarak atmosferde doğal olarak bulunmaktadır. Ancak insan faaliyetleri ile atmosfere salınımı artmaktadır.

Global çapta N₂O'nun %40'ı insan faaliyetleri sonucunda üretilmektedir. Özellikle ticari ve organik gübre kullanımı, araç yakıt kullanımı, fosil yakıt yakma (kömür başta olmak üzere), nitrik asit üretimi, atık su yönetimi ve biyokütle yakma gibi toprak işleme uygulamaları ile oluşan bir gazdır (Thomas, 2013: 115). Uzun ömürlü olan N₂O, parçalanmadan önce gökyüzünde ortalama 114 yıl geçirmektedir. Ozon tabakasının incelmesine neden olmaktadır. Grafik 13'te dünyadaki N₂O emisyonunun CO₂ eşdeğeri bin metrik ton cinsinden gösterilmektedir.

Grafik 13: Dünya N₂O Emisyonu 1972-2022 (bin metrik ton)



Kaynak: 1990-2020 arası veriler World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.NOXE.KT.CE> 'den alınan veriler grafik hâline getirilmiştir (Erişim: 23.04.2024).

Not: 1972, 1975, 1980, 1985, 2021 ve 2022 verisi Our World in Data, <https://ourworldindata.org/grapher/nitrous-oxide-emissions?tab=table> 'den alınmıştır (Erişim: 23.04.2024).

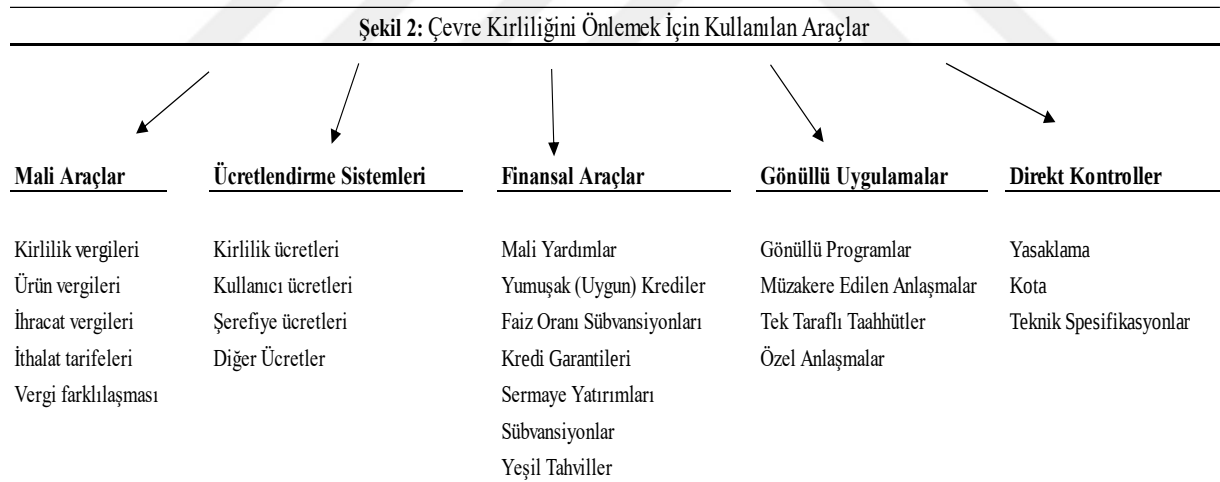
Grafik 13 incelendiğinde, 1972'lerden günümüze dünyadaki N₂O emisyonunun arttığı gözlemlenmektedir. Son 30 yıl değerlendirildiğinde, atmosferdeki N₂O emisyonunun 2020'de en yüksek seviyeye ulaştığı gözlemlenmektedir. 2021 ve 2022'deki düşüşün nedenini 2020'de yaşanan Pandemi nedeniyle azalan faaliyetlere bağlamak mümkündür. Ek 9, Tablo 90'da N₂O verisi G20 ülkeleri için gösterilmektedir. G20 ülkeleri özelinde CH₄ değerlendirildiğinde; ortalama en fazla salınım yapan ülkelerin; Çin, Amerika, Hindistan, Brezilya ve Rusya olduğu gözlemlenmektedir. Fransa, İtalya ve Japonya ise N₂O salınımını kademeli olarak azaltmaktadır.

- **Kloroflorokarbon (CFC):** Karbon, klor ve flor atomları içeren yanıcı olmayan kloroflorokarbonlar endüstriyel kökenli sentetik bileşiklerdir. Elektronik endüstrisinde soğutucu, çözücü, yağ giderme maddeleri, plastik oluşumunda şişirme maddeleri ve aerosol kutuları için itici gazlar olarak kullanılmaktadırlar. Stratosferde UV ışığına maruz kaldığında klor üreten CFC, ozon tabakasının delinmesine neden olmaktadır.

- **Su Buharı:** Isıyı tutma özelliğine sahip su buharı, dünya ısındıkça buharlaşma hızı arttığı için artan bir sera gazıdır. Isınan hava, soğuk havadan daha fazla nem tutmaktadır. Bu nedenle, sera gazı emisyonları arttıkça ve küresel sıcaklıklar yükseldikçe, atmosferdeki toplam su buharı miktarı da artmakta ve ısınma etkisini daha da göstermektedir. Su buharının dağılımı; hava durumu, bulutlar, yağış, radyasyon dengesi, konvektif yükselme, yıldırım oluşumu ve ozon deliği dahil atmosferin birçok fiziksel ve kimyasal özelliğini etkilemektedir.

2.3. Çevre Kirliliğini Önlemeye Yönelik Politika ve Araçlar

Çevre kirliliğinin meydana getirdiği zararları önlemek, azaltmak ve elimine etmek için ulusal ve uluslararası çözüm arayışları neticesinde çeşitli politika ve araçlar geliştirilmiştir. Uluslararası alanda çevre kirliliğini önlemek için çeşitli düzenlemeler, bilgilendirme programları, inovasyon politikaları, hukuki düzenlemeler, çevre sübvansiyonları ve vergiler dahil olmak birçok politika aracı bulunmaktadır (OECD; 2011: 1). Bu politika araçları birçok sınıflamaya göre ayrılmakta ve uygulamalar ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Çalışmada çevre kirliliğini önlemeye yönelik kullanılan enstrümanlar; mali araçlar, ücretlendirme sistemleri, finansal araçlar ve gönüllü uygulamalar olarak üzere 4 ana grupta açıklanacaktır. Şekil 2’de çevre kirliliğini önlemek için kullanılan araçların sınıflandırması yer almaktadır.



Kaynak: Panayotou, 1994: 9; OECD, 2007a: 25; OECD, 2002: 3; Centre for Environmental Rights, 2016: 33; Oates ve Baumol, 1975: 97’den yararlanarak şekil hâline getirilmiştir.

Kullanılacak politika aracının, sürdürülebilirliği göz önünde bulundurularak, ülkenin kendi iç dinamiklerine göre belirlenmesi önem arz etmektedir. Literatürde çevre politikası araçlarının değerlendirilmesine yönelik dört temel kriter bulunmaktadır (Haïtes ve Pichs, 2018: 751);

- Çevresel etkinlik; bir politikanın amaçlanan çevresel hedefi ne ölçüde karşıladığı veya olumlu çevresel sonuçları ne ölçüde gerçekleştirdiği ile ilintilidir. Çevre politikası araçlarının ve

uluslararası anlaşmaların temel amacı, insan eyleminin çevre üzerindeki olumsuz etkisini azaltmaktır. Herhangi bir politikanın çevresel etkinliği, tasarımına, uygulanmasına, katılımına, sıklığına ve uyumluluğuna bağlıdır.

- Maliyet etkinliği; politikanın hedeflerine topluma minimum maliyetle ulaşma derecesi ile ilintilidir. Bir politikanın maliyet etkinliği, kaynakların kıt olduğu bir dünyada önemli bir karar parametresidir. Belirli bir çevresel kalite hedefi göz önüne alındığında, en uygun maliyetli politika, istenen hedefe en az maliyetle ulaşan politikadır.
- Dağıtım ile ilgili hususlar; adalet ve hakkaniyet gibi boyutları da içeren, ancak başka boyutlar da bulunan bir politikanın görülme sıklığı veya dağıtımsal sonuçları ile ilintilidir.
- Kurumsal fizibilite; bir politika aracının meşru görülme, kabul edilme, benimsenme ve uygulanma ihtimalinin derecesidir. Politika tercihlerinin hem geniş bir paydaş kitlesi tarafından kabul edilebilir olması hem de başta hukuk sistemi olmak üzere kurumlar tarafından desteklenmesi gerekmektedir. Mevcut kurumsal kısıtlamalara iyi uyum sağlayan çevre politikaları yüksek derecede kurumsal fizibiliteye sahiptir.

2.3.1. Çevreyi Korumak İçin Kullanılan Mali Araçlar

Çevreyi korumak için kullanılan mali araçlar; çevre (kirlilik) vergileri, ürün vergileri, ihracat ve ithalat vergileri, vergi farklılaştırma olarak sınıflandırılabilir (Panayotou, 1994: 16-18).

Çevre (Kirlilik) Vergileri: Çevreyi kirleten üretici ve tüketicileri, kısa vadede emisyonları azaltmaya ve uzun vadede temiz üretimi artırmaya teşvik etmek amacıyla uygulanan vergilerdir. Kısa vadede bu vergiler, üretimi ve/veya tüketimi çevreye zarar veren ürünlerin üretimini ve tüketimini azaltabilmektedir. Uzun vadede ise çevreye verilen zararı azaltırken tüketici talebini karşılayan yeni üretim yöntemlerinin ve yeni ürünlerin geliştirilmesini teşvik etmektedir (OECD, 2008:16). Uygulamada, atmosfere salınan her ton sera gazı için çevreyi kirleten taraftan ya da çevresel dışsallıklarla ilişkili nihai ürünlerden vergi alınmaktadır (IPCC, 2018: 755, Panayotou, 1994: 16). Çevre kirliliğini önlemeye yönelik kullanılan araçlardan bir tanesi olan çevre vergilerinin; çevresel etkinlik, şeffaflık, ekonomik verimliliği ve kamu gelirini artırma gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Ayrıca çevre vergileri, atık bertarafı, su kirliliği ve hava emisyonları gibi çok çeşitli sorunların çözümünde kullanılmaktadır (OECD; 2011: 1). Çevre vergileri; enerji (CO₂ dahil), nakliye, kirlilik, kaynak (petrol ve gaz hariç) olmak üzere 4 ana kategoriye ayrılabilir (European Commission, 2001: 12; Sackitey: 2022: 6);

- ***Enerji Vergileri (CO₂ dahil):*** Enerji vergileri; enerji üretimi ve ilgili ürünlere ilişkin vergileri içermektedir. Karbondioksit vergileri de bu vergi kategorisine dahil edilmektedir. Benzer şekilde sera gazları, biyoyakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin vergiler de kirlilik vergileri yerine enerji vergileri kapsamında sınıflandırılmaktadır. Enerji vergilerinin amacı;

enerji tüketimini caydırmak ve tüketilen enerji birimi başına fiyatı artırarak yenilenebilir enerji çözümlerini teşvik etmektir (UNEP, 2016: 146).

- **Nakliye Vergileri:** Motorlu taşıtların mülkiyeti ve kullanımına ilişkin vergileri içermektedir. Uçak, gemi vb. farklı ulaşım ekipmanlarına ve diğer ilgili ulaşım hizmetlerine ilişkin vergiler de bu sınıflamaya dahil edilmektedir. Ekipmanın ithalatı veya satışıyla ilgili 'tek seferlik' vergiler veya yıllık yol vergisi gibi tekrarlanan vergiler olabilir.
- **Kirlilik Vergileri:** Havaya ve suya ölçülen veya tahmin edilen emisyonlara, katı atık ve gürültü yönetimine ilişkin vergileri içermektedir. Genel olarak bu faaliyetlerden toplanan vergiler, kirliliğin önlenmesine ve atıkların temizlenmesinde kullanılmaktadır.
- **Kaynak Vergileri (petrol ve gaz hariç):** Doğal kaynakların çıkarılmasının kirlilik ve toprak erozyonu gibi bazı çevre sorunlarına yol açması nedeniyle kullanılan araçlardan bir tanesi kaynak vergileridir (European Commission, 2001: 12). Çevreye verilen zararı sınırlamaya yönelik temel bir yaklaşımdır ve başlangıçtan itibaren kaynak verimliliğine yönelik teşviki artırmayı amaçlamaktadır (Roberts, 2011: 214). Doğal kaynakların çıkarılmasına bağlı olan kaynak vergileri; su, orman, bitki yaşamı, vahşi hayvanlar ve tükenen kaynakların tekrar çevreye dönüştürülmesi/ iyileştirilmesinde kullanılmak üzere alınmaktadır. Petrol ve doğal gaz çıkarımından alınan vergiler, kaynak vergilerinden ayrı tutulmaktadır.

Çevre vergisinin uygulamalarına ilişkin kurumların politika önerileri şu şekilde açıklanabilir;

- Çevre vergisi matrahları, birkaç istisna dışında, kirletici veya kirletici davranışlarını hedef almalıdır (OECD; 2011: 1-5);
- Çevre vergisinin kapsamı ideal olarak çevreye verilen zararın kapsamı kadar geniş olmalıdır,
- Vergi oranı çevreye verilen zararla orantılı olmalıdır. Vergi oranı genel olarak toplumun çevreye verdiği zararın değerini, faaliyetin diğer olumsuz yayılma etkilerini ve kamu gelirlerini artırma ihtiyacını yansıtacak şekilde ayarlanmalıdır. Böylelikle üreticilerin ve tüketicilerin karşılaştığı fiyatların, eylemlerinin çevresel maliyetini yansıtmaları sağlanmaktadır. Bu onlara kararlarında bu etkileri dikkate almaları için mali bir teşvik sağlamaktadır (OECD; 2011: 1-5);
- Kömür, doğal gaz ve petrol ürünlerinden kaynaklanan karbon ve yerel kirlilik için çevresel vergilerin doğrudan alınması gerekmektedir. Hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan elektrik ve araç sahiplerinden alınan vergiler ise azaltılmalıdır (Heine, Norregaard ve Parry 2012: 6).
- Çevresel iyileştirmeleri teşvik etmek için verginin güvenilir ve oranının öngörülebilir olması gerekmektedir. Vergi oranlarının güncellenmesi süreci, kamuoyunun gelecekteki değişikliklerin potansiyel belirleyicilerini ve zamanlamasını anlayabilmesi için şeffaf olmalıdır. Açık iletişim, çevresel vergilendirmenin kamuoyu tarafından kabul edilmesi açısından önemlidir (OECD; 2011: 1-5).

- Çevresel vergi gelirleri mali konsolidasyona yardımcı olabilir veya diğer vergilerin azaltılmasına yardımcı olabilir (OECD; 2011: 1-5);
- Belirli sorunları çözmek için çevre vergilerinin diğer politika araçlarıyla birleştirilmesi gerekebilir (OECD; 2011: 1-5);

Ürün Vergileri: Üretimi veya tüketimi kirlilik dışsallıklarıyla ilişkili olan nihai ürünlere uygulanan vergiler, dolaylı araçlardan bir tanesidir. Özellikle emisyonların doğrudan izlenmesinin zor olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Emisyon veya atıkların kaynaklarının ve seviyelerinin izlenmesine gerek yoktur ve ürün vergileri, satış, ihracat veya ithalat esnasında üreticilerden tahsil edilmektedir (Panayotou, 1994: 17). Dolayısıyla ürünlere uygulanan vergiler, kirlilik azaltma teknolojilerinin geliştirilmesi ve kurulması için teşvik sağlamamaktadır. Kirlilik yükünün bir kısmı veya tamamı nihai ürünün fiyatına yansıtılmaktadır.

İhracat Vergileri: İhracat vergileri, artan oranlı ya da ürünün değerinin yüzdesel bir vergisi olarak belirtilen değer esaslı bir vergi veya bir ürünün birimi başına ödenecek sabit bir tutar olarak belirtilen belirli bir vergi şeklinde olabilir (WTO, 2004: 3). Ancak ihracat vergilerinin çevre üzerinde olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Örnek olarak; keresteye uygulanan bir ihracat vergisi, yerli ağaç işleme endüstrisinin gelişimini teşvik etmekte ve ormanların tükenmesine neden olmaktadır. Bir diğer dezavantajı ise; ihracat vergileri, ihracat hacmini azaltma etkisine sahiptir bu nedenle bir tür kısıtlama olarak kabul edilmektedir.

İthalat Tarifeleri (Gümrük Vergisi): İthalat tarifesi veya ithalatta gümrük vergisi, ithal edilen malların ithalatından dolayı alınan vergi türüdür. Gümrük vergilerinin çoğu ad valorem esasına göre; ithal edilen malın değerine göre uygulanmaktadır. Diğer türler, ithalatın sayısına veya ağırlığına dayalı özel tarifeleri içermektedir. İthalat tarifeleri, karbon yoğun endüstrilerde temiz endüstrilere göre daha düşük olma eğilimindedir (World Trade Organization, 2023: 26). İthalat tarifelerini gözden geçirerek ve yeniden dengeleyerek, küresel geliri artırma ve karbon emisyonlarını azaltma fırsatları önemli ölçüde artırılabilir.

Vergi Farklılaştırması: Vergi farklılaştırması, çevresel olarak istenmeyen davranışlara ilişkin örtülü vergilerdir (Stavins, 2001: 18). Vergi farklılaştırmasının amacı kirletici ürünlerden çevre dostu ikâme ürünlere geçişi teşvik etmektir. Hammaddeler ve ara ürünler söz konusu olduğunda, tek tip bir çevre vergisi, eğer bazı girdiler veya kullanımlar diğerlerinden daha fazla çevresel zarara neden oluyorsa, çarpıklıklara ve ters teşviklere yol açabilmektedir. Bu sorunu çözmek için genellikle farklı bir vergi yapısı uygulanmaktadır. Daha yüksek düzeyde dışsallığa sahip malzemelere daha yüksek vergi oranları uygulanırken; çevre dostu ürünlerin normal vergi oranları düşürülmektedir (Panayotou, 1994: 17).

2.3.2. Çevreyi Korumak İçin Kullanılan Ücretlendirme (Masraf) Sistemleri

Masraf veya ücret sistemleri, hükümete veya örneğin çevre fonu veya su yönetim kurulu gibi genel hükümet dışındaki kurumlara yapılan zorunlu ödemeler olarak tanımlanmaktadır (European Commission, 2001: 31). Çevreyi korumak için kullanılan ücretlendirme sistemleri; kirlilik ücretleri, kullanıcı ücretleri, şerefiye ve çevreye zarar veren faaliyetlere ilişkin diğer ücretler olarak sınıflandırılabilir (Panayotou, 1994: 16-18; Centre for Environmental Rights, 2016: 33).

Kirlilik Ücretleri: Belirli davranışları caydırmak, kirlilik kontrolünün teşvik edilmesini sağlamak için kullanılan kirlilik ücretleri, gaz, sıvı veya katı atıklar üzerinden alınmaktadır (Panayotou, 1994: 19). Bu politika aracı, fabrikalar ve elektrik santralleri gibi büyük, sabit emisyon kaynakları için uygulanmaktadır. Üretim tesislerinde kirlilik ölçülmekte ve üretilen birim başına ücret ödemesi şeklinde uygulanmaktadır (Roberts, 2011: 211).

Kullanıcı Ücretleri: Kullanıcı ücretleri genellikle belirli bir çevresel hizmetten doğrudan yararlananların, bu hizmetin sağlanmasını finanse etmesini gerektirecek şekilde yapılandırılmıştır (Stavins, 2001: 12). Kullanıcı ücretleri, israfın azaltılması, talebin yönetilmesi ve tasarruf sağlanmasına yönelik araçlardır ve ikincil olarak, maliyetlerin telafi edilmesine veya arzın genişletilmesinin finansmanına yönelik kullanılmaktadır (Panayotou, 1994: 19).

Şerefiye Ücretleri: Şerefiye ücretleri genellikle kamu yatırımlarından yararlanan özel mülkiyete uygulanmaktadır. Örneğin, yeni yollar, parklar, çevre temizlikleri vb. sonucunda özel mülkiyet değerleri artmaktadır. Kısmi maliyet telafisi için gelirlerin toplanması amacıyla şerefiye ücretleri uygulanmaktadır.

Çevreye Zarar Veren Faaliyetlere İlişkin Diğer Ücretler: Uygulamada birçok farklı ücretlendirme aracı bulunmaktadır. Örnek olarak; gürültü kirliliğini önlemek için gürültüyle ilgili havaalanı iniş ücretleri uygulaması bazı OECD ülkelerinde kullanılmaktadır (Huppes, 2001: 26). Orta ve Doğu Avrupa'daki ülkeler çevre yönetiminde hava ve su kirliliği ücretleri kullanmaktadır (Stavins, 2001: 8).

2.3.3. Çevreyi Korumak İçin Kullanılan Finansal Araçlar

Finansal araçlar, çevreye duyarlı yatırımcıların sosyal açıdan sorumlu yatırımlar için ödeme yapma istekliliğine yönelik araçlardır ve sürdürülebilir kalkınma için ek mali kaynaklar olarak kullanılmaktadır (Panayotou, 1994: 20). Çevreyi korumak için uluslararası çapta kullanılan finansal araçlar; mali yardımlar, uygun krediler, faiz oranı sübvansiyonları, kredi garantileri, sermaye yatırımları, sübvansiyonlar, yeşil tahviller ve yer değiştirme teşvikleri olarak sınıflandırılabilir (OECD, 2007a: 25; Panayotou, 1994: 9).

Mali Yardımlar/ Hibeler: Mali yardımlar ve hibeler ve yatırımın önündeki engelin sermaye veya finansman fırsatlarına erişim eksikliği olduğu durumlarda, sürdürülebilirlik yatırımlarını ve projelerini desteklemek amacıyla kamu yönetimi tarafından şirketlere veya bireylere sağlanan bir mali yardım şeklidir (UNEP, 2016: 174). Bir başka ifade ile çevre dostu uygulamalar yapan veya çevre dostu teknolojiler kullanan şirket veya kişilere sağlanan mali teşviklerdir. Mali teşvikler hükümetler tarafından yeni, daha az sera gazı salan teknolojilerin yayılmasını teşvik etmek için sıklıkla kullanılmaktadır (IPCC, 2018: 747). Kaynak tarafından hibeye başka koşullar eklenebilmesine rağmen, alıcı tarafından geri ödeme yapılmasını gerektirmemektedir. Fonların kaynaktan alıcıya doğrudan transfer edildiği hibeler bu nedenle, çevre yatırımlarında başvuru sahibi açısından en cazip araçlardan bir tanesi kabul edilmektedir. Hibelerin en büyük dezavantajı “bedava para” ile ilişkilendirilen ahlaki tehliktir (OECD, 2007a: 26). Bu nedenle hibe alan projelerin özel olarak takip edilmesi gerekmektedir.

Yumuşak (Uygun) Krediler: Uygun kredilerin amacı, sürdürülebilirlik iyileştirmeleriyle ilgili yüksek başlangıç maliyetlerinin üstesinden gelmek için mali yardım sağlamaktır (UNEP, 2016: 183). Az gelişmiş mali piyasalara sahip ülkelerde kullanılan yumuşak krediler, çevresel yatırımlara yönelik kullanılmaktadır. Bu krediler, faiz oranlarının düşürülmesi, geri ödemesiz süreler için ödenek ve daha uzun geri ödeme süreleri ile yumuşatılıp, uygun hâle getirilmektedir (OECD, 2007a: 26). Uygun kredi alıcıları, hibelerin aksine, proje sonuçlarından sorumlu olduğu için, daha fazla paydaşın katılımını gerektirmektedir. Bu nedenle hibelerle ilişkili ahlaki tehlike sorunu ortadan kalkmakta ve daha fazla mali disiplini teşvik etmektedir.

Faiz Oranı Sübvansiyonları: Doğrudan hibenin özel bir durumu olan faiz oranı sübvansiyonları, bir kredinin efektif faiz oranını düşürmek için kullanılmaktadır. Değeri sabit bir tutar olarak veya daha tipik olarak, kredinin ömrü boyunca geçerli ticari faiz oranlarındaki toplam faiz ödemelerinden daha düşük bir sübvansiyonlu oran için faiz ödemelerinin çıkarılması arasındaki fark olarak belirlenmektedir (OECD, 2007a: 27). Bazı durumlarda, faiz oranı sübvansiyonu belirli bir hedef faiz oranına sabitlenmekte veya ticari oranın %2 veya %5'i gibi bir indirim uygulanmaktadır. Faiz oranı sübvansiyonu böylelikle, çevre fonu veya bağışçı gibi üçüncü bir tarafça verilen bir indirim olarak kullanılmaktadır.

Kredi Garantileri: Çevresel hedeflere ulaşılması ve/veya çevreyle ilgili yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve yayılması için kullanılan araçlardan bir tanesidir (OECD, 2008: 23). Borçlunun krediyi ödemede temerrüde düşmesi durumunda üçüncü bir tarafın borç verene tazminat ödeme konusunda yasal sorumluluk üstlendiği bir mekanizmadır (OECD, 2007a: 28).

Sermaye Yatırımları: Özel girişimler için özsermaye, operasyonların genişletilmesi, modernizasyon veya kısa vadeli borç finansmanı gibi çeşitli amaçlarla kullanılan bir sermaye kaynağı olarak görülebilir. Çevresel eşitlik, şirketin genel operasyonlarından ziyade çevresel amaçlara ayrılan sermayeyi ifade eder. Sonuç olarak, özsermaye diğer sermayelere göre daha cazip şartlarda elde

edilebilir. Bu mekanizma, çevre kontrol ekipmanı üretmeyi veya danışmanlık hizmetleri sağlamayı planlayan yeni kurulan işletmeler için en yaygın olanıdır (OECD, 2007a: 27-28).

Sübvansiyonlar: Sübvansiyonlar, üretim düzeylerini, fiyatlarını veya üretim faktörlerinin ücretlerini etkilemek amacıyla hükümet tarafından üreticilere yapılan doğrudan ödemeler, vergi indirimleri, fiyat destekleri veya bunların eşdeğeri olan karşılıksız ödemeler olarak tanımlanmaktadır (European Commission, 2001: 18; IPCC, 2018: 750). Pozitif dışsallık durumunda piyasa verimsizliğini düzeltmeye yönelik kullanılmaktadır (Harris ve Roach, 2018: 51). Bireyleri veya işletmeleri daha çevre dostu davranmaya motive etmek için kullanılan mali araçlardan bir tanesidir. Sübvansiyonlar; doğrudan düzenlemelerin uygulanmasını hızlandırmakta, yeni düzenlemelere uyumun gerektirdiği sermaye yatırımlarından kaynaklanan nakit akışı sorunları veya mali zorluklarla karşı karşıya kalan firmalara, özellikle de küçük firmalara yardımcı olmakta, kirlilik kontrol ekipmanlarının ve daha temiz teknolojilerin araştırılmasını, geliştirilmesini ve tanıtılmasını desteklemektedir (Panayotou, 1994: 25). Sübvansiyonların en önemli dezavantajı ise kaynak tahsili kararlarını olumsuz yönde etkilemesidir. Örnek olarak; akaryakıt vergisi indirimleri ve sübvansiyonlu enerji fiyatları, fosil yakıtların kullanımını ve sera gazı emisyonlarını artırmaktadır. Karayolu taşımacılığına yönelik sübvansiyonlar trafik sıkışıklığını ve kirliliği artırmaktadır. Tarımsal sübvansiyonlar pestisit ve gübrelerin aşırı kullanımına yol açmaktadır (OECD, 2008: 11).

Yeşil Tahviller: Çevreye faydalı veya iklimle ilgili özelliklere sahip projeleri veya varlıkları finanse etmek veya yeniden finanse etmek için fon toplamak amacıyla kullanılan sabit gelirli ve bazen de piyasaya bağlı finansal araçlardır. Banka veya şirketler, büyük ölçekli bir yeşil projeyi finanse etmek için, finansal piyasalarda işlem görmek üzere tahvil ihraç etmektedir. Yeşil tahvil piyasada vade riski, iflas riski, faiz riski, yeniden yatırım riski, enflasyon riski ve likidite riskine göre fiyatlanmaktadır (UNDP, 2022: 44).

2.3.4. Çevreyi Korumak İçin kullanılan Gönüllü Uygulama ve Araçlar

Son yıllarda çevre politikası nitelik değiştirmekte olup, günümüzde çevre düzenlemesine alternatif yeni yaklaşımlar getirilmektedir. Çevre politikasında son zamanlardaki önemli bir eğilim, çeşitli çevresel hedeflere ulaşmak amacıyla kullanılan gönüllü programlardır. Gönüllü yaklaşımlar, firmaların çevresel performanslarını yasal gerekliliklerin ötesinde iyileştirmeye yönelik taahhütlerde bulundukları planlardır. Gönüllü programlar, müzakere edilen anlaşmalar, tek taraflı taahhütler ve özel anlaşmalar olarak sınıflandırılmaktadır (OECD, 2002: 3).

Gönüllü Programlar: Gönüllü programlar, kirlетici sektörlerin işbirlikçi bir süreç yoluyla kendi kendini düzenlemesi yoluyla esnekliği artırmaya çalışmaktadır (Sánchez ve Deza, 2015: 68). Gönüllü programlar, bir kamu kurumu (bu bir devlet kurumu veya bir STK) tarafından tasarlanan ve bireysel firmaların katılmaya davet edildiği taahhütleri içermektedir. Gönüllü programların doğası diğer politika

araçlarından tamamen farklıdır çünkü bir uygulama tekniği oluşturulmamaktadır (Žičkienė, 2007: 43). Gönüllü programlara katılım, şirketlere bırakılan bir tercih olduğundan isteğe bağlı düzenlemeler olarak da görülebilir. Gönüllü program ve anlaşmaların amacı, otorite ve katılımcılar için hem esnek hem de uygun maliyetli ve sürdürülebilirlikte daha hızlı bir iyileşmeye yol açma potansiyeline sahip bir araç aracılığıyla düzenleyici önlemlere bir alternatif sunmaktır (UNEP, 2016: 212). Bu politika aracında sözleşmelere katılım zorunluluğu bulunmamaktadır. Gönüllü programlar firmalara kamu tarafından tanınma gibi avantaj sağladığı için, çevrenin korunmasına yönelik teşvik temelli araçlar olarak nitelendirilmektedir (Stavins, 2001: 3).

Müzakere Edilen Anlaşmalar: Müzakere edilen anlaşmalar, bir kamu otoritesi ile endüstri arasındaki pazarlık yoluyla geliştirilen çevre koruma taahhütlerini içermektedir. Bireysel firmalarla anlaşmalar da mümkün olsa da bunlar sıklıkla ulusal düzeyde bir sanayi sektörü ile bir kamu otoritesi arasında imzalanmaktadır. Endüstri ile hükümetler arasında kapsam ve sıklık açısından önemli ölçüde farklılık gösteren gönüllü anlaşmalar, hükümet ile sanayi arasında yakın iş birliği geleneğine sahip ülkelerde uygulanmaktadır (IPCC, 2018: 747). Müzakere edilen hedeflerin gerçekte karşılanmaması durumunda, hükümetlerin takip tedbirlerinin alınabileceğini belirtmesi halinde, müzakere edilen yaklaşımlar çevresel etkinliği artırılabilir (OECD, 2008: 28).

Tek Taraflı Taahhütler: Tek taraflı taahhütler, herhangi bir kamu otoritesinin katılımı olmadan bağımsız hareket eden sektör tarafından belirlenmektedir. Tek taraflı taahhüt uygulamasında hangi hedeflerin karşılanacağı, bu hedeflere nasıl ulaşılabileceği ve ilerlemenin kamuya açık olarak izlenip raporlanmayacağına, tek taraflı olarak karar veren sektör veya şirkettir (Žičkienė, 2007: 45).

Özel Anlaşmalar: Paydaşlar arasında doğrudan pazarlık yoluyla varılan özel anlaşmalar bulunmaktadır.

2.3.5. Çevreyi Korumak İçin Kullanılan Direkt Kontroller

Çevreyi korumak için kullanılan direkt kontrol yöntemleri; yasaklama, tayinlama (rasyonlama) ve teknik spesifikasyonlardır (Oates ve Baumol, 1975: 97).

Yasaklama: Bu araçlar, kirlilik yapanlar için zorunlu yasal normların oluşturulmasını içermekte ve çıkış sınırlarının belirlenmesi ve ürünlerin ve bunların ilgili kirlilik seviyelerinin karakterizasyonu ile endüstriyel süreçlerin üretim yoluyla çevresel kalite seviyelerinin garanti edilmesini amaçlamaktadır (Sánchez ve Deza, 2015: 68). Yasaklama uygulaması genel olarak şarta bağlı uygulanmaktadır. Örnek olarak; ürünlerle ilgili kurallar, kurumlarla ilgili kurallar, belirli tesislerin işletilmesine ilişkin izinler, faaliyetlere ilişkin gereklilikler ve çeşitli imar kanunları belirlenmektedir (Huppes, 2001: 32). Ayrıca, kirlilik yapanları kontrol etmek için bir izleme sistemi ve yerine getirilmediğinde ekonomik ve/veya cezai yaptırımları içermektedir.

Tayınlama: İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek ve çevreyi korumak için kullanılan diğer bir seçenek, fosil yakıtların arzını etkin bir şekilde sınırlayan çeşitli kısıtlamalar ve düzenlemeler getirmektir (Wood, Lawlor ve Freear, 2024: 13). Bu yöntem; emisyonları azaltmaya yardımcı olurken, aynı zamanda sınırlı kaynakların tükenmesini önlemek için kullanılmaktadır.

Teknik Spesifikasyonlar: Atık emisyonlarının izlenmesinin pratik olmadığı durumlarda, kirlетici faaliyetlere yönelik "teknik spesifikasyonlar" şeklindeki doğrudan kontroller, uygulanabilir tek politika aracı olabilir. Örneğin, eğer atmosfere kükürt dioksit emisyonlarının ölçülmesindeki zorluklar bir atık su ücreti programını engelliyorsa, kullanılan yakıtın kalitesine, yakıt brülörlerinin teknik özelliklerine vb. ilişkin gerekliliklerin getirilmesi mantıklı olabilir (Oates ve Baumol, 1975: 123).

2.4. Çevre ve Enerji İlişkisi

Her insanın yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olan enerji talebi, günden güne artmaktadır. Dünya nüfусundaki hızlı artış, gelişen teknoloji ve endüstrideki gelişmeler, talep artışının temel faktörleridir (IPCC, 2009: 7). Enerji talebi, sanayileşme ve kentleşme ile yaşamın merkezi haline gelmiştir. Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere özellikle Sanayi Devrimi; başta buhar motorları olmak üzere, enerji santralleri için kömür kullanımıyla, enerji kaynakları kullanımında önemli bir değişim sürecine girmesine neden olmuştur. Bu süreçle beraber enerji kaynakları kullanımında tüketim talebi artmıştır. Son yarım yüzyıla bakıldığında; 1970'lerde yaşanan petrol krizleri sonrasında petrol arzında yaşanan sorunlar, ülkelerin enerji arz güvenliğine yönelik tedbirler almasını zorunlu hale getirmiştir. Enerjiye erişimin kısıtlı olduğu, enerji arzının tehdit altında olduğu ekonomilerde, iktisadi gelişimle birlikte çok boyutlu sorunlar ortaya çıkmaktadır. Enerji yoksulluğu bir ekonomide var olan zorlukları artırmakla birlikte siyasi istikrarsızlığa, huzursuzluğa ve ekonomiye duyulan güvensizliğe yol açmaktadır (O'Sullivan, Overland ve Sandalow, 2017: 31).

Günümüzde birbiriyle bağlantılı temelde 3 enerji sorunu mevcuttur. Birincisi; enerji arzındaki değişimlerin artan küresel talebi karşılayabilme sorunudur. Birtakım nedenlerle arzda meydana kesintiler (iktisadi ve siyasi krizler gibi) alternatif enerji arayışlarını zorunlu kılmaktadır. Enerjide bağımlı olan ülkelerin, enerjiyi yüksek maliyetle ithal etmesi bir diğer sorundur. Üçüncü ve çalışmanın temel konusunu oluşturan sorun; fosil yakıt kullanımının çevreye verdiği zararın iklim değişikliğine neden olmasıdır. Petrol, kömür ve doğal gaz gibi geleneksel enerji kaynaklarının, ekonomik ilerlemede etkili bir itici güç unsuru olmasına karşın; aynı zamanda çevreye ve insan sağlığına zarar verdiği kanıtlanmıştır. Bu alandaki araştırmalar enerji üretimi ve tüketimi ile çevre kirliliği arasında doğrusal pozitif bir ilişkinin varlığını kanıtlamıştır. Dolayısı ile enerjinin üretim ve tüketimi iklim değişikliğinde global çapta politika yapıcıların kullandığı önemli bir değişiktir (Twidell ve Weir, 1986: 2). Bu nedenle, çevre kirliliğini incelerken, enerji kaynaklarını açıklamakta fayda vardır.

Enerji literatürü incelendiğinde, enerji kaynaklarını farklı yöntemlerle sınıflandıran çalışmalar olduğu görülmektedir. Kimi çalışmalar enerji kaynaklarını üretim süreçlerine göre, kimi çalışmalar ise enerjinin kaynaklarına göre sınıflandırma yapmaktadır. Bu çalışmanın konusuna istinaden enerji; çevre kirliliği ilişkisi açısından ele alınacaktır. Bu nedenle çalışmada çevre yenilenebilir (çevreye zarar vermeyen) ve yenilenemeyen (çevre kirleticisi) olmak üzere kaynaklarına göre sınıflandırılarak ele alınacaktır.

2.4.1. Yenilenebilir Enerji

Giderek artan enerji talebine karşı, sınırlı kaynakları gözetken, iklim değişikliğinin negatif etkilerini elimine eden, karbon içermeyen alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi sıklıkla tartışılmaktadır. Günümüzde ülkeler iktisadi gelişimlerinin sürekliliği ve kaynak temini açısından dışa bağımlılığı azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Enerji üretiminde karbon temelli üretim teknolojisi yerine, çevreyi koruyan yenilenebilir enerji kullanılması günümüz çevre politikalarında önemli bir rol oynamaktadır.

Yenilenebilir, zaman içinde kullanımla tükenmeyen enerji formları için kullanılan bir terimdir (World Energy Council, 2004: 2). Temiz enerji ya da yeşil enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji ise; sürekli yenilenen, tükenmeyen doğal kaynaklardan veya süreçlerden gelmektedir (Twidell ve Weir, 1986: 7). Yenilenebilir enerji kullanımının potansiyel faydaları bölgelere göre farklılık gösterse de genel hatları ile şu şekilde açıklanabilir;

- Yenilenebilir enerji, insan sağlığına ve doğal sistemlere zarar veren geleneksel enerji kaynaklarından kaynaklanan kirliliğe alternatif olarak çevresel emisyonları ve güvenlik risklerini azaltmaktadır (Turkenburg, 2012: 774),
- Tüm toplumlar için enerji kaynaklarına eşit ve adil erişimi garanti ederek; enerji sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunarak, sağlık üzerindeki pozitif etkisiyle yaşam standardını iyileştirmektedir (OECD, 2007b: 7-28),
- Sera gazı emisyonlarını sürdürülebilir seviyeye indirmektedir,
- Enerji projelerinin geliştirilmesi ile yenilenebilir enerji tesisleri kurulması; özellikle kırsal alanlarda iş fırsatlarının artmasında önemli bir rol oynamaktadır (Bergman vd, 2007: 617),
- Yenilenebilir enerji alternatif ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olması sebebiyle, daha fazla verim elde edilmektedir,
- Temiz enerji kaynaklarına ve dönüşüm teknolojilerine erişimin iyileştirilmesi, böylece BM Binyıl Kalkınma Hedeflerine ulaşmada katkıda bulunulması,

- Birçok ülkede yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi ve vergi muafiyetinin maliyetlere olumlu katkı sağlamasıdır (World Energy Council, 2004: 55).
- Yenilenebilir enerji üretimi, gelişmiş teknoloji altyapısını gerektirmektedir. Enerji sektörü ve bu sektörle ilgili tüm faaliyetlerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Maradin, 2020: 178).

Yenilenebilir enerji kullanımının oluşturabileceği negatif etki ve zorlukları ise genel hatları ile şu şekilde açıklanabilir;

- Her coğrafyanın iklimi farklı olduğu için, yenilenebilir enerji üretiminin standart kullanımı bulunmamaktadır. Bölgelere göre yenilenebilir enerji farklılık göstermekte aynı zamanda yıl içerisinde mevsim değişikliğine ve doğa şartlarındaki değişime göre, yenilenebilir enerji üretiminde dalgalanmalar yaşanabilmektedir,
- Yenilenebilir enerji üretimi tesislerinin kurulması için gerekli olan arazi temini; yakın çevre üzerinde ve doğal yaşamda, birtakım negatif etkileri olması muhtemeldir. Bu etkiler tesisin kurulacağı çevrenin tahribatı, doğa turizmi ve canlıların yaşamları ile doğrudan ilintilidir (Bergman vd, 2007: 617),
- Yenilenebilir enerji, geleneksel enerji üretimine kıyasla daha fazla emek yoğun üretimi gerektirmektedir (Rio ve Burguillo, 2007: 1332),
- Yeni bir yenilenebilir enerji tesisi kurmanın ilk yatırım maliyeti yenilenemeyen enerji kullanmaya kıyasla daha pahalıdır (Stavins, 2011: 16). Bu durum yenilenebilir enerji kullanmanın önündeki temel zorluklardan bir tanesidir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminin bir diğer olumsuz etkisi, düşük enerji yoğunluğu ve bazı kaynakların üretim sürecinde yarattığı gürültü sorunudur (Vezmar vd, 2014: 15-20).
- Yenilenebilir enerji sektöründe üretim teknolojisi fikri mülkiyet haklarını ön plana çıkarmaktadır. Teknolojiye sahip ülkeler için bu bir avantajken, teknoloji satın almak isteyen ülkeler için yeni bir maliyet yükü oluşturmaktadır (O’Sullivan, Overland ve Sandalow, 2017: 14).

Yenilenebilir enerjiyi üretim yöntemlerine göre 5 ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar; güneş, hidroelektrik, rüzgâr, jeotermal ve biokütledir (World Energy Assessment, 2000: 221). Dünyada 1972-2022 dönemleri arası yenilenebilir enerji tüketimi, seçili ülkeler (G20) için Tablo 5’te gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

Tablo 5: Yenilenebilir Enerji Tüketimi - Exajoules (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	-	-	-	-	0,00	0,04	0,04	0,11	0,86	2,90	8,52	11,27	13,30	2,85
ABD	0,2	0,2	0,3	0,41	0,73	0,86	0,95	1,34	2,89	4,53	6,65	7,47	8,43	2,69
Brezilya	0,0	0,0	0,1	0,23	0,31	0,38	0,36	0,46	1,00	1,58	2,20	2,36	2,53	0,89
Almanya	0,0	0,0	0,0	0,02	0,02	0,04	0,15	0,54	1,01	1,84	2,45	2,25	2,45	0,83
Hindistan	-	-	-	-	0,00	0,01	0,04	0,14	0,40	0,78	1,58	1,82	2,15	0,53
Japonya	0,0	0,0	0,0	0,14	0,13	0,16	0,19	0,28	0,33	0,72	1,20	1,37	1,53	0,47
İngiltere	-	-	-	0,00	0,01	0,02	0,05	0,14	0,29	0,84	1,35	1,24	1,36	0,41
İtalya	0,0	0,0	0,0	0,03	0,03	0,04	0,07	0,14	0,33	0,70	0,74	0,72	0,76	0,28
Fransa	0,0	0,0	0,0	0,02	0,02	0,03	0,05	0,08	0,26	0,48	0,71	0,72	0,81	0,25
Türkiye	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,17	0,50	0,62	0,69	0,16
Kanada	-	-	0,0	0,02	0,05	0,08	0,11	0,13	0,25	0,48	0,57	0,58	0,59	0,22
Endonezya	-	-	-	-	0,01	0,02	0,05	0,07	0,10	0,13	0,57	0,63	0,74	0,18
Avustralya	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,10	0,23	0,48	0,59	0,70	0,17
Güney Kore	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,14	0,36	0,42	0,52	0,11
Meksika	-	0,0	0,0	0,02	0,05	0,07	0,07	0,09	0,09	0,17	0,41	0,46	0,45	0,14
Arjantin	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,08	0,16	0,21	0,24	0,06
Rusya	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,06	0,08	0,02
Güney Afrika	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,06	0,12	0,15	0,16	0,04
Arabistan	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Avrupa Birliği	0,1	0,1	0,1	0,12	0,20	0,31	0,65	1,60	3,45	5,85	7,71	7,88	8,63	2,82
G20 Toplam	0,3	0,3	0,5	0,89	1,37	1,78	2,14	3,60	8,02	15,84	28,64	32,95	37,49	10,30
Dünya	0,4	0,4	0,7	1,12	1,73	2,20	2,88	4,85	10,55	19,91	34,87	39,97	45,18	12,67
G20/ Dünya	80,7%	76,2%	76,6%	79,3%	79,6%	80,6%	74,4%	74,2%	76,1%	79,6%	82,1%	82,4%	83,0%	78,8%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

Not1: Veriler birim olarak, farklı enerji kaynaklarının dönüştürülerek ifade edilen girdi-çıktı eşdeğeri ile gösterilmektedir.

Not2: Exajoules; Bir kentilyon (10^{18}) joule'e eşittir. Joule; metrik sistemde temel enerji birimidir (Princeton University, 1991: 137).

Tablo 5 incelendiğinde; güncel verilere göre dünyada en fazla yenilenebilir enerji tüketen ilk 5 ülke; Çin, ABD, Brezilya, Almanya ve Hindistan'dır. Tüm dünyada toplam yenilenebilir enerji tüketiminin ortalama %79'u G20 ülkeleri tarafından karşılanmaktadır. Çin ve ABD'nin diğer ülkelere kıyasla yenilenebilir enerji tüketiminde açık ara farkla önde olması göze çarpmaktadır. Tablo 5 incelendiğinde tüm dünyada toplam yenilenebilir enerji tüketiminin her yıl kademeli olarak arttığı gözlemlenmektedir ve son 50 yıl değerlendirildiğinde; yenilenebilir enerji yaklaşık %114 artmıştır.

2.4.1.1. Güneş Enerjisi

Yeryüzünün en büyük enerji kaynağı güneşin, ışınlarından üretilen güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir (IPCC, 2009: 337). Güneş enerjisi, fotoelektrik hücrelerle elektrik üretmek için güneş ışığını ve termal uygulamalar için güneş ısını kullanmanın bir dizi yolunu ifade etmektedir (World Energy Council, 2004: 14). Rüzgâr, hidroelektrik ve gelgitler gibi birçok yenilenebilir enerji kaynağı doğrudan güneşle ilgilidir. Güneş enerjisi yaygın olarak binalarda ve tesislerde ısı kullanımı için kullanılmaktadır. Güneş enerjisini enerji formuna dönüştüren teknolojiler şu şekilde açıklanabilir;

- **Solar Termal Panel:** Solar termal panel, ışığı emen, ısıtan ve ısıyı aktaran siyah bir yüzeydir. Bir güneş termal kollektörü, güneşten gelen radyan enerjiyi yakalayarak onu ısıya dönüştürmektedir (Twidell ve Weir, 1986: 146). Bu sistemle özellikle binaların enerji gereksinimi yüksek ölçüde sağlanmaktadır.

- **Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi:** Yek-odaklı güneş enerjisi olarak da adlandırılan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi, güneşten daha fazla düzeyde yararlanmak için kullanılmaktadır (Zhang vd. 2013 467). Işıklar aynalar tarafından yoğunlaştırılarak çok daha yüksek sıcaklık elde edilmesi sağlanmaktadır.

- **Güneş Kollektörleri:** Güneş kollektörleri, plaka olarak adlandırılan bir emici yüzey içermektedir (Twidell ve Weir, 1986: 118). Bu plakalar gün içerisinde mutlak düzeyde güneş ışınlarını toplamaktadır (Turner, 2001: 472). Bu tip birden fazla kollektör çeşidi bulunmaktadır. Toplanan ışınlar ısı ve elektriğe dönüştürülmektedir.

Tablo 6’da 1972-2022 dönemleri arası dünyada güneşten üretilip tüketilen toplam enerji, seçili ülkeler (G20) için gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

Tablo 6: Güneş Enerjisi Tüketimi - Exajoules (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,38	2,47	3,08	4,01	0,77
ABD	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,38	1,25	1,56	1,94	0,40
Japonya	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,33	0,71	0,87	0,96	0,23
Almanya	-	-	-	-	0,00	0,00	-	0,01	0,12	0,37	0,47	0,46	0,57	0,15
Hindistan	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,55	0,64	0,89	0,17
İtalya	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,22	0,24	0,24	0,26	0,07
Avustralya	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,23	0,29	0,36	0,07
İngiltere	-	-	-	0,00	-	-	0,00	0,00	0,00	0,07	0,12	0,11	0,13	0,03
Güney Kore	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,18	0,23	0,25	0,06
Fransa	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,12	0,14	0,19	0,04
Türkiye	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,10	0,13	0,15	0,03
Güney Afrika	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,06	0,06	0,02
Brezilya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,10	0,16	0,28	0,04
Meksika*	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,19	0,18	0,04
Kanada*	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,05	0,06	0,01
Rusya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01
Arjantin	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00
Arabistan	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Endonezya	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avrupa Birliği	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,02	0,23	0,97	1,37	1,54	1,95	0,47
G20 Toplam	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,24	2,06	6,82	8,29	10,36	2,14
Dünya	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,34	2,48	8,08	9,98	12,41	2,57
G20/ Dünya	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	98,1%	96,1%	94,5%	95,0%	72,0%	83,1%	84,5%	83,1%	83,4%	60,7%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

Not: Veriler birim olarak, farklı enerji kaynaklarının dönüştürülerek ifade edilen girdi-çıktı eşdeğeri ile gösterilmektedir.

Tablo 6 incelendiğinde; tüm dünyada ortalama güneş enerjisinin ortalama %61'inin G20 ülkeleri tarafından tüketildiği görülmektedir. Güncel verilere göre G20 ülkeleri arasında ortalama en fazla güneş enerjisi tüketen ilk 5 ülke; Çin, ABD, Japonya, Almanya ve Hindistan'dır. Arabistan, Endonezya, Arabistan, Arjantin, Rusya, Kanada, Brezilya, Güney Afrika ve Türkiye'de güneş enerjisi kullanımı oldukça azdır. Tablo 6 incelendiğinde, güneşten elde edilen enerjinin dünyada son 50 yılda büyük ölçüde arttığı gözlemlenmektedir. Güneş enerjisinin başta çevreye ve ekonomiye pozitif etkileri şu şekilde açıklanabilir;

- Güneş enerji kullanım teçhizatları çevreye gürültü veya kirlilik yaymamaktadır. Ve kullanılan bölgelerde büyük ölçüde CO₂ emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır (Vezmar vd, 2014: 16-17),
- Güneş enerjisi, kışın ısıtma potansiyelini artırmak ve yazın soğutma gereksinimlerini azaltmak için binaları güneşe doğru konumlandırarak veya yönlendirerek de kullanılabilir; böylece ısıtma ve soğutma için elektrik ve kazan yakıtlarına olan ihtiyacı azaltmaktadır (UNEP, 2015: 169-170);
- Binaların güneşin doğal ısını depolayacak şekilde tasarlanarak veya “pasif güneş sistemleri” olarak bilinen kullanımlar olan çatı pencereleri kullanılması ısıtma ve soğutma için elektriğe olan talebi azaltmaktadır,

Güneş enerjisinin başta çevreye ve ekonomiye negatif etkileri şu şekilde açıklanabilir;

- Bulutlu günlerde güneş enerji sistemi sürekli çalışacak şekilde termal enerji depolama veya yedekleme sistemleri dahil etmedikçe gece saatlerinde enerji sağlayamazlar bu ise yeni bir maliyet oluşturmaktadır (Zhang vd. 2013: 466).
- Düşük yoğunluk, coğrafi ve zaman farklılıkları verimli kullanım için büyük zorluklar oluşturmaktadır (World Energy Council, 2004: 12).
- Güneş enerji sisteminin kurulumu ve güneş enerjisi pillerinin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır.

2.4.1.2. Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik, türbinleri döndürmek ve elektrik üretmek için daha yüksek seviyelerden daha düşük seviyelere hareket eden sudan yararlanılan temel bir enerji kaynağıdır (Twidell ve Weir, 1986: 507). Suyun güneş enerjisi ile doğal olarak buharlaşmasına bağlı olan hidroelektrik, elektrik üretimi için kullanılan yenilenebilir kaynaktır (World Energy Assessment, 2000: 152). Bir hidroelektrik enerji aracı, belirli bir düşüşle akan bir su kütlesinin potansiyel enerjisini, santralin bulunduğu şemanın alt ucunda elektrik enerjisine dönüştürerek üretmektedir (European Union, 2012: 42). En eski enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik enerjisi 20. Yüzyılın başlarından itibaren kullanılmaya başlanmıştır (Wolfson, 2012: 122).

Tablo 7’de 1972-2022 dönemleri arası dünyada tüketilen toplam hidroelektrik enerjisi, seçili ülkeler (G20) için Exajoules cinsten gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

Tablo 7: Hidroelektrik Enerji Tüketimi - Exajoules (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	0,4	0,5	0,6	0,98	1,35	2,03	2,37	4,09	7,11	10,80	12,50	12,25	12,23	5,16
Kanada	1,9	2,2	2,7	3,23	3,15	3,56	3,80	3,73	3,51	3,71	3,65	3,61	3,74	3,26
ABD	3,0	3,3	3,0	3,06	3,11	3,31	2,90	2,75	2,57	2,39	2,67	2,35	2,43	2,83
Brezilya	0,5	0,8	1,4	1,90	2,20	2,70	3,24	3,48	4,03	3,49	3,75	3,42	4,01	2,68
Rusya	-	-	-	1,70	1,78	1,88	1,75	1,78	1,66	1,63	2,01	2,02	1,86	1,39
Hindistan	0,3	0,4	0,6	0,55	0,71	0,81	0,82	1,00	1,09	1,29	1,55	1,51	1,64	0,95
Japonya	0,9	0,9	0,9	0,88	0,93	0,84	0,90	0,80	0,88	0,83	0,73	0,75	0,70	0,84
Fransa	0,5	0,6	0,7	0,66	0,57	0,78	0,71	0,53	0,63	0,53	0,58	0,55	0,42	0,60
Türkiye	0,0	0,1	0,1	0,13	0,25	0,38	0,33	0,41	0,52	0,65	0,74	0,53	0,63	0,37
İtalya	0,4	0,4	0,5	0,44	0,34	0,40	0,47	0,37	0,51	0,44	0,45	0,43	0,26	0,42
Meksika	0,2	0,2	0,2	0,30	0,26	0,29	0,35	0,29	0,37	0,30	0,25	0,33	0,34	0,28
Arjantin	0,0	0,1	0,2	0,22	0,19	0,28	0,30	0,35	0,33	0,31	0,22	0,19	0,22	0,22
Almanya	0,1	0,2	0,2	0,19	0,18	0,23	0,27	0,20	0,21	0,18	0,17	0,19	0,16	0,19
Avustralya	0,1	0,2	0,1	0,15	0,16	0,17	0,18	0,16	0,14	0,14	0,14	0,15	0,16	0,15
Endonezya	0,0	0,0	0,0	0,03	0,07	0,09	0,11	0,11	0,17	0,13	0,23	0,23	0,26	0,11
İngiltere	0,0	0,0	0,0	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
Güney Kore	0,0	0,0	0,0	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03
Güney Afrika	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
Arabistan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avrupa Birliği	2,6	2,8	3,2	3,24	3,03	3,48	3,79	3,17	3,74	3,25	3,27	3,27	2,60	3,19
G20 Toplam	11,2	12,6	14,5	17,74	18,38	21,31	22,38	23,32	27,55	30,16	33,04	31,86	31,77	22,75
Dünya	13,7	15,4	18,4	21,07	22,98	26,44	28,17	30,01	34,27	37,61	41,21	40,40	40,68	28,49
G20/ Dünya	81,6%	81,5%	78,6%	84,2%	80,0%	80,6%	79,5%	77,7%	80,4%	80,2%	80,2%	78,8%	78,1%	80,1%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

Not: Veriler birim olarak, farklı enerji kaynaklarının dönüştürülerek ifade edilen girdi-çıkı eşdeğeri ile gösterilmektedir.

Tablo 7 incelendiğinde tüm dünyada ortalama hidroelektrik enerjisinin, %80’inin G20 ülkeleri tarafından tüketildiği görülmektedir. Güncel verilere göre G20 ülkeleri arasında ortalama en fazla hidroelektrik enerjisi tüketen ilk 5 ülke; Çin, Kanada, ABD, Brezilya ve Rusya’dır. Tablo 7 incelendiğinde hidroelektrik enerji tüketiminin dünyada son 50 yılda yaklaşık 2 katına çıktığı gözlemlenmektedir.

Hidroelektrik enerjisinin başta çevreye ve ekonomiye pozitif etkileri şu şekilde açıklanabilir;

- Çalışırken nispeten kirlilik içermeyen bir enerji üretimidir ve yakıt gerekmediğinden enerji üretim maliyetinin düşük olması nedeniyle, fosil yakıtlarla rekabet edilebilirlikte avantaj sağlamaktadır (Vezmar vd, 2014: 18),

- Uzun ömürlü bir teknolojidir; sistemler, 50 yıl veya daha fazla dayanacak şekilde tasarlanabilmektedir (UNEP, 2015: 158),
- Alternatif ve tükenmeyen bir kaynak olması sebebiyle, daha fazla verim elde edilebilmektedir.

2.4.1.3. Rüzgâr Enerjisi

Diğer bir yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr; güneş radyasyonu ve dünyanın dönüşü ile dünyanın ve atmosferinin eşit olmayan ısınması nedeniyle oluşmaktadır (Goswami ve Kreith, 2016: 1045). Rüzgâr enerjisi rüzgâr tribünleri aracılığı ile elde edilmektedir. Rüzgâr, bir türbinin pervane benzeri kanatlarını bir rotorun etrafında döndürmekte, bu ise bir jeneratörü döndürmekte ve elektrik üretilmektedir.

Araştırmalara göre, gelen güneş radyasyonunun yaklaşık %1'i rüzgâr enerjisine dönüştürülürken, günlük rüzgâr enerjisi girdisinin %1'i mevcut dünyanın günlük enerji tüketimine eşdeğerdir (European Union, 2012: 71). 21. Yüzyılın başından itibaren aktif olarak kullanılmaya başlanan rüzgâr enerjisini, günümüzde 30'dan fazla ülke kullanmaktadır (UNEP, 2000: 5). Tablo 8'de 1972-2022 yılları arası dünyada rüzgârdan üretilip tüketilen toplam enerji, seçili ülkeler (G20) için gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

Tablo 8: Rüzgâr Enerjisi Tüketimi - Exajoules (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	-	-	-	-	0,00	0,01	0,01	0,02	0,49	1,80	4,41	6,18	7,16	1,54
ABD	-	-	-	0,00	0,03	0,03	0,06	0,19	0,96	1,87	3,23	3,60	4,12	1,08
Almanya	-	-	-	-	0,00	0,02	0,10	0,29	0,39	0,78	1,25	1,08	1,18	0,39
Hindistan	-	-	-	-	0,00	0,01	0,02	0,06	0,19	0,32	0,57	0,64	0,66	0,19
İngiltere	-	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,03	0,10	0,39	0,71	0,61	0,75	0,20
Brezilya	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,02	0,21	0,54	0,68	0,77	0,17
Kanada	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,09	0,26	0,34	0,33	0,35	0,11
Fransa	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,21	0,38	0,35	0,36	0,11
İtalya	-	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,02	0,09	0,14	0,18	0,20	0,19	0,06
Türkiye	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,03	0,11	0,23	0,30	0,33	0,08
Avustralya	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,05	0,11	0,21	0,25	0,30	0,07
Meksika	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,19	0,20	0,19	0,05
Japonya	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,08	0,03
Arjantin	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,12	0,13	0,03
Güney Kore	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01
Rusya	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,01
Güney Afrika	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,03	0,06	0,08	0,09	0,02
Endonezya	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arabistan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Avrupa Birliği	-	-	-	0,00	0,01	0,04	0,23	0,70	1,39	2,55	3,76	3,64	3,95	1,25
G20 Toplam	-	-	-	0,00	0,03	0,07	0,21	0,67	2,57	6,39	12,51	14,75	16,73	4,15
Dünya	-	-	-	0,00	0,04	0,09	0,33	1,08	3,46	8,06	15,07	17,47	19,76	5,03
G20/ Dünya	0,0%	0,0%	0,0%	10,6%	80,8%	76,0%	62,1%	62,2%	74,3%	79,3%	83,0%	84,4%	84,7%	53,6%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

Not: Veriler birim olarak, farklı enerji kaynaklarının dönüştürülerek ifade edilen girdi-çıktı eşdeğeri ile gösterilmektedir.

Tablo 8 incelendiğinde tüm dünyada ortalama rüzgâr enerjisinin %54'ünün G20 ülkeleri tarafından tüketildiği görülmektedir. Güncel verilere göre G20 ülkeleri arasında ortalama en fazla rüzgâr enerjisi tüketen ilk 5 ülke; Çin, ABD, Almanya, Hindistan ve İngiltere'dir. Tablo 8 incelendiğinde rüzgârdan elde edilen enerjinin, son 50 yılda artarak devam ettiği gözlemlenmektedir. Rüzgâr enerjisinin başta çevreye ve ekonomiye pozitif etkileri şu şekilde açıklanabilir;

- Rüzgâr çiftliğinin büyüklüğüne bağlı olarak, enerji üretimi, geleneksel enerji üretim yöntemlerine kıyasla ucuz olabilmektedir. Çiftliklerin büyüklüğü arttıkça elektrik üretme maliyeti azalmaktadır,
- Rüzgâr türbini gücü, çalışması için herhangi bir yakıt gerektirmeyen ve zararlı hava veya su kirliliği oluşturmayan, sera gazı veya radyoaktif atık üretmeyen, sonsuz sürdürülebilir bir enerji türüdür.
- Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr tribünü kurulumunun, birçok çevrede yeni iş imkânları sağladığı kaydedilmiştir (Vezmar vd, 2014: 20),
- Aynı zamanda dünyada rüzgâr enerjisi ekipmanı üreticileri, rüzgâr türbinlerinin bazı parçalarının ve hammaddelerinin vergi muafiyetlerinden veya ithalat vergilerinde indirimden de yararlanabilmektedirler,

Rüzgâr enerjisinin başta çevreye ve ekonomiye negatif etkileri şu şekilde açıklanabilir;

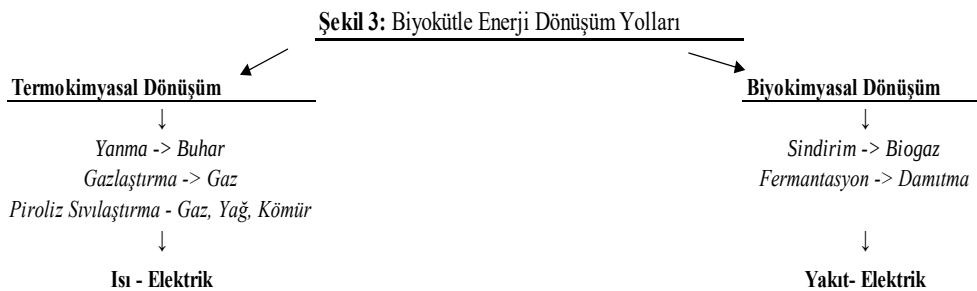
- Rüzgâr tribünleri kuşların ölümüne neden olmaktadır (World Energy Council, 2004: 36).
- Radyo ve televizyon sinyalleri üzerinde parazit yapmaları; çevrede yaşayan insanların rahatsız olmalarına neden olan bir diğer olumsuzluktur.
- Yüksek ses ve gürültü kirliliği rüzgâr enerjisinden kaynaklanan bir diğer negatif dışsallıktır (Wang ve Wang, 2015: 438).

2.4.1.4. Jeotermal ve Biokütle Enerjisi

Jeotermal enerji, dünya içinde üretilen ve doğrudan ısıtma için kullanılabilen veya elektriğe dönüştürülebilir yenilenebilir bir diğer enerji türüdür. Jeotermal enerji, öncelikle uranyum, toryum ve potasyumun doğal radyoaktif izotoplarının çürümesi nedeniyle Dünyanın doğal sıcaklığından gelmektedir (World Energy Council, 2013: 2). Jeotermal enerji dünyada aktif veya jeolojik olarak genç volkanların bulunduğu bölgelerde yoğun bulunmaktadır (European Union, 2012: 104). Dünyada hidrotermal, jeo-basınçlı, sıcak kuru kaya ve magma olmak üzere 4 jeotermal kaynak bulunmaktadır (World Energy Council, 2004: 10). Dünyada jeotermal enerji üretimi özellikle 1970'li yıllardan sonra hızla artmıştır (UNEP, 2000: 16). Ve günümüzde 45'den fazla ülkede üretimi yapılmaktadır. Jeotermal enerjinin başta çevreye ve ekonomiye pozitif ve negatif etkileri şu şekilde açıklanabilir;

- Geleneksel enerji çeşitlerine oranla düşük miktarda emisyon salınımı yapmaktadır (Vezmar vd, 2014: 19),
- Hem elektrik hem de enerji üretiminde kullanılabilir (UNEP, 2000: 16),
- Jeotermal enerjinin diğer bazı yenilenebilir enerji kaynaklarına göre bir avantajı, yıl boyunca mevcut olması (güneş ve rüzgâr enerjisi daha yüksek değişkenlik ve kesinti sunarken) ve dünyanın her yerinde bulunabilmesidir (IRENA, 2017: 2),
- Jeotermal enerji konutlarda, tarımda, sanayide ve birçok alanda kullanılabilme imkânı sağlamaktadır.
- Dünyanın herhangi bir yerinde sıcak, kuru kayaya birkaç mil derinliğinde açılan delikler, deliklerden aşağı pompalanan sudan jeotermal buhar üretebilmektedir (Wolfson, 2012 :123).
- Jeotermal enerjinin dezavantajı, CO₂ gibi küçük miktarlarda çözünmüş gazları ve kullanılmış konsantre tuzlu suların atılmasıyla ilgili sorunlara neden olmaktadır (World Energy Council, 2004: 36).

Biokütle, bitkiler (yosun dahil), ağaçlar ve ekinlerden endüstrilerden kaynaklanan biyolojik kaynaklı ürünlerin, atıkların ve kalıntıların biyolojik olarak parçalanabilen kısmını kapsamaktadır (European Union, 2012: 12). Biokütle kaynakları; organik atık akışları, tarım ve ormancılık kalıntıları, yakıt ve elektrik üretmek için yetiştirilen ürünlerdir (World Energy Assessment, 2000: 222). Biokütleden yakıt üretmenin termo-kimyasal ve bio-kimyasal olmak üzere iki ana yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler Şekil 3 aracılığı ile gösterilmektedir.



Kaynak: World Energy Assessment, 'den (2000) alınan bilgiler şekil hâline getirilmiştir.

Biokütle enerjisinin başta çevreye ve ekonomiye pozitif ve negatif etkileri şu şekilde açıklanabilir;

- Bir enerji kaynağı olarak biokütlenin temel avantajlarından biri, ulaşım yakıtlarına nispeten basit dönüşümlü olmasıdır (Goswami ve Kreith, 2016: 21).
- Odun, saman, gübre ve gübre gibi geleneksel biokütle enerji kaynakları genellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanılmakta ve ucuz maliyet faydası sağlamaktadır (IPCC, 2009: 216).

- Biyokütle enerjisi, kırsal alanların kalkınmasında ve bu alanlarda istihdam için büyük fırsatlar sunmaktadır (Vezmar vd, 2014: 17).
- Doğal ekosistemlerin zarar görmesi (su, toprak, arazi kullanımı değişiklikleri, ormansızlaşma, biyolojik çeşitlilik, arazi bozulması, gübreler, böcek ilaçları, kirleticiler) biyokütle enerjisinin kabul edilen temel olumsuzluğu kabul edilmektedir (Vassilev, 2015: 337).

Tablo 9’da 1972-2022 yılları arası dünyada jeotermal ve biokütle enerji tüketimi seçili ülkeler (G20) için gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

Tablo 9: Jeotermal ve Biokütle Enerjisi Tüketimi - Exajoules (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
ABD	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,62
Çin	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	1,6	1,9	2,0	0,50
Brezilya	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,25
Almanya	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,23
İngiltere	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,5	0,4	0,15
Japonya	0,0	-	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,20
Kanada	-	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,07
İtalya	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	-	0,2	0,2	0,3	0,10
Fransa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-	0,1	0,1	0,1	0,04
Endonezya	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	-	0,3	0,3	0,4	0,09
Hindistan	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,4	0,4	0,5	0,14
Güney Kore	-	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,04
Meksika	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05
Türkiye	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,05
Avustralya	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0	0,01
Arjantin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0	0,01
Rusya	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	0,0	0,00
Güney Afrika	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,00
Arabistan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avrupa Birliği	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,8	1,3	1,8	1,9	2,0	2,0	0,85
G20 Toplam	0,3	0,4	0,5	0,8	1,2	1,5	1,9	2,8	4,2	5,8	7,8	8,4	8,6	3,41
Dünya	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	1,6	2,1	2,8	4,2	6,1	7,9	8,4	8,7	3,48
G20/ Dünya	100%	95%	83%	93%	93%	94%	91%	99%	99%	95%	100%	100%	99%	95,5%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

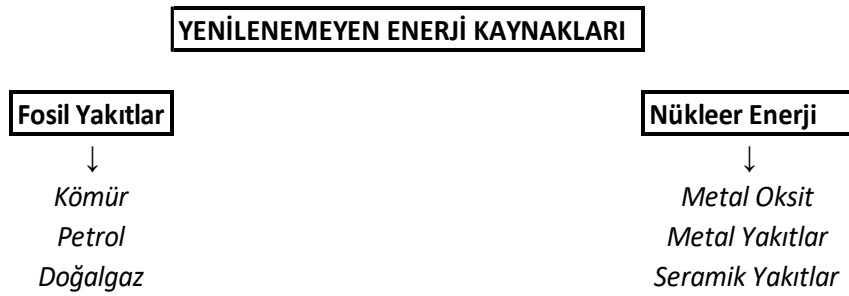
Not: Veriler birim olarak, farklı enerji kaynaklarının dönüştürülerek ifade edilen girdi-çıkı eşdeğeri ile gösterilmektedir.

Tablo 9 incelendiğinde tüm dünyada ortalama jeotermal ve biokütle enerjisinin %96’sının G20 ülkeleri tarafından tüketildiği görülmektedir. Güncel verilere göre G20 ülkeleri arasında ortalama en fazla jeotermal ve biokütle enerjisi tüketen ilk 5 ülke; ABD, Çin, Brezilya, Almanya ve İngiltere’dir.

2.4.2. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Arz kaynağı sınırlı olan ve kısa sürede yenilenemeyen enerji kaynakları; yenilenemeyen veya konvansiyonel enerji olarak adlandırılmaktadır. Literatürde sonlu enerji veya kahverengi enerji olarak da adlandırılmaktadır (Twidell ve Weir, 1986: 7). Yenilenemeyen enerji kaynakları fosil yakıtlar ve nükleer enerji olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır (IPCC, 2009: 16). Yenilenemeyen enerji kaynakları Şekil 4 aracılığı ile gösterilmektedir.

Şekil 4: Yenilenemeyen Enerji Kaynakları



Dünyada toplam enerji tüketim değerlerine bakıldığında; kullanılan enerji kaynaklarının, büyük oranlarda fosil enerji kaynakları olduğu görülmektedir. Dünyanın enerji arzı günümüzde büyük ölçüde fosil yakıtların hâkim olduğu yenilenemeyen enerji kaynaklarına yaklaşık %80 oranında bağlıdır (British Petroleum Energy, 2022). Tablo 10'da 1972-2022 dönemleri arası yenilenemeyen tüketimi seçili ülkeler (G20) için Exajoules cinsten gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

Tablo 10: Yenilenemeyen Enerji Tüketimi - Exajoules (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	10,9	13,2	17,4	22,14	28,58	37,27	42,48	75,70	104,60	126,49	149,45	157,94	159,39	72,73
ABD	70,3	69,6	74,7	72,66	81,38	87,63	95,56	96,88	93,43	92,69	88,57	93,40	95,91	85,59
Rusya	-	-	-	34,40	36,27	27,73	25,97	27,01	28,13	28,55	29,07	31,48	28,89	22,89
Japonya	13,1	14,0	15,4	16,13	18,79	21,49	22,47	22,55	21,27	19,07	17,15	17,94	17,84	18,24
Hindistan	3,0	3,5	4,4	5,70	8,28	10,67	13,42	16,57	22,48	28,52	31,76	34,51	36,44	16,87
Almanya	13,6	13,6	15,3	15,45	15,09	14,31	14,36	14,27	13,85	13,61	12,41	12,78	12,30	13,91
Kanada	7,5	8,2	9,8	10,29	10,83	12,17	13,13	13,66	13,51	14,52	13,71	13,84	14,14	11,94
Fransa	7,2	7,2	8,3	8,66	9,57	10,37	11,19	11,35	10,79	10,09	8,84	9,40	8,39	9,34
İngiltere	9,1	8,6	8,6	8,61	9,03	9,19	9,59	9,77	8,93	8,19	7,10	7,20	7,31	8,56
Brezilya	2,1	2,9	4,2	4,94	5,64	6,89	8,48	9,28	11,47	12,66	12,22	12,85	13,41	8,23
Güney Kore	0,7	1,0	1,6	2,25	3,84	6,32	8,09	9,46	10,93	11,93	12,00	12,56	12,71	7,18
İtalya	5,6	5,7	6,2	5,89	6,68	6,97	7,56	7,92	7,33	6,53	5,95	6,34	6,14	6,52
Arabistan	1,0	0,9	1,5	2,63	3,34	4,07	4,81	6,52	8,82	11,00	10,41	10,76	11,50	5,95
Meksika	1,7	2,1	3,3	4,08	4,75	5,18	6,10	7,27	7,64	7,93	7,43	7,99	8,73	5,71
Endonezya	0,4	0,6	1,1	1,49	2,16	3,13	4,19	5,10	6,26	6,78	7,61	7,76	9,77	4,33
Avusturalya	2,3	2,6	3,0	3,16	3,72	4,16	4,70	5,08	5,43	5,77	5,71	5,73	5,98	4,41
Türkiye	0,7	0,8	1,1	1,39	2,02	2,56	3,11	3,59	4,54	5,78	6,49	6,96	7,01	3,54
Güney Afrika	1,7	2,0	2,3	3,29	3,71	4,02	4,27	4,68	5,27	5,10	4,99	5,00	4,82	3,93
Arjantin	1,4	1,4	1,7	1,73	1,85	2,26	2,52	2,85	3,18	3,59	3,13	3,48	3,60	2,52
Avrupa Birliği	49,2	51,2	58,6	60,42	62,97	62,30	64,80	67,90	65,88	61,39	57,25	60,28	58,18	60,02
G20 Toplam	201,2	209,2	238,3	285,31	318,50	338,68	366,79	417,37	453,75	480,20	491,24	518,20	522,48	372,40
Dünya	225,0	240,8	280,6	303,50	344,18	363,88	397,28	460,08	508,77	547,39	566,49	597,41	604,04	418,42
G20/Dünya	89,4%	86,9%	84,9%	94,0%	92,5%	93,1%	92,3%	90,7%	89,2%	87,7%	86,7%	86,7%	86,5%	89,3%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

Not: Veriler birim olarak, farklı enerji kaynaklarının dönüştürülerek ifade edilen girdi-çıkı eşdeğeri ile gösterilmektedir.

Tablo 10 incelendiğinde; G20 ülkelerinde yenilenemeyen enerji kullanımının dünya ortalamasının üstünde olduğu gözlemlenmektedir. En fazla yenilenemeyen enerji kullanan ilk 5 ülke; Çin, ABD, Rusya, Japonya ve Hindistan'dır. 2020 Covid Pandemi sürecinde yenilenemeyen enerji kullanımının azaldığı dikkat çeken bir diğer unsurdur. Bu durum, pandemi sürecinde azalan ekonomi faaliyetleri ile doğrudan ilintilidir.

Yenilenemeyen enerji kullanımının potansiyel faydaları genel hatları ile şu şekilde açıklanabilir;

- Yenilenemeyen enerji kullanımının temel nedenlerinden biri; çıkarılma ya da dönüştürülme süreçlerinde, yenilenebilir enerji kaynaklarına göre düşük maliyetli olması olmasıdır.
- Geniş bir kullanım alanına sahip olan yenilenemeyen enerji kaynakları ve kolay taşınma ve depolanma imkânına sahiptir (Pflugmann ve De Blasio, 2020: 5).
- Yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında; fosil yakıtlı santrallerin enerji üretme kapasitesi daha yüksektir (Maradin, 2020: 180).

Yenilenemeyen enerji kullanımının olumsuz yönleri değerlendirildiğinde; birçok sorun bulunmaktadır. Yenilenemeyen enerji kullanımının potansiyel zorlukları ve negatif etkisi bölgelere genel hatları ile şu şekilde açıklanabilir;

- Yenilenemeyen enerji açıklandığı üzere, oluşumu uzun yıllar gerektiren, sonlu olan kaynaklardır. Yenilenemeyen enerji kullanımının sürdürülebilirliği temel sorunlardan bir tanesini oluşturmaktadır. Bir ülkede ekonomik gelişme için temel itici güç unsurlarından biri olan enerjiye ulaşım zorlaştıkça, ülkenin dışa bağımlılığı artmakta ve çok boyutlu sorunlar oluşmaktadır (O’Sullivan, Overland ve Sandalow, 2017: 5-6). Ülkelerin karşılıklı birbirine bağımlılığı arttıkça, siyasi ve jeopolitik ilişkiler ön plana çıkmaktadır.
- Yenilenemeyen enerji kaynaklarının doğrudan doğayı kirletici unsur oluşturmaktadır. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere; yenilenemeyen enerji kaynakları kullanımı atmosfere zararlı gazların salınımını artırmakta ve çevre kirliliğine bağlı olarak iklim değişikliğine neden olmaktadır.
- Bir diğer temel sorun ise, fosil yakıt kaynaklarına sahip olmayan ülkeler için dışa bağımlılığın oluşmasıdır. Ülkeler arasında meydana gelen siyasi anlaşmazlıklar, çatışmalar ve savaşlar, dünya gündemini belirleyen ve dolayısıyla ekonomiler üzerinde etkili olan temel unsurlardan biri hâline gelmektedir.

2.4.2.1. Fosil Enerji Kaynakları

Başlıca türleri; petrol, kömür, doğal gaz olan fosil yakıtlar, tükenme tehlikesi altında olan sonlu yakıtlardır (Turkenburg, 2012: 905). Bu yakıtlar jeolojik geçmişte var olan kalıntılardan kaynaklanmaktadır.

Fosil yakıtlar karbon kaynaklıdır ve atmosfere zararlı gaz salınımı yapmaktadır. Daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere, günümüzde kirliliğin önemli bir kısmının fosil yakıtların yakılması sonucu sera etkisine neden olduğu yaygın olarak anlaşılmaktadır.

- **Petrol Enerjisi:** Petrol oluşumunun uzun yıllar sürmesi sebebi ile yenilenemeyen kaynaklar içerisinde sınıflandırılmaktadır. Farklı hidrojen ve karbon atomlarının oluşturduğu moleküllerden oluşan petrol, genellikle dünya yüzeyinin altında bulunan organik sıvı bir maddedir (Raouf, 2012: 43). Petrol üretimi doğal gaz üretim süreci ile benzer şekilde, yeraltından çıkarılmaktadır (Bach, 1981: 191). Petrol ürünleri; rafineri gazı, etan, havacılık benzini, motor benzini, jet yakıtı, gazyağı, akaryakıt, nafta, beyaz ispiroto, bitüm, parafin mumları, petrol koku ve diğer ürünleri içermektedir (International Energy Agency, 2021: 73).

En önemli enerji kaynakları arasında yer alan petrol endüstrisi uluslararası arenada kilit rol oynamaktadır. Yakın geçmişte yaşanan Petrol Krizleri; 1973, 1978, 1990 ve 2001 dünya tarihinde ekonomik durgunluğa neden olan önemli örnekleridir. Ancak petrol enerjisi çevre için önemli tehlike potansiyeli taşımaktadır. Kirlilik çevreyi hava, su ve toprak seviyelerinde etkilemektedir. Petrol arama süreci, arıtma ve üretim aşamalarının tümünde çevre kirliliği oluşmaktadır. Petrol rafinerileri; büyük miktarda enerji ve su tüketen, büyük miktarlarda atık su üreten, atmosfere tehlikeli gazlar salan ve arıtılması/ bertaraf edilmesi zor olan katı atıklar üreten başlıca kirleticiler arasındadır (Mariano ve Rovere, 2008: 1-2). Petrol sızıntıları, petrol taşıyan tanker kazaları deniz ve okyanus kirliliğinin birincil nedenleri arasındadır (Chen, 2020: 3). Bu tür kazalar ayrıca balıkçılığı ve deniz turizmini ciddi bir şekilde etkilemekte ve deniz ekosistemine zarar vermektedir.

Tablo 11’de petrol tüketimi 1972-2022 dönemleri arası tüketimi milyon ton cinsinden seçili ülkeler (G20) için gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

Tablo 11: Petrol Tüketimi - Milyon Ton (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
ABD	758,2	751,9	786,0	706,34	769,73	791,75	878,27	926,82	813,31	811,52	739,31	807,68	822,68	797,19
Çin	44,2	68,3	83,1	85,75	107,76	153,52	221,15	323,61	440,84	557,03	675,74	691,60	659,17	316,29
Japonya	234,5	244,1	241,4	210,19	248,05	274,76	263,60	248,51	201,88	188,02	149,17	151,55	151,84	215,96
Rusya	-	-	-	247,36	251,73	150,60	123,24	124,96	133,35	149,70	149,40	157,42	161,46	126,86
Almanya	152,2	142,6	147,3	126,34	127,28	135,11	129,53	120,39	112,00	106,69	96,48	95,37	97,27	122,20
Hindistan	22,1	23,3	31,6	43,33	57,94	75,23	106,69	120,86	153,96	193,94	214,15	216,69	236,92	115,14
Kanada	77,4	84,5	92,1	74,65	80,59	84,67	92,33	104,42	105,70	106,23	91,63	94,80	98,16	91,32
Arabistan	22,7	19,3	27,7	46,75	51,21	60,22	72,07	93,47	134,08	172,89	147,02	153,77	165,99	89,79
Fransa	114,1	110,4	109,9	84,30	89,40	88,86	94,56	92,38	81,63	73,32	61,49	66,97	66,85	87,24
Brezilya	32,4	45,0	55,9	52,28	59,71	71,32	91,36	92,48	109,69	120,22	102,61	110,72	115,97	81,51
İtalya	98,2	94,5	97,9	84,39	96,27	97,76	94,76	87,74	71,72	59,52	48,88	54,45	57,22	80,26
İngiltere	110,8	92,2	80,9	77,49	82,99	82,24	78,62	82,94	73,29	69,80	54,22	56,28	61,21	77,15
Güney Kore	9,9	14,2	24,1	26,08	49,53	94,85	101,35	103,54	104,29	113,77	114,56	122,14	123,73	77,08
Meksika	24,5	32,8	50,2	60,90	75,89	78,49	92,99	103,13	97,37	90,51	69,69	78,83	95,39	73,13
Endonezya	7,6	10,9	18,9	22,38	30,52	40,86	52,83	59,33	65,22	67,23	61,38	63,84	69,65	43,89
Avustralya	26,1	29,1	30,6	27,41	30,78	35,25	37,55	39,35	42,66	46,90	43,03	44,15	47,29	36,94
Türkiye	9,5	12,5	15,4	17,79	22,93	28,99	30,95	30,72	31,79	44,05	44,99	47,60	49,73	29,77
Arjantin	25,0	23,8	25,0	20,07	19,39	21,89	22,38	22,50	27,61	32,76	24,37	30,03	31,95	25,13
Güney Afrika	10,2	11,7	12,0	14,12	16,59	20,03	21,99	24,78	24,90	28,61	22,10	23,87	24,42	19,64
Avrupa Birliği	610,9	604,8	649,8	555,88	591,78	600,84	622,09	634,81	575,41	519,88	469,77	492,66	510,37	572,23
G20 Toplam	2.390,6	2.415,7	2.579,9	2.583,79	2.860,07	2.987,23	3.228,33	3.436,75	3.400,68	3.552,60	3.380,01	3.560,40	3.647,27	3.078,72
Dünya	2.538,5	2.670,8	2.981,3	2.813,29	3.147,47	3.289,44	3.577,66	3.906,54	3.988,48	4.234,62	4.037,90	4.259,53	4.394,95	3.526,19
G20/Dünya	94,2%	90,4%	86,5%	91,8%	90,9%	90,8%	90,2%	88,0%	85,3%	83,9%	83,7%	83,6%	83,0%	87,9%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

Tablo 11 incelendiğinde tüm dünyada toplam petrolün ortalama %88’inin G20 ülkeleri tarafından tüketildiği görülmektedir. G20 ülkeleri arasında en fazla petrol tüketen ilk 5 ülke; ABD, Çin, Japonya, Rusya ve Hindistan’dır. Japonya petrol kullanımını 1990 yılından günümüze azaltmaktadır. G20 ülkeleri

arasında en fazla petrol tüketimi ile en az petrol tüketimi arasındaki farkın temelini sanayileşme düzeyi oluşturmaktadır.

- **Kömür:** Kömür dünyanın en bol fosil yakıtıdır ve birçok ülkede temel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Kömür; uygun şartlarda, bitki kalıntılarının zaman içerisinde kimyasal ve fiziksel etkileşimi sonucunda oluşmaktadır (Thomas, 2013: 3). Kömür, hem birincil yakıtlar olan; taş kömürü, buhar kömürü ve linyit, hem de türetilmiş yakıtlar olan; patent yakıtı, kok fırını, gaz kok, gaz işletmesi gazı, kok fırını gazı, yüksek fırın gazı ve diğer geri kazanılmış gazlar dahil tüm kömürleri içermektedir (International Energy Agency, 2021: 73).

Yaygın kullanım ağına sahip olan kömür, çevreyi kirleten önemli fosil yakıtlar arasında bulunmaktadır. Yakıt, ısınma, sanayi ve kok üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kömür kullanımında/yanmasında içinde bulunan azot, klor, kükürt, sülfür ve karbondioksitin ortaya çıkması, doğrudan atmosferi kirletmektedir (Thomas, 2013: 115). Kömür kullanımı çevre kirliliği ile beraber canlı sağlığına da zarar vermektedir. Kullanım esnasında havaya salınan sülfür oksit, kardiyovasküler³³ hastalıklara yol açmaktadır (Lin vd, 2018: 1). Önemli diğer bir sorun kömür maden sahalarından sızan yüksek asitli maden drenajının toprağa karışmasıdır (Bach, 1981: 189). Maden drenajı toprak erozyonuna ve diğer bir dizi çevrenin tahribatına neden olmaktadır.

Tablo 12’de kömür tüketimi 1972-2022 dönemleri arası tüketimi exajoules³⁴ cinsinden seçili ülkeler (G20) için gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

³³ **Kardiyovasküler:** Kalp ve kan damarlarının bozukluğudur. Bkz: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) (Erişim: 12.08.2022).

³⁴ Exajoules: Bir Newton'luk bir kuvvetin bir metrelik bir mesafe boyunca etki ettiği zaman yapılan işe eşit bir enerji birimi.

Tablo 12: Kömür Tüketimi - Exajoules (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	8,5	9,6	12,7	17,05	22,08	27,85	29,56	55,46	73,23	80,38	84,25	87,54	88,41	45,89
ABD	12,1	12,7	15,5	17,52	19,22	20,13	22,63	22,85	20,88	15,58	9,20	10,57	9,87	16,06
Hindistan	1,7	2,0	2,4	3,09	4,59	5,87	6,88	8,84	12,05	16,17	16,97	19,30	20,09	9,23
Almanya	5,8	5,3	5,9	6,25	5,51	3,79	3,57	3,40	3,23	3,29	1,85	2,24	2,33	4,04
Japonya	2,2	2,4	2,4	3,00	3,27	3,53	4,00	4,81	4,87	5,03	4,57	4,93	4,92	3,84
Rusya	-	-	-	8,29	7,63	5,00	4,43	3,96	3,79	3,86	3,29	3,43	3,19	3,61
Güney Afrika	1,2	1,5	1,8	2,61	2,82	2,99	3,12	3,35	3,89	3,52	3,66	3,51	3,31	2,87
Güney Kore	0,2	0,3	0,6	0,92	1,01	1,15	1,80	2,29	3,23	3,58	3,02	3,04	2,87	1,85
İngiltere	3,1	3,0	3,0	2,63	2,72	1,99	1,54	1,59	1,28	1,00	0,23	0,24	0,21	1,73
Avustralya	0,9	1,0	1,2	1,33	1,60	1,74	2,13	2,30	2,19	1,95	1,68	1,63	1,55	1,62
Endonezya	0,0	0,0	0,0	0,04	0,14	0,23	0,55	1,02	1,55	1,92	2,76	2,75	4,38	1,18
Türkiye	0,2	0,2	0,3	0,50	0,67	0,69	0,94	0,93	1,32	1,45	1,70	1,74	1,75	0,96
Kanada	0,6	0,6	0,9	1,12	1,14	1,10	1,28	1,25	1,03	0,82	0,53	0,50	0,39	0,88
Fransa	1,2	1,0	1,3	1,02	0,80	0,61	0,59	0,56	0,48	0,36	0,19	0,23	0,21	0,66
Brezilya	0,1	0,1	0,2	0,42	0,40	0,50	0,54	0,54	0,61	0,74	0,59	0,71	0,59	0,47
İtalya	0,4	0,4	0,5	0,63	0,61	0,51	0,52	0,69	0,57	0,52	0,21	0,23	0,31	0,47
Meksika	0,1	0,1	0,1	0,13	0,14	0,21	0,27	0,48	0,53	0,53	0,24	0,20	0,25	0,25
Arjantin	0,0	0,0	0,0	0,04	-	-	-	-	-	0,06	-	0,05	0,05	0,02
Arabistan*	-	-	-	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11
Avrupa Birliği	15,3	15,0	17,3	18,45	16,37	13,23	11,86	11,69	10,45	9,98	6,02	6,84	6,98	12,27
G20 Toplam	53,7	55,3	66,2	85,18	90,86	91,27	96,36	126,15	145,31	150,87	141,11	149,80	151,80	108,00
Dünya	61,8	64,9	75,1	86,36	93,26	93,48	98,76	130,26	150,97	157,21	152,04	160,43	161,47	114,31
G20/Dünya	87,0%	85,3%	88,1%	98,6%	97,4%	97,6%	97,6%	96,8%	96,2%	96,0%	92,8%	93,4%	94,0%	93,9%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

Not: Veriler birim olarak, farklı enerji kaynaklarının dönüştürülerek ifade edilen girdi-çıktı eşdeğeri ile gösterilmektedir.

Not: Arabistan'da tüketim 0,005'den daha azdır.

Tablo 12 incelendiğinde tüm dünyada toplam kömürün ortalama %94'ünün G20 ülkeleri tarafından tüketildiği görülmektedir. G20 ülkeleri arasında ortalama en fazla kömür tüketen ilk 5 ülke; Çin, ABD, Hindistan, Almanya ve Japonya'dır. Dünyada son 57 yıl değerlendirildiğinde, kömür kullanımının aratarak devam ettiği gözlemlenmektedir. G20 içerisinde kömür tüketimi değerlendirildiğinde; Çin ortalamanın %53'ünü oluşturmaktadır.

- **Doğalgaz:** Yeraltı rezervuarlarında gaz halinde ya da petrol ile çözelti halde bulunan doğalgaz, hidrokarbon bileşiklerin karışımından oluşmaktadır (United Nations, 1997: 50). Petrol ve doğal gaz içeren yeraltı geleneksel kuyularından veya hidrolik kırma yoluyla elde edilmektedir. Doğalgaz çıkarma esnasında, doğal gaz akışını artırmak için kimyasallarla bağlanmış su kullanılmaktadır. Bu süreçte meydana gelen metan sızıntısı çevre kirliliğine neden olmaktadır (Jacobson, 2020: 2-3). Ancak bir diğer fosil yakıt olan kömür ile karşılaştırıldığında; doğal gaz, aynı miktarda elektrik üretimi için kömürden yaklaşık %50 daha az CO₂ yaydığı için nispeten temiz kabul edilmektedir (Tordoir, 2021: 1-2).

Tablo 13'te doğalgaz tüketimi 1972-2022 dönemleri arası tüketimi milyar metre küp cinsinden seçili ülkeler (G20) için gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

Tablo 13: Doğalgaz Tüketimi - Milyar m3 (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
ABD	599	526	534	467	517	598	628	595	648	744	833	836	881	646,60
Rusya	-	-	-	356	414	372	366	400	424	409	423	475	408	311,39
Çin	5	9	14	13	15	18	25	47	109	195	337	380	376	118,64
Kanada	42	46	50	57	64	77	89	88	92	110	114	117	122	82,02
Almanya	27	47	61	58	64	78	83	90	88	77	87	92	77	71,45
Japonya	4	9	25	40	50	61	76	83	100	119	104	104	100	67,23
İngiltere	27	37	47	54	55	74	101	99	98	72	73	78	72	68,29
Arabistan	1	3	9	18	32	41	47	68	83	99	113	114	120	57,62
Meksika	11	13	22	28	27	31	36	53	66	81	95	97	97	50,42
İtalya	14	21	26	31	45	52	68	83	79	64	68	72	65	53,06
Fransa	13	18	25	29	30	34	42	48	50	41	41	43	38	34,75
Hindistan	1	1	1	4	12	18	25	34	59	48	60	62	58	29,54
Arjantin	7	9	11	16	20	26	32	39	42	47	44	46	46	29,58
Endonezya	1	2	7	13	17	29	33	36	44	46	38	37	37	26,14
Güney Kore	-	-	-	-	3	10	20	32	45	46	58	62	62	25,92
Avustralya	4	6	11	13	17	19	21	23	32	39	42	40	42	23,74
Türkiye	-	-	-	0	3	7	14	26	36	46	46	57	51	22,00
Brezilya	0	0	1	3	3	5	10	20	28	43	31	40	32	16,67
Güney Afrika	0	0	0	0	2	1	1	3	4	4	4	5	5	2,32
Avrupa Birliği	134	186	229	251	291	315	359	419	423	347	380	397	343	313,39
G20 Toplam	891	933	1.075	1.450	1.682	1.865	2.076	2.286	2.550	2.675	2.990	3.155	3.032	2.051
Dünya	1.086	1.166	1.424	1.626	1.948	2.110	2.399	2.744	3.159	3.479	3.860	4.067	3.941	2.539
G20/Dünya	82,0%	80,0%	75,5%	89,2%	86,3%	88,4%	86,5%	83,3%	80,7%	76,9%	77,5%	77,6%	76,9%	81,6%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

Not: Doğalgaz tüketimi milyar metre küp cinsinden gösterilmektedir. Veriler sıvı yakıtlara dönüştürülen doğal gazı hariç tutar, ancak gazdan sıvıya dönüşümde tüketilen doğal gazın yanı sıra kömür türevlerini içermektedir.

Tablo 13 incelendiğinde tüm dünyada toplam doğalgazın ortalama %82'sinin G20 ülkeleri tarafından tüketildiği görülmektedir. G20 ülkeleri arasında ortalama olarak en fazla doğalgaz tüketen ilk 5 ülke; ABD, Rusya, Çin, Kanada ve Almanya'dır. Son 50 yılda doğalgaz tüketimi değerlendirildiğinde hem G20 ülkelerinin hem de dünyanın talebinin arttığı gözlemlenmektedir.

2.4.2.2. Nükleer Enerji

Nükleer enerji çalışmaları uzun bir geçmiş sahiptir. 1789'da Martin H. Klaproth tarafından nükleer enerjinin hammaddesi olan uranyumun keşfi, nükleer çalışmaların ilklerinden biridir. Ancak 1895'de Wilhelm Conrad Röntgen'in X ışınlarını keşfetmesi nükleer fiziğin başlangıcı kabul edilmektedir (TÜBİTAK, 2021: 56). Nükleer enerji üretmek için nükleer reaktörler kullanılmaktadır.

Reaktörler *fisyon* olarak bilinen; atomların bölünerek enerji ürettiği fiziksel bir süreçle, ısı üreten nükleer zincir reaksiyonlarını gerçekleştirirler (U.S. Department of Energy, 2019: 3).

Günümüzde nükleer enerji santralleri, enerji tartışmalarının odak noktasını oluşturmaktadır. Kimi araştırma ve kaynaklar nükleer enerji kullanımını desteklerken; kimi araştırmalar ise nükleer santral kurulmasının olumsuzlukları üzerinde durmakta ve karşıt argümanlar ileri sürmektedir.

Tablo 14’te nükleer enerji tüketimi 1972-2022 dönemleri arası tüketimi exajoules cinsinden seçili ülkeler (G20) için gösterilmektedir. Başlangıç olarak 1972 yılının seçilme nedeni çalışmanın BM iklim değişikliğinin ele aldığı başlangıç tarihini baz alması ve bu tarihten itibaren gözlem yapılmasının hedeflenmesidir.

Tablo 14: Nükleer Enerji Tüketimi - Exajoules (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
ABD	0,6	1,9	2,7	4,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	7,00	7,00	7,00	5,09
Fransa	-	-	0,6	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,50	2,24
Japonya	0,1	0,3	0,8	1,00	1,00	2,00	3,00	2,80	2,80	-	0,30	0,50	0,40	1,15
Rusya	-	-	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,48	1,60	1,80	1,90	2,00	2,00	1,14
Çin	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,70	1,50	3,00	3,00	3,70	0,96
Güney Kore	-	-	0,0	0,10	0,50	0,60	1,00	1,45	1,40	1,53	1,00	1,00	1,50	0,78
Almanya	0,1	0,2	0,5	1,00	1,00	1,50	1,70	1,61	1,30	0,85	0,50	0,60	-	0,84
Kanada	0,1	0,1	0,4	-	0,70	0,90	0,70	0,90	0,80	0,94	0,80	0,80	0,70	0,60
İngiltere	0,3	0,3	0,4	0,60	-	0,91	0,80	0,80	0,50	0,65	0,40	0,40	0,40	0,50
Hindistan	0,0	0,0	0,0	0,04	-	0,07	0,10	0,18	0,20	0,36	0,40	0,30	0,40	0,16
Brezilya	-	-	-	-	-	0,03	-	0,10	0,10	0,14	0,10	0,10	0,10	0,05
Güney Afrika	-	-	-	-	-	-	-	0,11	-	0,11	0,08	0,10	0,09	0,04
Meksika	-	-	-	-	-	-	-	0,11	-	0,11	-	0,10	0,09	0,03
Arjantin	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-	0,07	-	0,08	0,06	0,02
Endonezya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avustralya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Türkiye	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İtalya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arabistan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avrupa Birliği	0,4	0,8	1,8	5,00	6,00	7,00	7,00	8,00	8,00	7,00	6,00	6,00	5,00	5,23
G20 Toplam	1,5	3,6	7,3	14,74	19,20	23,00	24,30	27,13	26,40	24,06	24,48	24,98	23,94	18,81
Dünya	1,6	3,8	7,3	15,21	20,44	23,72	26,36	27,39	26,54	23,96	24,40	25,33	24,13	19,24
G20/Dünya	96,6%	94,5%	99,7%	96,9%	94,0%	97,0%	92,2%	99,1%	99,5%	100,4%	100,3%	98,6%	99,2%	97,8%

Kaynak: Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> databaseden alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 12.10.2023).

Not: Veriler birim olarak, farklı enerji kaynaklarının dönüştürülerek ifade edilen girdi-çıktı eşdeğeri ile gösterilmektedir.

Tablo 14 incelendiğinde; G20 ülkelerinin yarısından fazlasının nükleer enerjiyi kullandıkları gözlemlenmektedir. Dünyada toplam nükleer enerji kullanımı ile kıyaslandığında ise, ortalama %98’inin G20 ülkeleri tarafından kullanıldığı dikkat çekmektedir. G20 ülkeleri arasında ortalama olarak en fazla nükleer enerji tüketen ilk 5 ülke; ABD, Fransa, Japonya, Rusya ve Çin’dir. Nükleer enerji kullanımının avantajları genel hatları ile şu şekilde açıklanabilir;

- Nükleer enerji; hammadde hacmine göre çok yüksek miktarda enerji sağlamaktadır. Birçok ülke için nükleer enerji, enerji güvenliğini artırmak ve değişken fosil yakıt fiyatlarının etkisini azaltmak için önemli bir alternatif kaynak işlevi görmektedir (Chudakov, 2015: 12).
- Nükleer enerji kullanımı sera gazı emisyonlarına neden olmaz bu nedenle kimi kaynaklar tarafından yenilenebilir enerji olarak sınıflandırılmaktadır (Maradin, 2020: 178).
- Yenilenebilir enerji üreten tesislerle karşılaştırıldığında, nükleer enerji tesisleri daha az bakım maliyetine sahiptir (U.S. Department of Energy, 2019: 7).

Nükleer enerji kullanımının oluşturabileceği negatif etki ve zorlukları ise genel hatları ile şu şekilde açıklanabilir;

- Tarihteki en büyük nükleer santral kazası kabul edilen Çernobil (1986), nükleer santralinde yaşanan kaza, güvenlik önlemlerinin ne kadar önemli olduğunu göstergesidir. 2011’de yaşanan Fukushima Nükleer Felaketi ise yakın geçmişte meydana gelen bir diğer kazadır.
- Radyoaktivite nedeniyle nükleer enerjiden çıkan atıklar zehirlilik etkilerini yaklaşık 600 yıl sonra kaybetmektedir (Cohen, 1996: 136).
- Araştırmalara göre; bir nükleer reaktörden çıkan 1 ton taze yakıt çubuk atığı, 3 metre uzağa yerleştirilirse 10 saniyede ölümcül dozda radyasyon vermektedir.
- Yeni bir nükleer enerji santrali kurulumu; rüzgâr veya güneş enerjisi maliyetinin 2,3-7,4 katına mal olmakta ve kWh başına 9-37 kat daha fazla emisyon üretmektedir (Jacobson, 2019: 1). Bu nedenle, yeni bir nükleer santral kurulumu ile yenilenebilir enerji kurulumu arasında maliyet ve kirlilik olarak fark oluşmaktadır.
- Nükleer enerji kullanımını kötüye kullanma (güvenlik, silahların yayılması ve terörizm gibi) ile ilgili endişelere yol açmaktadır (Dong ve Eyster, 2015: 7).

2.5. Yeşil Ekonomi

Sürdürülebilir kalkınma ile bağlantılı olan bir diğer kavram “yeşil ekonomi” ya da “yeşil büyüme” ‘dir. Yeşil ekonomi kavramı ilk olarak 1989’da Birleşik Krallık Hükümeti için, bir grup çevre ekonomisti tarafından bir raporda³⁵ kullanılmıştır. Kavramın uluslararası kabul görmüş bir tanımı yoktur ancak ana hatları ile yeşil ekonomi; düşük karbonlu, kaynakları verimli kullanan, çevresel riskleri ve ekolojik kısıtlıkları önemli ölçüde azaltırken, insan refahını ve sosyal eşitliği iyileştiren bir ekonomiyi ifade etmektedir (UNEP, 2014: 3; Priya, 2021: 2).

Yeşil ekonomi politikaları insanoğlunun doğa üzerindeki negatif etkilerini azaltmayı ve bu sayede dünya üzerindeki canlı yaşamının ve uygarlıkların kalıcı olmasını sağlamayı amaçlayan, doğayla uyumlu, insani ölçekte üretim-tüketim ilişkilerini temel alan bir ekonomik anlayış olarak ifade

³⁵ Bkz: Blueprint for a Green Economy

edilmektedir. Çevresel risklerin ve ekolojik kısıtlıkların önemli ölçüde azaldığı, insan refahının ve sosyal eşitliğin gözetildiği bir ekonomi hedeflenmektedir (UNEP, 2011: 9). Yeşil bir ekonomide, istihdam ve gelirden yaşanan büyüme, karbon emisyonlarının ve kirliliğin azaltılmasına, enerji ve kaynak verimliliğinin artırılmasına ve biyoçeşitlilik kaybının önlenmesine olanak sağlayan ekonomik faaliyetlere, altyapıya ve varlıklara yapılan kamu ve özel yatırımlar tarafından yönlendirilmektedir.

Uluslararası iklim konferanslarında ortak bir dil konuşmak ve yeşil ekonomi sektörünün gelişimini ölçmek amacıyla kavramlar tanımlanmış ve sabitlemiştir. Yeşil ekonominin temelde eko-faaliyetler ve çevresel faaliyetler olmak üzere iki bileşenden oluştuğu genel olarak kabul edilmektedir (International Labor Organization, 2022: 9);

- **Ekonomik Faaliyetler:** Çevrenin korunması veya doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi amacıyla mal veya hizmet üreten faaliyetlerdir. Bu faaliyetler enerji ve su üretimi ve dağıtımı, sanitasyon ve atık arıtma, doğanın, çevrenin ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına odaklanmaktadır.
- İklim değişikliği bölümünde değinildiği üzere fosil yakıtların kullanımı, küresel ısınmanın nedeni olan sera gazı emisyonlarının ana kaynağıdır. Enerji üretmek amacıyla, eski enerjilerin en azından kısmen yerini alacak, kirlilikten arındırılmış veya daha az kirlilikten arındırılmış diğer alternatif enerjiler geliştirilmelidir. Yenilenebilir temiz enerji kullanımı artırılmalıdır.
- Bir diğer faaliyet su yönetimi ve üretimidir. Tatlı su, gezegende kıt bir kaynak olmasına rağmen yaşam, tarım ve birçok üretim faaliyeti için gereklidir. Küresel ısınmaya bağlı buharlaşma, yer altı sularının kirlenmesi, dünya nüfusunun artması ve kaynağın kötü yönetilmesi nedeniyle tatlı su kaynakları azalmaktadır.
- Hava, su ve toprak kirliliği, aşırı atık üretimi ve zararlı ürünlerin çevreye atılmasıyla bağlantılıdır. Atık iyileştirme ve arıtma faaliyetleri, kaynak ve malzemelerin yenilenmiş ve sürdürülebilir kullanımını amaçlamaktadır. Böylece atık suyun toplanması ve arıtılmasıyla hem çevreye zararının önlenmesi hem de arıtılan suyun tüketim devrelerine yeniden enjekte edilmesi amaçlanmaktadır.
- Çevrenin korunması, insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini sınırlamak ya da ortadan kaldırmak için önlemlerin alınmasıdır.
- **Çevresel Faaliyetler:** Daha iyi çevresel kaliteyi teşvik eden, ancak asıl amaçları bu olmayan faaliyetlerdir. Taşıma, inşaat, tarım ve hayvancılık, orman endüstrisi, balıkçılık sektörleri bu faaliyetler ile iç içedir.
- Kullanılan yakıt türüne göre taşımacılık sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır. Bu nedenle yeşil ekonomide trendler, özel araçla taşımacılığı sınırlamayı ve toplu taşımayı teşvik etmektedir.

- Konut ve inşaat, sera gazı salınımına neden olan bir diğer sektördür. Yeni yapılan konutlarda temiz enerji (güneş enerjili su ısıtıcıları, ısı pompaları, yağmur suyu geri kazanımı vb.) kullanımı teşvik edilmektedir.
- Ormansızlaşma ve toprak erozyonu bölümünde anlatıldığı üzere tarımsal alanların yanlış kullanımı, tarımda kimyasal kullanımı, sera gazı salınımına neden olan ve çevreyi olumsuz etkileyen bir diğer faktördür. Tarım sektörünün karşılaştığı temel zorluklardan biri, artan küresel nüfusu beslerken, ekolojik ayak izini azaltmak ve doğal kaynakları gelecek nesiller için korumaktır. Bu nedenlerle sürdürülebilir veya organik tarımın teşvik edilmesi, su kaynaklarının yönetiminin daha iyi organize edilmesi teşvik edilmektedir.
- Çevrenin korunması içinde yer alan canlı türlerinin korunmasında deniz popülasyonu da önem taşımaktadır. Deniz canlılarının yanlış veya aşırı avlanması ekosistemi olumsuz etkilemektedir.

Yenilenebilir enerjilere yönelmek, su kaynaklarını daha iyi yönetmek, atıkları ayrıştırmak ve çevreyi korumak önemli olsa da geleneksel faaliyet sektörlerinin kirletici etkisi azaltılmadığı sürece bu eylemler tek başına yetersiz kalmaktadır. Kaynakların kullanımında daha verimli olabilmek için bu sektörlerin üretim biçimlerini derinlemesine dönüştürmeleri gerekmektedir. Yeşil ekonomi bu kapsamda bütünleştirici bir nitelik taşımaktadır.

Yeşil ekonomi kavramı Dünya Bankası ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı gibi uluslararası kuruluşlar tarafından sürdürülebilirliğe giden bir yol olarak kabul edilmektedir. Paris İklim Anlaşması'nda (2015) belirlenen iklim azaltım hedeflerine ulaşmada önemli bir kavram olarak ön plana çıkmaktadır. UNEP tarafından belirlenen yeşil ekonomi göstergeleri, yeşil ekonomi politikalarının değerlendirilmesini kolaylaştıran temel araçlardır. Bu araçlar 4 ana başlık altında toplanmaktadır (UNEP, 2014: 11);

İklim değişikliği göstergeleri → Sera gazı emisyonu, yağış ve buharlaşma, fırtına ile ilgili hasarlar,

Ekosistem yönetimi → Ormanlık alanlar ve ekosistemler takip edilmektedir. Gösterge olarak ormanlık alan (hektar), kara ve deniz koruma alanlarının kapsamı (hektar), kullanılmaktadır.

Kaynak verimliliği → Yenilenemeyen enerji kaynakları ile ilgilidir. Gösterge olarak su yoğunluğu veya üretkenliği (m³/US\$), kömür tüketim yoğunluğu (ton/GSYİH), takip edilmektedir.

Kimyasallar ve atık yönetimi → Kimyasal ve atık yönetimi hava ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Göstergeleri; sülfür oksit (SO_x) emisyonları, atık geri dönüşümü ve yeniden kullanım (%), toksik ağır metal konsantrasyonudur.

2.6. Karbon Ayak İzi

Küresel iklim değişikliği sorununa karşı sorumluluk almaya ilişkin kamuoyu tartışmalarında kullanılan bir başka kavram karbon ayak izidir. Karbon ayak izinin kökeni, Wackernagel ve Rees (1996) tarafından önerilen ekolojik ayak izine dayanmaktadır (Pandey ve Agrawal, 2011: 137). Ekolojik ayak izi, belirli bir bölgenin kaç kişiyi alabileceğini hesaplamak yerine, mevcut teknoloji ve tüketim seviyeleri göz önüne alındığında, belirli bir insan nüfusunu desteklemek için ne kadar toprak ve su gerektiğini hesaplamaktır (Beder, 2006: 25). Bir başka deyişle küresel hektar olarak ifade edilen belirli bir insan nüfusunu sürdürmek için gerekli verimli kara ve deniz alanının hesaplanmasıdır.

Karbon ayak izi ise, insan faaliyetleri sonucunda üretilen toplam sera gazı miktarı olarak tanımlanmaktadır (Wiedmann ve Minx, 2007: 2). Bir başka ifade ile küresel ısınma ve iklim değişikliğindeki bireysel katkının ölçü birimidir. Bu herkesin bir karbon ayak izine sahip olduğu anlamına gelmektedir. Karbon Ayak İzi'nin ekolojik ayak izinden farkı; insan kaynaklı sera gazlarının atmosferdeki birikimini artırarak iklim değişikliğine yol açması olarak ifade edilebilmektedir.

Genel olarak karbon ayak izi CO₂ birimi ile ifade edilmektedir. Karbon ayak izi, her bir kişinin doğrudan veya dolaylı olarak üretmekten sorumlu olduğu CO₂ miktarıdır. Karbon ayak izinin boyutu; kişilerin ulaşım, beslenme ve tüketim alışkanlıkları gibi yaşam tarzı seçimlerine bağlı olarak değişmektedir. Günlük hayatta insan faaliyetlerinin ve tüketimlerinin birçoğu küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu kapsamda karbon ayak izini birincil (doğrudan) ve ikincil (dolaylı) olarak ayırmak mümkündür (İklimin, <https://www.iklimin.org/tr/> 2018: 1). Birincil karbon ayak izi; bireylerin doğrudan tüketimlerinden (doğalgaz, araç yakıtı, evsel atık gibi) kaynaklanan emisyonlardan oluşmaktadır. İkincil karbon ayak izi ise, bireylerin tükettikleri ürünlerin imalatından kaynaklanan emisyonlar oluşturmaktadır.

Bu bağlamda sera gazı emisyonlarını ölçmek ve karbon ayak izini raporlamak için, birçok farklı fonksiyonel birim için farklı ölçeklerde ve farklı yöntemler kullanılarak analiz edilebilmektedir (Peters, 2010: 246). Bu birimleri; hanehalkı, üretim, firmalar, şehirler ve ülkeler olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmaya göre karbon ayak izi hesaplamasında, farklı girdiler kullanılmaktadır.

- **Hanehalkı İçin Karbon Ayak İzi:** Hanehalkı içerisinde bireylerin tüketim alışkanlıkları incelenerek hesaplanmaktadır. Hanehalkı karbon ayak izi çalışmaları incelendiğinde, hesaplamada anket yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Örnek olarak Aydemir (2022) çalışmasında Bolu ilinde yaşayan hanehalkının karbon ayak izini ölçmek için yaptığı ankette şu soruları sormuştur;

- Hanehalkı içindeki kişi sayısı,
- Yaşanılan konutun büyüklüğü (oda sayısı),
- Konuttaki ısınma türü ve yüzdesi (kömür, odun, tüp gaz, doğal gaz),
- Elektrik tüketimi (kwh),

- Hanehalkı araç sahipliği,
- Araç yol mesafesi (km),
- Bireysel tüketim davranışları; organik yiyecek tercihi, et ve süt tüketim oranları, yiyeceklerin yerel üretimi, hazır gıda kullanım tercihi, organik ve evsel atıkların değerlendirilmesi, yiyeceklerdeki israf oranı,
- Yıllık toplu taşıma kullanım mesafesi (km),
- Hanehalkı içinde kişinin yaşam tarzındaki bireysel harcamalarının tanımlanması; ortalama altı, ortalama ve ortalama üstü,
- Cam, metal, kâğıt vb. malzemelerin geri dönüşümünün yapıp yapılmaması,
- Plastik malzemelerin geri dönüşümünün yapıp yapılmaması,

- **Üretim İçin Karbon Ayak İzi:** Üretilen ürün özelinde salınan emisyonların hesaplanması ürün karbon ayak izini oluşturmaktadır. Ürün karbon ayak izi, mal ve hizmetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının değerlendirilmesi için kullanılan en yaygın çevresel göstergelerden biridir. Tedarik zincirinde bu göstergenin takip edilmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında rol oynamaktadır (He vd., 2019:1).

- **Firmalar İçin Karbon Ayak İzi:** Karbon fiyatlandırmasına maruz kalma potansiyelinin bir sonucu olarak firmalar, karbon ayak izlerini anlamaya giderek daha fazla ilgi göstermektedir. Kurumsal karbon ayak izini hesaplamak için; GHG Protocol, PAS 2060 ve ISO 14064 uluslararası standartları kullanılmaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, <https://csb.gov.tr/sssi/iklim-degisikligi> Erişim: 18.01.2024).

Sera Gazı Protokolü (Greenhouse Gas Protocol); firma düzeyinde odaklanmak üzere geliştirilmiştir ve bunlar; (1) firma faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar, (2) enerji kullanılmasından kaynaklanan tesis dışı emisyonlar ve (3) firmanın tedarik zincirinden kaynaklanan tesis dışı emisyonlar olmak üzere üç düzeyde ayrıntıya sahiptir (Peters, 2010: 247).

PAS 2060 Standardı; İngiliz Standartları Enstitüsü'nün (British Standards Institution) tarafından yayınlanmıştır. PAS 2060; belirli ürünler veya operasyonlar için karbon nötrlüğü sağlamak amacıyla takip edilebilmektedir (Liu, Wu ve Chau, 2023: 4).

ISO 14064 Standardı; Sera Gazı Protokolü temel alınarak geliştirilen, bir şirketin emisyon kaynaklarını 6 kategoride sınıflandırarak paylaşan standarttır (Liu, Wu ve Chau, 2023: 4).

Karbon ayak izi firmalarda; yasal, sosyal sorumluluk, müşteri veya yatırımcı talepleri, emisyon ticaret mekanizmalarına katılım amacıyla zorunlu veya gönüllü olarak hesaplanmaktadır (Bekiroğlu, 2011: 6). Günümüzde birçok firma faaliyetleri sonucu oluşturdukları karbon ayak izi raporlarını kamuoyu ile paylaşmaktadır.

- **Şehirler İçin Karbon Ayak İzi:** Şehirler insanların ana yerleşim bölgeleri olduğu için, şehirlerdeki sera gazı emisyonları da takip edilen diğer bir gruptur. Şehirlerin karbon ayak izini hesaplamak için; bir şehirde tüketilen nihai mal ve hizmetlerin üretimi sırasında küresel tedarik zincirinde salınan tüm sera gazı emisyonları toplanmaktadır (Minx vd., 2013: 9).

- **Ülkeler İçin Karbon Ayak İzi:** Şehirler de olduğu gibi ülkeler için de karbon ayak izi hesaplaması mevcuttur. Bir ülkede CO₂ emisyonlarının toplam miktarı, karbon ayak izi yoğunluğu kullanılarak küresel hektar cinsinden ifade edilmektedir (Solarin, Alana ve Lafuente 2019: 407). Ek 6, Tablo 65 incelendiğinde, küresel çapta bakıldığında gelişmiş ülkelerin daha fazla enerji kullanımı nedeniyle daha fazla sera gazı emisyonu; dolayısı ile daha yüksek karbon ayak izine sahip oldukları görülmektedir.

Günlük tüketimin sonuçlarını anlamak ve karbon ayak izimizin boyutunu nasıl azaltacağımızı öğrenmek, CO₂ emisyonlarını azaltmak ve insan kaynaklı iklim değişikliğini yavaşlatmak için önemlidir. Bu nedenlerle birçok kuruluş ve ülke, karbon ayak izini azaltmak için farklı proje/teşvikler yürütmektedir. Karbon ayak izini azaltmak için yapılabilecek önerilen bazı yöntem ve uygulamalar şu şekildedir;

- Yenilenebilir enerji kullanmak; Çevre ve enerji ilişkisi bölümünde anlatıldığı üzere, fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, hidroelektrik) kullanılması hem enerji verimliliğini sağlamakta hem de sera gazı emisyon azaltımını sağlamaktadır.
- Ağaç dikmek; İklim değişikliği bölümünde açıklandığı üzere ormanlar, karbondioksit için yutak olarak küresel iklim düzenlemesinde önemli bir role sahip olup, karbondioksiti emerek atmosferik ısınmayı yavaşlatmaktadır. Ağaçlandırma karbon ayak izini azaltan bir diğer eylemdir.
- Geri dönüşüm; hem kurumlar içinde atıkların biriktirilerek geri dönüşüm yapılması emisyon azaltımı sağlamaktadır. Hem de hanehalkı ve bireylerin tüketim davranışlarında, geri dönüşümün teşvik edilmesi ve bireylerin bilinçlendirilmesi karbon ayak izi azaltımına yardımcı olmaktadır (Aydemir, 2022: 1983).
- Ulaşım tercihlerini değiştirmek; Araba kullanmak yerine yürümek veya bisiklet kullanmak, ortak araba veya toplu taşıma araçlarını kullanmak emisyon azaltımı sağlamaktadır. Ulaşımda biyo-yakıtların kullanılması da araçlardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltan bir diğer etkidir.
- Karbon Azaltım Kredisi; karbon azaltım projelerinin yaratmış olduğu veya mevcut karbon salım kotasının altında kalan her ton CO₂ için akredite kuruluşlarca sağlanan sertifikalardır. Karbon ayak izini azaltmak veya karbon nötr olmak isteyen kurumlar bu krediyi kullanarak emisyonlarını azaltabilirler (Bekiroğlu, 2011: 8).

- Yeşil ve Sürdürülebilirliğe Bağlı Tahvil Kullanımı; iklim ve çevre projelerini desteklemek için özel olarak tasarlanmış sabit getirili menkul kıymetlerdir (IMF, <https://climatedata.imf.org/pages/climate-finance/#cf1> Erişim: 23.01.2024). Bu tahviller 'yeşil finansın' bir parçası olarak iklim değişikliğinin ekonomik ve sosyal maliyetinin piyasaya dayalı araçlarla azaltılmasına yardımcı olmaktadır.
- Şehirlerde altyapıların yaşam tarzlarını değiştirme etkisine bağlı olarak mekansal planlama; ulaşım talebinin ve ulaşım tedarik önlemlerinin enerji talebini ve bunlarla bağlantılı olarak tedarik zincirinin yönetimi, CO₂ azaltımına etki edebilmektedir (Minx vd., 2013: 9).



3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE ÇEVRE VE EKONOMİ POLİTİKALARI İLİŞKİSİ ÜZERİNE AMPİRİK BİR ÇALIŞMA: G20 ÖRNEĞİ

İklim değışikliğinin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için iklimde meydana gelen değışiklik ve eğilimlerin gelecekte nasıl olacağının tahmin edilmesi önemlidir. Bu nedenle bilim insanları, akademisyenler, politika yapıcılarını iklim değışikliğini ve değışikliğin olası etkilerini tahmin etmek için çalışmalar yapmaktadır. Tahmin çalışmalarında farklı istatistiki modeller, simülasyon uygulamaları gibi birçok farklı yöntem kullanılmaktadır.

İçinde bulunduğumuz, sürekli olarak kendini geliştirip dönüştüren bilgi ve teknoloji çağı, insanoğlunun kendi kendine düşünene ve karar verip harekete geçiren makineler üretme çabasını; yapay zekâ olarak adlandırılan bilim dalını ortaya çıkarmıştır. Günümüzde geniş çalışma alanına sahip olan yapay zekâ, karmaşık bir mimariye sahip olan insan beynini taklit eden işlemciler üretmeyi amaçlamaktadır. Beyin son derece karmaşık, doğrusal olmayan bir bilgi işleme sistemine sahiptir. Belirli hesaplamaları (örüntü tanıma, algılama gibi...) bugün var olan en hızlı dijital bilgisayardan çok daha hızlı gerçekleştirmek için nöronlar olarak bilinen, yapısal bileşenlerini organize etme yeteneğine sahiptir. Spesifik olarak beyin, algısal tanıma görevlerini rutin olarak yaklaşık 100-200 milisaniyede gerçekleştirirken; çok daha az karmaşıklıkta görevler güçlü bir bilgisayarda çok daha uzun sürmektedir (Haykin, 2009: 1). Bu kapsamda beyinin tüm bu işlevleri nasıl yaptığı ve işlevlerin uyarlanabilirliği yapay zekânın odak noktasını oluşturmaktadır.

Yapay zekâ, birçok farklı yöntem ve yaklaşım içermektedir. Bunlar arasında makine öğrenmesi (*machine learning*), derin öğrenme (*deep learning*), doğall dil işleme, görüntü işleme, genetik algoritmalar ve bilgi temelli sistem gibi teknikler bulunmaktadır.

Makine öğrenmenin çalışma alanlarından bir tanesi Yapay Sinir Ağları (YSA)'dır. Yapay Sinir Ağları, insan beynini dijital olarak taklit etmek için kullanılmaktadır. Yalın bir şekilde ifade etmek gerekirse bir sinir ağı, insan beynine benzer bir şekilde, deneyimsel bilgiyi depolamak ve onu kullanıma hazır hale getirmek için doğall bir eğilime sahip bir işlemci olarak kabul edilmektedir. Bilgi, ağı tarafından bir öğrenme süreci aracılığıyla elde edilmekte ve bilgiyi depolamak için sinaptik ağırlıklar olarak bilinen ara bağlantı güçleri kullanılmaktadır.

Yapay Sinir Ağları yaşadığımız yüzyılda gelişene teknolojiye paralel olarak, artan hesaplama gücü ile birlikte, komplike simülasyonların yapılmasını ve geleceğe dönük öngörü modellemelerinin gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Temel olarak bu nedenlerle çalışmanın amacına uygun

olarak, ampirik analizde Yapay Sinir Ağları modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. İlerleyen bölümlerde modelin tercih edilme nedenlerine detaylı olarak yer verilecektir.

Çalışmanın bu bölümünde önce Yapay Sinir Ağları teorisi açıklanacak, türleri ve modelin çalışmada tercih edilmesine neden olan avantaj/dezavantajları ele alınacaktır. Ardından Yapay Sinir Ağları modelini kullanarak, iklim değişikliğini ve ekolojik olayları inceleyen literatür taramasına yer verilecektir. Son bölümde ise; iklim değişikliği göstergesi kabul edilen sıcaklık değişiminin tahmini, dünyada iklim değişikliğini en çok etkilediği düşünülen G20 ülkeleri için Yapay Sinir Ağları modeli kullanılarak gerçekleştirilecektir. Elde edilen tahminlere göre, G20 ülkelerinin çevre ve ekonomi politikalarının değerlendirilmesi yapılacaktır.

3.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları, yapay zekâ kapsamında ortaya çıkan çalışma alanlarından bir tanesidir. Yapay Sinir Ağları; birbirine bağlı bir grup yapay nörondan oluşan ve hesaplama bağlantıcı bir yaklaşım kullanarak bilgileri işleyen, biyolojik sinir ağlarına dayalı matematiksel bir hesaplama modelidir (Li ve Ma, 2010: 211). Bilgiyi işleme süreci olarak tanımlanan YSA, verilen girdilere karşı çıktılar üreten bir kara kutu modeli olarak da tanımlanmaktadır (Şen, 2004: 9).

Yapay zekâ kapsamında, insan zihninin çalışma prensipleri üzerine yapılan ilk çalışmaların belirlenmesine ilişkin ortak görüş, bilişsel bilimlerin ortaya çıkmasıyla başlamadır (Thagard, 2005: 4). Bilişsel bilim, felsefe, psikoloji, yapay zekâ, nörobilim, dilbilim ve antropolojiyi kapsayan, zihin ve zekanın disiplinler arası çalışması olarak tanımlanmaktadır. 1940’larda başlayan süreçte ilk olarak, insan zihninin bilgi işleme süreçlerini anlamaya yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Yapay Sinir Ağları’nın modern görüşünün ise, 1943’te Warren McCulloch ve Walter Pitts’in yapay nöron ağlarının prensipte herhangi bir aritmetik veya mantıksal işlevi hesaplayabildiğini gösteren çalışmalarıyla başladığı kabul edilmektedir (Xu ve He, 2018: 347; Hu ve Hwang, 2002: 13). McCulloch ve Pitts (1943) çalışmalarında, nöron ağ yapısını matematiksel olarak tanımlayarak bir nöronun mantıksal işlevleri yerine getirebileceğini ispat etmeye çalışmışlardır. McCulloch ve Pitts çalışmalarında YSA’nın temel ilkelerini 5 varsayımla açıklamaktadırlar (McCulloch ve Piits, 1943: 118);

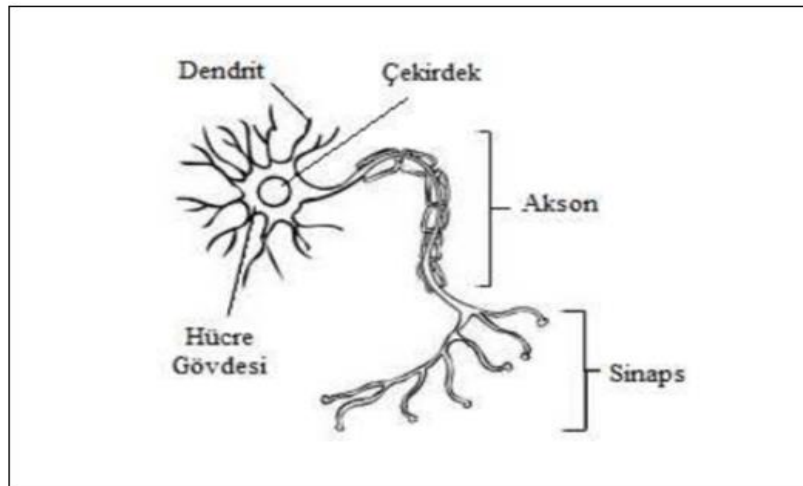
- Nöronun aktivitesi “ya hep ya hiç” sürecidir.
- Herhangi bir zamanda bir nöronu uyarmak için gizli ekleme süresi içinde belirli sayıda sabit sayıda sinapsın uyarılması gerekmektedir ve bu sayı nöron üzerindeki önceki aktiviteden bağımsızdır.
- Sinir sistemindeki tek önemli gecikme sinaptik gecikmedir.

- Herhangi bir engelleyici sinapsın aktivitesi, o sırada nöronun uyarılmasını engellemektedir.
- Ağın yapısı zamanla değişmemektedir.

McCulloh ve Pitts'den sonra birçok araştırmacı, biyolojik nörona dayalı matematiksel modeller geliştirmeye devam etmiştir. 1949'da YSA eğitmek için ilk yöntem Hebb tarafından önerilmiştir (Silva vd, 2017: 6). Hebb Kuralı olarak adlandırılan yöntem nörofizyolojik nitelikteki hipotez ve gözlemlere dayanmaktadır. Ardından 1954'te Marvin Minsky tarafından bağlantı güçlerinin otomatik olarak uyarlanabildiği bir öğrenme makinesi geliştirilmiştir (Yegnanarayana, 2005: 21-22). Frank Rosenblatt 1957 ile 1958 yılları arasında Perceptron'un temel modelini oluşturan Mark I Perceptron adlı ilk nörobilgisayarı geliştirmiştir. Birkaç yıl sonra 1960'da Widrow ve Hoff Adaptive Linear Element'in kısaltması olan *Adaline* adlı ağ geliştirmiştir. Günümüzde yeni nesil YSA türleri geliştirilmeye devam edilmektedir.

YSA, insan beynini örnek alarak, insan beynine benzer şekilde, öğrenme süreciyle ağ üzerinden bilgi edinen ve nöronlar arası bağlantı güçlerine dayalı olarak edinilen bilgiyi depolayan bir modeldir (Bevilacqua, Intini ve Kühtz 2008: 6). YSA, önceden elde edilmiş deneyim/bilgilerden yola çıkarak geleceğe dönük tahminlerde bulunmak üzere tasarlanmıştır (Haykin, 2009: 2). YSA'nın işleyiş sürecinin daha iyi ifade edilmesi için Şekil 5'te biyolojik nöron yapısı gösterilmektedir.

Şekil 5: Biyolojik Nöron (Sinir Hücresi) Yapısı



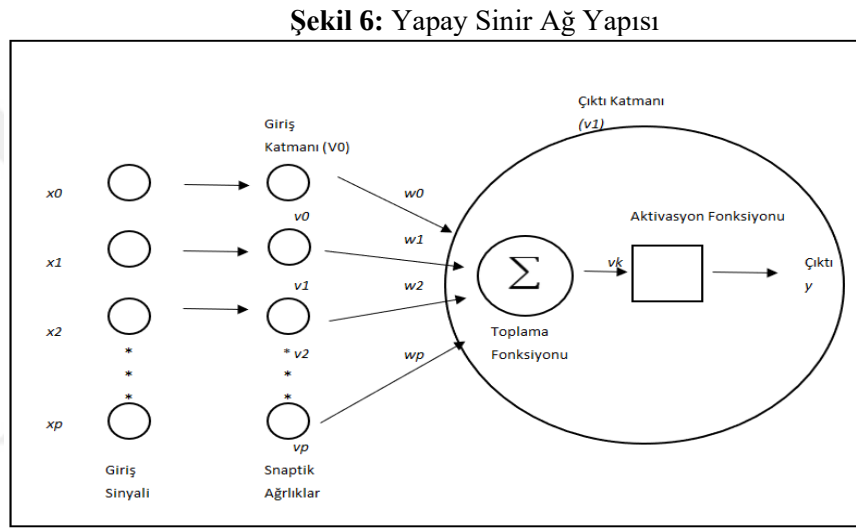
Kaynak: Shehab vd, 2022: 190

Şekil 5'te gösterilen nöron; bilgi işleme yeteneğine sahip özel bir biyolojik hücredir (Jain, Mao& Mohiuddin, 1996: 33). Şekil 5'te gösterildiği üzere bir nöron; Soma (hücre gövdesi), Dendrit (giriş, alıcı), Akson (çıkış) ve Sinaps'dan (bağlantılar) oluşmaktadır.

Nöronun ana işlevlerini yerine getirdiği bölüm olan Soma; genetik bilginin deposu olan çekirdeği içermektedir. Dendritler, nöronun çevresindeki diğer nöronlardan veya dokulardan gelen sinir

sinyallerini almaktadır. Aksonlar ise, hücre gövdesinden uzanan ve diğer nöronlara veya hedef hücrelere doğru sinyalleri taşıyan uzunlukları değişkenlik gösteren yapıdır. Nöronlar arasındaki Sinapslar, nöronlar arasında elektrokimyasal sinyal iletimini sağlamaktadır. Sinapslar, nörotransmitter adı verilen kimyasalların salınması yoluyla çalışmaktadır ve bu sayede bir nöronun çıkışı diğer nöronun girişiyle eşleşmektedir. Bu yapısal bileşenlerin birleşimi, nöronların sinir sistemi içinde bilgiyi ilettiği, işlediği ve yönettiği çok karmaşık bir ağ oluşturmaktadır (Kandel, Schwartz ve Jessell: 2000: 24).

Şekil 6’da gösterildiği üzere biyolojik nörona benzeyen basit bir YSA; giriş katmanı (input-vektör), çıkış katmanı (output) arasında doğrusal olmayan birbirine bağlı gizli katmanlardan oluşmaktadır.



Kaynak: (Lopez, Lopez ve Crossa, 2022: 382) ‘den yararlanılarak oluşturulmuştur.

Şekil 6’ya göre bir YSA’nın matematiksel gösterimi (v_k) eşitlik 1’de olduğu gibi hesaplanmaktadır;

(1)

$$\sum_{j=1}^p v_{ij} x_j$$

Şekil 6’da; birbirinden bağımsız değişken veya değişkenleri içeren $v(v_1, v_2, v_3)$ giriş katmanını ifade etmektedir. Giriş katmanı dış dünyadan gelen bilgiler olarak düşünülebilir (Liu vd, 2010: 3855). Bu katmanın amacı, verilen harici girdi modeli vektörünü ağın ileri beslemeli kısmına dağıtmaktır (Yegnanarayana, 2005: 203). Nöronun aldığı farklı değerler, daha sonra net girdi olarak adlandırılan şeyi üretmek için bir araya getirilen sinaptik ağırlıklar tarafından değiştirilmektedir. Net girdinin (v_j) matematiksel gösterimi eşitlik 2’de olduğu gibidir (Lopez, Lopez ve Crossa, 2022: 382);

(2)

$$\sum_{j=1}^p w_{ij} x_j$$

Net girdi (v_j), nöronun aktif olup olmadığını belirlemektedir. Nöronun aktivasyonu, aktivasyon fonksiyonu bağlıdır. Aktivasyon kodu (vk) Şekil 6’da gösterildiği üzere; net girdi ile çıktı arasında değerlendirilen, çıktının elde edildiği alandır. Aktivasyon fonksiyonu; bir nöronun çıkışının genliğini sınırlamak için kullanılmaktadır (Haykin, 2009: 10). Literatürde birçok farklı aktivasyon fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar; Sigmoid, lineer fonksiyon, step fonksiyonu, Sinus fonksiyonu, eşik değer fonksiyonu ve hiperbolik tanjant fonksiyonudur. Sigmoid fonksiyonu çalışmalarda en yaygın kullanılan, S şeklinde olan artan bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır (Haykin, 2009: 14). Lineer fonksiyonda girdiler olduğu gibi hücrenin çıktısı olarak kabul edilmektedir. Doğrusal nöron transfer fonksiyondur (Yadav, Yadav& Kumar, 2015: 22). Step fonksiyonunda, gelen net girdi değerinin belirlenen bir eşik değerin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1/0 değerini almaktadır. Sinus fonksiyonu 0 ve 1 arasındaki y değerleri için tanımlı olup $x=0$ ekseninden önce 0’a sonrasında ise 1’e yakınsamaktadır (Öztemel, 2017: 51). Eşik değer fonksiyonu gelen verilen 0 ve 1 arasında değerler aldığı durumlarda kullanılmaktadır. Hiperbolik tanjant fonksiyonu, gelen (v_j) değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanmaktadır.

Şekil 6’nın orta kısmında yer alan orta katman ise gizli katman (*hidden layers*) olarak ifade edilmektedir (Nielsen, 2013: 11). Girdi ve çıktı arasında gerçekleştirilen hesaplamalar kullanıcı tarafından görülemediği için gizli katmanlar olarak adlandırılmaktadır (Aggarwal, 2018: 17). Bu katmanlar, analiz edilen süreç veya sistemle ilişkili kalıpları çıkarmaktan sorumlu olan nöronlardan oluşmaktadır (Silva vd, 2017: 22). Gizli katman seçiminde literatürde birçok ampirik yöntem olmasına rağmen, kesin bir kural bulunmamaktadır (Viotti, Liuti ve Di Genova, 2002: 33). Fazla gizli katman kullanılması; aşırı uyum³⁶ (*overfitting*) sorununa, az sayıda gizli katman kullanılması ise modelin genelleme yeteneğinin düşmesine neden olabilmektedir.

Şekil 6’da y ise çıkış katmanını ifade etmektedir. Çıkış katmanı ise yanıt değişkeninden oluşmaktadır ve girdi sayısına göre değişmektedir (Shehab vd, 2022: 190).

YSA’da modelde kullanılacak veriler hazırlandıktan sonra, veri seti eğitim, doğrulama ve test seti olarak ayrılmaktadır. Eğitim seti; doğrusal olmayan fonksiyonun en iyi uyumuna ulaşmak için rastgele

³⁶ **Aşırı Uyum (overfitting):** Aşırı uyum sorunu, bir modelin belirli bir eğitim veri setine uydurulmasının, model eğitim verileri üzerindeki hedefleri mükemmel bir şekilde tahmin etse bile, görünmeyen test verileri üzerinde iyi bir tahmin performansı sağlayacağını garanti etmediği gerçeğini ifade etmektedir (Aggarwal, 2018: 25).

ayrılan ağı eğitildiği veri grubunu ifade etmektedir. Doğrulama seti; YSA genellemesini değerlendirmek, yani modelleri benzersiz bir şekilde öğrenmek yerine modelin olgunun genel fonksiyon temsilcisine etkili bir şekilde yaklaşp yaklaşmadığını değerlendirmek için kullanılan bir dizi yeni veri grubudur. Test seti; hata değerlendirmesinin doğrulandığı, veri setinin hala öğrenme aşamasında olan veri grubunu ifade etmektedir (Viotti, Liuti ve Di Genova, 2002: 29).

YSA tasarımı, geliştiricinin girdi değerleri, eğitim, doğrulama ve test veri seti boyutları, öğrenme algoritması, ağ mimarisi veya topolojisi ve dönüşüm işlevi gibi birçok karar vermesini gerektirmektedir. Bu kararların birçoğu birbirine bağlı olarak belirlenmektedir. YSA'ları tasarlarlarken bir adım dizisini takip etmek gerekmektedir. Bu adımları şu şekilde sıralamak mümkündür (Walczak ve Cerpa, 2003: 634);

- Kullanılacak veri setinin belirlenmesi,
- Giriş/girdi değişkenlerinin belirlenmesi,
- Veri setinin eğitim, doğrulama ve test olmak üzere ayrılması,
- Ağ mimarisinin tanımlanması,
- Öğrenme algoritmasının seçilmesi,
- Gerekli ise normalizasyon işleminin yapılması,
- Değişkenlerin ağ girişlerine dönüştürülmesi,
- Veri setinin eğitilmesi (YSA hatası kabul edilebilir değerin altına düşene kadar),
- Modelin test edilmesi.

Kurulan YSA'nın performansı ise; ortalama mutlak hata (*absolute error*), ortalama karesel hatanın kökü (root mean square error), varyans katsayısı (*coefficient of variance*) ve YSA tahmini verilerinin en iyi uyumu gibi çeşitli istatistiksel ölçümlerin minimum hatalarının seçim kriterlerine bağlıdır (Zayed vd, 2022: 51).

YSA, bir değişkenin gelecekteki değerinin tahmini, ekonomi, finans, meteoroloji, tıp, bilişim, askeri ve savunma uygulamaları gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları, çevresel toksikolojideki karmaşık ilişkileri bulmak için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Devillers, 2008: 61).

- **Yapay Sinir Ağları Avantajları:** Yapay Sinir Ağları uygulamaya göre farklılık gösterebilmektedir. Sinir Ağı yaklaşımları, doğrusal olmayan dinamikleri modelleme ve farklı alanlardan gelen giriş sinyallerini işleme yetenekleri nedeniyle tercih edilmektedir (Zecchin vd, 2015: 245). Pek çok bilimsel ilişki doğrusal olmadığı için bu, önemli bir avantaj olarak kabul edilmektedir (Cartwright, 2008: 6). Bu çalışmada YSA tercih edilmesine neden olan, modelin diğer avantajları şu şekilde ifade edilebilir;

- İnsana özgü bir sezgisel bir davranış olan genelleme, YSA'nın önemli avantajlarından bir tanesi olarak kabul edilmektedir (Yegnanarayana, 2005: 372). Makine öğrenimi özünde daha önce görülmemiş veriler üzerinde iyi performans gösteren genelleme yapan modeller elde etmek üzerine inşa edilmiştir (Chollet, 2017: 97).
- YSA ile daha küçük miktarlarda veri kullanarak daha iyi tahmin performansı elde edilmektedir (Walczak ve Cerpa, 2003: 641). İlerleyen yapay zekâ araştırmaları son yıllarda ön plana çıkmaktadır.
- YSA'nın geleneksel modellerle kıyaslandığında avantajı; eksik bilgilerle de çalışma yeteneğidir. Eksik bilgi ile çalışılmasının modelin performansını etkilemesi, eksik olan bilginin önemime bağlı olmaktadır (Öztemel, 2017: 32).
- Veriye dayalı modeller olarak YSA'lar, uygulanacak verilere ilişkin ön bilgiye ihtiyaç duymamaktadır (Hilaiwah vd., 2021: 560).
- Uyarlanabilir öğrenme, YSA sistemlerinin en önemli avantajlarından bir tanesidir (Dastres ve Soori, 2021: 17). Uyarlanabilir öğrenmede YSA, öğrenirken görevlerin nasıl yapılacağını öğrenmesi açısından insan beynini kopyalamaktadır (Kukreja vd, 2016: 30). Örneğin sistem, uyarlanabilirlik ve örüntü yapısını kullanarak, istenilen bilginin tanınmasını öğrenebilmektedir.
- Yapay sinir ağlarının avantajlarından bir diğeri ortamdan öğrenebilme yeteneğidir. Ortamdan öğrenme; ortamın karmaşıklığının diğeri türdeki çözümlerin uygulanmasını kullanışsız hale getirdiği uygulamalarda yararlı olmaktadır. (Krenker, Beşter ve Kos, 2011: 13).
- Bir sinir ağı tarafından öğrenilen belirli bir sürecin davranışı hakkındaki bilgi, yapay nöronlar arasındaki çeşitli sinapsların her birinde depolanmaktadır. Bu nedenle bazı nöronların kaybolması durumunda dahi mimarinin sağlamlığı iyileştirilmektedir (Silva vd, 2017: 6).
- Sinir ağları, sinaptik ağırlıklarını ortamdaki değişikliklere uyarlamak için yerleşik bir yeteneğe sahiptir. Özellikle, belirli bir ortamda çalışmak üzere eğitilmiş bir sinir ağı, çalışma ortamı koşullarındaki küçük değişikliklerle başa çıkmak için kolayca yeniden eğitilebilmektedir (Haykin, 2009: 3).
- Bir sinir ağının gizli katmanı, ona tüm girdi katmanları arasındaki etkileşimleri tespit etmesine imkân sağlamaktadır (Tu, 1996: 1228-1229).
- YSA'lar diğeri geleneksel modellere göre yüksek hızlı bilgi işleme, hata toleransı, haritalama yeteneği, uyarlanabilirlik ve sağlamlılık özelliklerine sahiptir (Zayed vd, 2022: 50).
- Sinir ağları; eksik, gürültülü ve bulanık verilere dayanarak çalışabilme yeteneğine sahiptir (Kukreja vd, 2016: 30).
- YSA modelleri sadece sayısal verilerin yanı sıra; görüntü, konuşma tanıma, doğal dil işleme ve öneri sistemleri gibi çeşitli alanlarda çalışma fırsatı sunmaktadır (Obunadike vd., 2023: 221).

- Sinir ağıları karmaşık problemlerin sonuçlarını doğru bir şekilde tahmin etmede diğer istatistik modellerine göre daha yüksek doğruluk testi puanına sahiptir (Dumitru ve Maria, 2013: 447). Bu nedenle daha komplike modelleri çözmede tercih edilmektedir.

- **Yapay Sinir Ağları Dezavantajları:** Yapay Sinir Ağlarının geleneksel sistemlere göre birçok avantajı bulunmasına rağmen, bu alandaki araştırmacıların aza indirmeye çalıştıkları bazı dezavantajları da mevcuttur. YSA'nın bilinen dezavantaj ve uygulamada zorlukları ise şu şekilde ifade edilmektedir;

- YSA'nın literatürde en çok eleştirildiği yönü black box (*kara kutu*) özelliğidir. YSA sürecinin açıklandığı bölümde anlatıldığı üzere; bilgiyi işleme süreci olarak tanımlanan YSA, verilen girdilere karşı çıktılar üretmektedir. Gizli katmanda, girdi ve çıktı arasında gerçekleştirilen hesaplamalar kullanıcı tarafından görülememektedir. Bu nedenle YSA'ya kara kutu yakıştırması yapılmakta ve sistemin şeffaf olmaması eleştirilmektedir.
- Eğitim ve test verisi performansı arasında tahmin edilemeyen bir boşluk oluşmaktadır ve bu durum özellikle modellerin karmaşık ve veri setinin küçük olduğunda sorun oluşturmaktadır (Aggarwal, 2018: 25).
- YSA'da isteğe bağlı bir uygulama için bir ağ tasarlamaya yönelik özel kurallar veya talimatlar yoktur (Dastres ve Soori, 2021: 18). YSA ile bir uygulama geliştirilirken model seçiminde ve ağların topolojisini belirlemede genel-geçer bir kural bulunmamaktadır. Doğru seçimlerin yapılması tümüyle modeli kullanan kişinin tecrübesine bağlıdır.
- Eğitimin tamamlanması için; ağın örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değerin altına indirilmesi yeterli görülmektedir. Genellikle öğrenme, kullanıcının hatanın yeterince küçük olduğunu düşündüğünde eğitim durdurulmaktadır (Kriesel, 2009: 59). Ancak ağın eğitiminin ne kadar süreceğine karar vermek için kesin bir yöntem bulunmamaktadır (Öztemel, 2017: 35).
- Gizli katmanda kullanılacak düğüm sayısı analizi zorlaştırmaktadır. Daha fazla sayıda gizli birim düğümü, daha uzun bir eğitim süresiyle sonuçlanmakta ve analizi yavaşlatmaktadır (Walczak ve Cerpa, 2003: 639). Bu nedenle gizli katmanda yer alacak düğüm sayısını seçerken, eğitim süresi ile eğitimin doğruluğu arasında bir denge kurmak zorunluluktur.
- Sinir ağlarının çoğu sıralı makinelerde simüle edildiğinden, problemin boyutu genişledikçe işlem süresi gereksinimlerinde çok hızlı bir artışa neden olmaktadır (Dumitru ve Maria, 2013: 448).
- Yapay Sinir Ağı modelleri, uygun bir veri setinin ve sinir ağı yazılımının mevcudiyetine bağlı olarak, günler ile haftalar arasında geliştirilebilmektedir (Tu, 1996: 1228-1229).
- YSA modelleri, özellikle sınırlı eğitim verileriyle çalışırken aşırı uyum (ezberleme) sağlamaya eğilimlidir (Obunadike vd., 2023: 221).

Bu nedenlerle bu çalışmada, iklim değişikliğinin seyrini tahmin etmek için, çok boyutlu neden-sonuç ilişkilerine yüksek performanslı çözümler üretebilen, doğrusal olmayan bir analiz kabul edilen YSA kullanılmasına karar verilmiştir.

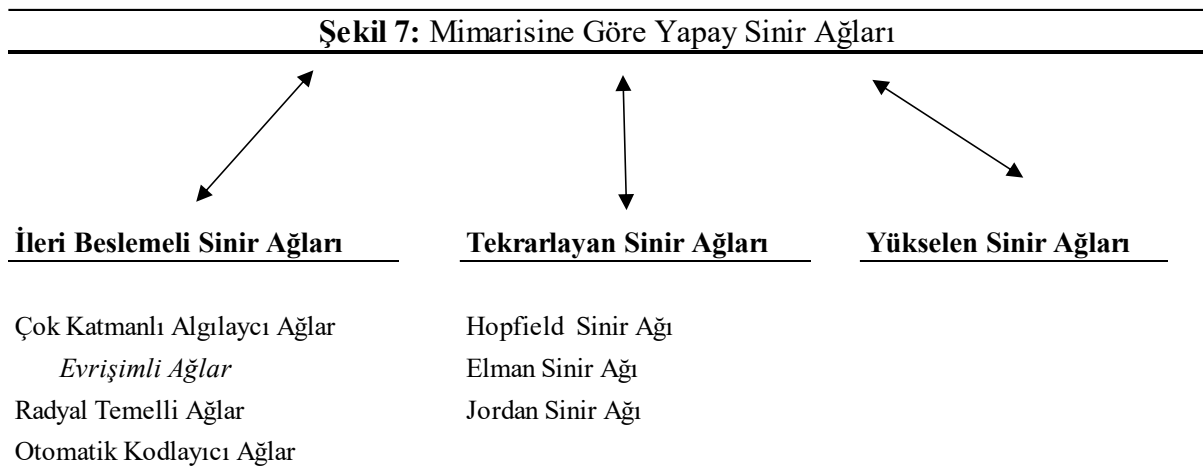
Sinir ağlarının uygulanmasına olanak tanıyan çok sayıda yazılım bulunmaktadır. Bunların arasında NeuralWare Inc. (www.neuralware.com), tarafından geliştirilen NeuralWorks Predict ve NeuralSight en çok kullanılan sinir ağı ürünleridir (Liu vd, 2010: 3855). NeuralWare tarafından geliştirilen MATLAB ve Neuralworks Professional II/Plus platformu ile kullanım için Neural Network Araç Kutusu ve NeuroDimension Inc. tarafından geliştirilen NeurSolution en yaygın kullanılan diğer sinir ağı uygulamalarıdır.

3.1.1 Yapay Sinir Ağı Çeşitleri

Yapay Sinir Ağları ilgili özelliklerine göre birçok farklı şekilde sınıflandırılabilir. Genel olarak, YSA'ların sınıflandırılması aşağıdaki bilgilere göre yapılmaktadır (Basheer ve Hajmeer, 2000: 13);

- YSA'nın hizmet etmek üzere tasarlandığı işlev (örüntü ilişkilendirme, kümeleme gibi),
- Ağdaki nöronların bağlanabilirlik derecesi (kısmi/tam),
- Ağ içindeki bilgi akışının yönü (tekrarlayan ve tekrar etmeyen).

Çalışmada YSA çeşitleri mimarisine göre; İleri Beslemeli Ağlar (*Feedforward Neural Networks*), Tekrarlayan Sinir Ağlar (Recurrent Neural Networks) ve Yükselen Sinir Ağları (*Spiking Neural Networks*) olmak üzere 3 başlıkta ele alınmaktadır (Silvestrini ve Lavagna, 2022: 11-20). Yapay Sinir Ağları türleri kronolojik olarak Şekil 7'de özet olarak gösterilmektedir;

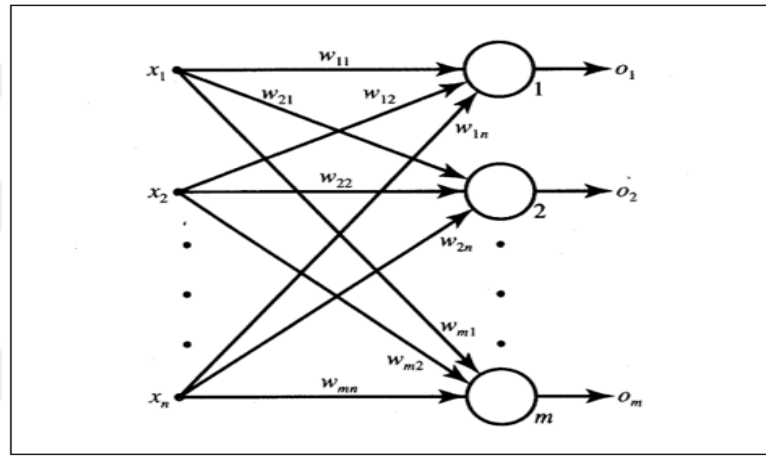


Kaynak: Silvestrini ve Lavagna, 2022: 11-20 'den yararlanarak oluşturulmuştur.

3.1.1.1 İleri Beslemeli Sinir Ağları (Feedforward Neural Networks)

İleri Beslemeli Sinir Ağları, en eski ve kullanılan en yaygın ağ mimarisi olarak kabul edilmektedir (Silvestrini ve Lavagna, 2022:11). En genel haliyle bir geri bildirim ağı, her birimin çıktısı, aynı birim dahil olmak üzere diğer tüm birimlere girdi olarak beslenen bir dizi işlem biriminden oluşmaktadır (Yegnanarayana, 2005: 142). İleri besleme terimi, ağın sahip olduğu bilgi akışını ifade etmektedir. Bilgi, geri döngü olmadan yalnızca tek bir yönde girişten çıkışa akmaktadır (Krenker, Beşter ve Kos, 2011: 7). Girdi katmanından varsa gizli katmana ve çıkış katmanına doğru yalnızca tek bir yönde ileri doğru hareket edilmektedir. Şekil 8’de İleri Beslemeli Sinir Ağı mimarisi gösterilmektedir;

Şekil 8: İleri Beslemeli Sinir Ağı Mimarisi



Kaynak: (Zurada, 1992: 38) ‘den alınmıştır.

Şekil 8’de giriş katmanı (x), çıkış katmanı (o), sinaptik ağırlıklar (w) ile gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere ağ katmanlı bir yapıya sahiptir. Her katman, girdilerini doğrudan altındaki bir katmandaki birimlerden alan ve çıktılarını birimin hemen üstündeki bir katmandaki birimlere gönderen birimlerden oluşmaktadır (Krose ve Smagt, 1996: 33). Başka bir deyişle İleri Beslemeli Ağ’da bir katmandan gelen çıktı; bir sonraki katmana girdi olarak kullanılmaktadır. İleri Beslemeli Sinir Ağı’nın matematiksel ifadesi eşitlik 3’te gösterilmektedir (Zurada, 1992: 37);

(3)

$$\sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot x_j$$

Genel olarak, ileri beslemeli ağlar statiktir; belirli bir girdiden bir dizi değer yerine yalnızca bir dizi çıktı değeri üretmektedirler (Jain, Mao& Mohiuddin, 1996: 34). Bu durum, ağda döngü olmadığı anlamına gelmektedir; bilgi her zaman ileriye beslenmekte olup, geriye doğru beslenmemektedir (Nielsen, 2013: 12).

İleri Beslemeli Sinir Ağlarının uygulamada avantajları ve dezavantajları şu şekildedir;

- Beslemeli bağlantılar, tahmine dayalı kodlama çerçevesinde eğitim sinyalleri sağlayabilmektedir (Pfeiffer ve Pfeil, 2018: 9).
- Birimlerin çıkış fonksiyonları sürekli doğrusal olmayan fonksiyonlar olduğunda; karar bölgeleri tipik olarak lineer hiper düzlemler yerine düz yüzeylerle sınırlanmakta ve bu nedenle geometrik görselleştirme ve yorumlama zorlaşmaktadır (Yegnanarayana, 2005: 112).
- Ağın topolojisindeki döngüler, sinyallerin üretildikten sonra belirli bir süre saklanmasını ve yeniden kullanılmasını mümkün kılmamaktadır; ağ önceki sonuçları takip edememektedir (Rojas, 1996: 42),

İleri Beslemeli Sinir Ağı türleri ise Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron- MLP) Sinir Ağı, Radyal Temelli Fonksiyon Sinir Ağı ve Otomatik Kodlayıcı Ağlar (Autoencoders) olarak sınıflandırılmaktadır.

- **Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron) Sinir Ağı:** Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağ 1950'lerde Frank Rosenblatt tarafından önerilen orijinal algılayıcı modelinin bir çeşididir (Yegnanarayana, 2005: 112). Çok katmanlı bir algılayıcı (MLP) sinir ağı modeli, McCulloch ve Pitts'in nöronlarının ileri beslemeli, katmanlı bir ağından oluşmaktadır (Hu ve Hwang, 2002: 15). Genel olarak, bu YSA biçimi, bir giriş katmanına, birden çok gizli katmana ve bir çıkış katmanına sahiptir. MLP'de her katman, düğümlerden oluşmakta ve tam bağlantılı ağlarda her düğüm, sonraki katmanlardaki her düğüme bağlanmaktadır (Delashmit ve Manry, 2005: 2). Çok katmanlı sinir ağları, birden fazla hesaplama katmanı içermektedir (Aggarwal, 2018: 17). MLP sinir ağı eğitim ve tahmin modu olmak üzere iki modda çalışmaktadır (Svozil, Kvasnicka ve Pospichal, 1997: 46). Eğitim modu; ağırlıkların rastgele değerleri ile başlamak ve yinelemeli olarak ilerlemektedir. Tam eğitim setinin her yinelemesine bir çağ (*epoch*) denmektedir. MLP'nin uygulamada sağladığı avantajlar aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir (Goodfellow, Bengio ve Courville, 2017);

- Gürültü³⁷ (*noisy*) sorununu gidermede başarılıdır,
- MLP'nin sahip olduğu evrensel yakınsama teoremi sayesinde herhangi bir sürekli fonksiyonu yaklaşık olarak öğrenebilirler,
- MLP, farklı katman ve düğüm sayılarıyla kolayca ölçeklenebilmektedir. Bu durum modelin karmaşıklığını ihtiyaç doğrultusunda ayarlayabilme esnekliği sağlamaktadır.

MLP'nin bilinen dezavantajları şu şekildedir (Manry, Chandrasekaran ve Hsich, 2002: 42-43);

³⁷ **Gürültü:** Rassal yürüyüş modelindeki hata terimi bkz: (Chikobvu ve Chinhamu, 2013: 3).

- Eğitim süresi ve başlangıç ağırlık değerlerine göre fazla duyarlıdır.
- MLP eğitim hatası ve ağ topolojisi bilinmemektedir. MLP'de yeterli gizli birim yoksa, fonksiyon yaklaşım problemini çözmek için çıktılarda fazla hata üreterek verilerin altında kalmaktadır.
- MLP için en uygun eğitim miktarını belirlemek zordur.

- **Evrişimli Sinir Ağı:** MLP'nin konuşma veya metin gibi 1 boyutlu sinyallere veya görüntüler gibi 2 boyutlu sinyallere uygun olan biçimi, evrişimli sinir ağıdır (Murphy, 2012: 565). Evrişimli sinir ağlarının kökenleri 1970'lere kadar uzanmaktadır. Bu ağ çeşidi görüntü sınıflandırması ve nesne tespiti için bilgisayar görüşünde kullanılan biyolojik olarak esinlenmiş ağlardır ve mimarisinde bulunan ağı her katmanı 3 boyutludur (Aggarwal, 2018: 40).

Evrişimli Sinir Ağları yerel alıcı alanlar, paylaşılan ağırlıklar ve havuzlama olmak üzere 3 düşünceye dayanmaktadır. Yerel alıcı alanlar; tamamen bağlantılı katmanlarda, girdilerin dikey bir nöron hat olarak var olmasıdır. Paylaşılan ağırlıklar; her gizli nöronun yerel alıcı alanına bağlı olarak ağırlığının 5×5 olmasıdır. Havuzlama ise; genellikle evrişimli katmanlardan hemen sonra kullanılan ve evrişim katmanından gelen çıktıdaki bilgileri basitleştiren katmanlardır (Nielsen, 2013: 170).

Evrişimli Sinir Ağı türünde, girdilerdeki ağırlıklar, tek bir evrişim katmanının tüm düğümleri için aynı olmalıdır. Bu kısıtlama, bir Evrişimli Sinir Ağını, genel bir sinir ağı eğitiminden çok daha verimli hale getirmektedir. Bunun nedeni, her katmanda çok daha az parametre olması ve bu nedenle, her düğümün veya her katmanın eğitim sürecinin keşfetmesi için kendi ağırlıklarına sahip olmasına kıyasla çok daha az eğitim örneğinin kullanılabilmesidir (Leskovec, Rajaraman ve Ullman, 2019: 527).

Ağın temel dezavantajı ise; analog derin ağlarda yaygın olan maksimum havuzlama işlemlerinin ani artış ayarında gerçekleştirilmesinin zor olmasıdır (Pfeiffer ve Pfeil, 2018: 6). Bir başka ifade ile maksimum işlem doğrusal değildir ve ani artış hesaplanamamaktadır.

- **Radyal Temelli (Çekirdek) Fonksiyon Sinir Ağı:** Radyal tabanlı fonksiyonlar kavramı yapay sinir ağları literatürüne Broomhead ve Lowe (1988) tarafından kazandırılmıştır. İki katmandan oluşan Radyal tabanlı ağ, radyal tabanlı aktivasyon işlevini kullanan ileri beslemeli bir sinir ağı olarak kullanılmaktadır (Hu ve Hwang, 2002: 23; Hagan vd., 2014: 665). Bu ağlar, çok katmanlı ileri beslemeli geri yayılım ağının özel bir durumudur (Jain, Mao & Mohiuddin, 1996: 40).

Radyal Tabanlı Sinir Ağı; doğrusal olmayan birimlere sahip tek bir gizli katmandan ve ardından doğrusal birimlere sahip bir çıkış katmanından oluşmaktadır (Yegnanarayana, 2005: 245). Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağı yalnızca 2 katmandan oluşması ve yeterince derin olmaması nedeniyle sorun

çözmede çok fazla tercih edilmemektedir (Aggarwal, 2018: 37). Radyal Tabanlı Sinir Ağda gizli katman her zamanki gibi eğitilmekte ancak girdi her gizli birimde farklı şekilde işlenmektedir (Rojas, 1996: 424).

İki adımlı hibrit öğrenme dahil olmak üzere, çeşitli öğrenme algoritmaları ile eğitilebilmektedirler. Radyal Tabanlı Sinir Ağı'nın öne çıkan özellikleri şu şekilde ifade edilebilir (Er vd, 2002: 698);

- Evrensel yaklaşıma sahip olmaları,
- Yerel olarak ayarlanmış nöronlar sayesinde öğrenme hızlarının yüksek olması,
- Diğer sinir ağlarından daha kompakt topolojiye sahip olması,
- Model boyutunun genellikle küçük olduğu fonksiyon yaklaşımı ve model tanıma için kullanılabilmesi.

Radyal Tabanlı Sinir Ağı'nın bilinen dezavantajları şu şekildedir (Lee, Derrible ve Pereira, 2018: 4);

- Aktivasyon değerinin belirlenmesi zordur,
- Eğitim süresi diğer sinir ağı türlerine görece uzundur.

- **Otomatik Kodlayıcı Ağlar – Autoencoders:** Autoassociator veya Diabolo ağları olarak da bilinen bir otomatik kodlayıcı, verilen girişi yeniden oluşturmak için kullanılan yapay bir sinir ağıdır. Otomatik kodlayıcılar, matris çarpanlarına ayırma, ana bileşen analizi ve boyut azaltma dahil olmak üzere çeşitli denetimsiz öğrenme türleri için kullanılan temel bir mimariyi temsil etmektedir (Aggarwal, 2018: 70).

Otomatik Kodlayıcı Ağlar bir dizi etiketlenmemiş girdi alır, bunları kodlar ve ardından bunlardan analiz için en önemli bilgileri çıkarmaya çalışır. Çok katmanlı algılayıcılar etrafında oluşturulan otomatik kodlayıcılar; eşleme katmanı, darboğaz katmanı ve haritalama katmanından oluşmaktadır (Haykin, 2009: 417).

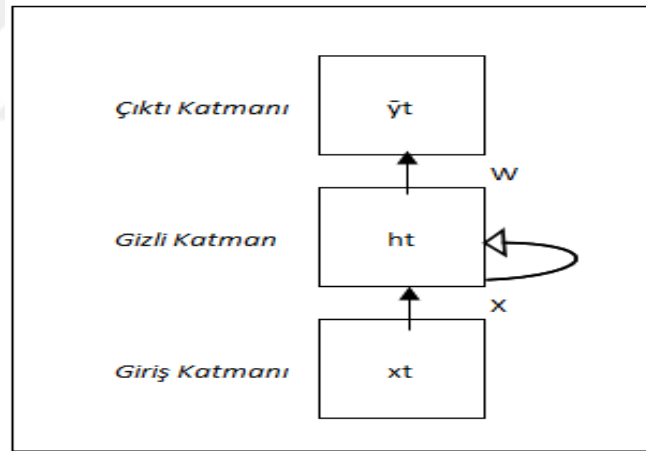
Farklı türdeki Otomatik Kodlayıcılar, çeşitli uygulamalar için yeni modeller oluşturmak için değiştirilebilir veya birleştirilebilmektedir. Özellikle bu ağlar; sınıflandırma, başlıklandırma ve gözetimsiz öğrenme için kullanılmaktadır (Bank, Koenigstein ve Giryes, 2021: 8).

3.1.1.2. Tekrarlayan Sinir Ağlar (Recurrent Neural Networks)

Sıralı veya zamanla değişen kalıpları öğrenmek için tasarlanan Tekrarlayan Sinir Ağlar, 1990'larda çalışılmaya başlanmıştır (Unadkat, Ciocoiu ve Medsker, 2001: 11). Tekrarlayan topolojiye sahip yapay sinir ağlarına Tekrarlayan Yapay Sinir Ağı adı verilmektedir. Tekrarlama/yineleme; bir nöronun kendisini herhangi bir yolla veya herhangi bir bağlantıyla etkileme süreci olarak tanımlanmaktadır (Kriesel, 2009: 66). Tekrarlayan bir ağda, bazı nöronların çıktıları aynı nöronlara veya önceki katmanlardaki nöronlara geri beslenmektedir (Basheer ve Hajmeer, 2000: 14). Öğrenme sırasında, tekrarlayan ağ, ağ üzerinden çıkışlardan girişlere veri geri beslemesi de dahil olmak üzere girişlerini ağ üzerinden beslemekte ve çıkışların değerleri değişmeyene kadar bu işlemi tekrarlamaktadır (Yadav, Yadav& Kumar, 2015: 25).

Genel bir sinir ağından farklı olarak Tekrarlayan Sinir Ağlar, yalnızca bir katmanda değil; tüm katmanlarda girdiye sahiptir (Leskovec, Rajaraman ve Ullman, 2019: 554). Geri besleme bağlantılarına izin verilen ağda, doğrusal olmayan bir dinamik sistem işlemektedir (Murphy, 2012: 563). Şekil 9'da Tekrarlayan Sinir Ağ Yapısı gösterilmektedir;

Şekil 9: Tekrarlayan Sinir Ağ Yapısı



Kaynak: (Aggarwal, 2018: 275) 'den yararlanılarak oluşturulmuştur.

Şekil 9'da görüleceği gibi, ağın farklı katmanlarındaki düğümler, tekrarlayan sinir ağlarının tek bir katmanını oluşturmak için sıkıştırılmaktadır. Sinir ağında t zamandaki girdi verilerinin (x_t) yanında, $t-1$ zamandan gelen gizli katman (h_t) birleşerek; şimdiki ve önceki bilgilerin birleştirilmesi ile çıktıyı üretmektedirler.

Tekrarlayan bir sinir ağ, en az bir geri besleme döngüsüne sahip olmasıyla, ileri beslemeli bir sinir ağından ayrılmaktadır (Haykin, 2009: 23). Geri besleme döngülerinin mümkün olduğu bu ağ çeşidinde döngüler soruna neden olmaz çünkü bir nöronun çıktısı, girdisini anlık olarak değil, daha sonraki bir zamanda etkilemektedir (Nielsen, 2013: 12). Bu sinir ağı çeşidi genellikle metin cümleleri, zaman

serileri ve biyolojik diziler gibi sıralı verileri tasarlamak için kullanılmaktadır (Aggarwal, 2018: 39). Tekrarlayan sinir ağlarının temel avantajları şu şekildedir;

- Ağ ilişkileri ezberlemektedir; geçmiş bilgileri dikkate alarak hesaplama yapma imkânı vardır (Silva vd, 2017: 139),
- Ağın topolojisindeki döngüler, sinyallerin üretildikten sonra belirli bir süre saklanmasını ve yeniden kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Rojas, 1996: 42),
- Tüm doğrusal olmayan dinamik sistemlerin evrensel bir yaklaşımıcısıdır; doğrusal olmayan herhangi bir dinamik sistem, ağın yeterli sayıda gizli nöronla donatılması koşuluyla, tekrarlayan bir sinir ağı tarafından istenen herhangi bir doğruluk derecesine hiçbir kısıtlama getirilmeksizin yaklaşılabılır (Haykin, 2009: 789),
- Girdinin büyüklüğü ile artmayan bir model boyuna sahiptir,

Tekrarlayan sinir ağlarının bilinen temel dezavantajları ise şu şekildedir;

- Diğer YSA çeşitlerine görece yavaş hesaplama,
- Kaybolan gradyan problemi; uzun zaman önceki bilgiye erişme zorluğu (Aggarwal, 2018: 274),
- Yinelemelerin ve ağ içi katman üretimlerinin hesaplaması zordur (Kriesel, 2009: 143).

Tekrarlayan Sinir Ağları'nın çeşitli mimarilere sahip özel durumları bulunmaktadır. Bunlar Hopfield Sinir Ağı, Elman Sinir Ağı ve Jordan Sinir Ağı olarak sınıflandırılmaktadır (Krenker, Beşter ve Kos, 2011: 8).

- **Hopfield Sinir Ağı:** Tekrarlayan Sinir Ağ türü olan Hopfield Sinir Ağı, John Hopfield tarafından 1982 yılında geliştirilmiştir. Hopfield çalışmasında, geri beslemeli sinir ağlarının enerji analizini incelemiştir. Analiz, ağın simetrik ağırlıklara sahip olması ve durum güncellemesinin asenkron olarak yapılması şartıyla, bir geri besleme ağında kararlı denge durumlarının varlığını göstermiştir (Yegnanarayana, 2005: 23).

Hopfield ağı, çok döngülü bir geri bildirim sistemi oluşturan bir dizi nöron ve buna karşılık gelen bir dizi birim zaman gecikmesinden oluşmaktadır (Haykin, 2009: 690). Modelde geri besleme döngülerinin sayısı, nöronların sayısına eşittir. Hopfield ağı, düğümler arasındaki ağırlıklı kenarları kullanarak farklı öznitelikler arasındaki ilişkilerin deterministik bir modelini oluşturmaktadır (Aggarwal, 2018: 237). Temel olarak, her bir nöronun çıktısı, bir birim zaman gecikme elemanı aracılığıyla ağıdaki diğer nöronların her birine geri beslenmektedir. Modelde her birim kendisi dışındaki diğer tüm birimlere bağlıdır (Rojas, 1996: 343). Bu sinir ağında gizli birimler arasında simetrik

bağlantılara izin verilmektedir (Murphy, 2012: 568). İkili Hopfield Ağı (*Binary Hopfield Network*), Sürekli Hopfield Ağı (*Continuous Hopfield Network*), Sürekli- Zamanlı Hopfield Ağı (*Continuous-Time Continuous Hopfield Network*) ve Ayrık Hopfield Ağ (*Discrete Hopfield Network*) olmak üzere 4 tür Hopfield Sinir Ağı bulunmaktadır (Yadav, Yadav& Kumar, 2015: 28).

- **Elman Sinir Ağı:** Literatürde basit yenilenen ağ olarak da bilinmektedir. Bu tür yapay sinir ağları, zamanla değişen desenleri hem tespit etmesine hem de üretmesine olanak tanıyan bir belleğe sahiptir.

Elman ağı, MLP ağlarına benzer bir şekilde tasarlanmış olup, Delta kuralına göre eğitilmektedir. Bu ağlarda MLP ağlarından farklı olarak, çıkarım elemanları denilen proses elemanları bulunmaktadır. Bu elemanların görevi; ara katman elemanlarının çıktılarını tekrar ağa girdi olarak göndermektir (Öztemel, 2017: 165).

Elman ağı, gizli nöronlardan birim zaman gecikmelerinden oluşan bağlam birimleri katmanına kadar tekrarlayan bağlantılar içermektedir (Haykin, 2009: 794). Bu bağlam birimleri, gizli nöronların çıktılarını bir zaman adımı boyunca saklamakta ve daha sonra bunları giriş katmanına geri beslemektedir. Bağlam birimi adı verilen, gizli katmandan giriş katmanına kadar geri döngüye sahip olan bu sinir ağı, basit, üç katmandan oluşmaktadır (Krenker, Beşter ve Kos, 2011: 9).

Yapay Sinir Ağı uygulamalarında Matlab tarafından, tam dinamik türev hesaplamalarının mevcut olması nedeniyle Elman ağı, tarihsel ve araştırma amaçları dışında artık önerilmemektedir. Daha doğru öğrenme için zaman gecikmeli (timedelaynet), tekrarlayan katman (layrecnet), NARX (narxnet) ve NAR (narnet) sinir ağları önerilmektedir.

- **Jordan Sinir Ağı:** Tekrarlayan sinir ağlarının diğer bir özel durumu Jordan Ağı, Elman Ağı'na benzemektedir. Elman Ağı'ndan tek farkı; içerik birimlerinin gizli katman yerine çıktı katmanından beslenmesidir (Krenker, Beşter ve Kos, 2011: 10).

Jordan Sinir Ağı'nda bir bağlam nöronu, bir çıktıyı bir sonraki zaman adımında işleninceye kadar ezberlemektedir. Bu nedenle, her bir çıkış nöronu ile bir bağlam nöronu arasında ağırlıklı bağlantılar bulunmaktadır. Saklanan değerler, bağlam nöronları ve girdi katmanı arasındaki tam bağlantılar aracılığıyla gerçek ağa döndürülmektedir (Kriesel, 2009: 122).

3.1.1.3. Yükselen Sinir Ağları (Spiking Neural Networks)

Artan Sinir ağları olarak da bilinen Yükselen Sinir Ağlar, ağdaki her nöronun iletişim kurmak için ayrı sivri uçlar kullandığı üçüncü nesil yapay sinir ağlarıdır (Silvestrini ve Lavagna, 2022: 20). Yükselen Sinir Ağları, orijinal olarak beyinden ve nöronların uyarlanabilir sinapslar yoluyla zaman

içinde ayrı aksiyon potansiyelleri (sivri uçlar) yoluyla bilgi dönüşümü için kullandıkları iletişim şemasından esinlenilerek literatüre kazandırılmıştır (Tavanaei, vd. 2019: 49).

Yükselen Sinir Ağları'nın temel avantajlarından biri, olay odaklı işleme yetenekleridir. Bilgilerin işlenmesi aynı zamanda olay güdümlüdür; kaydedilen çok az bilgi olduğunda veya hiç bilgi olmadığında ağ fazla hesaplama yapmaz, ancak ani aktivite patlamaları kaydedildiğinde ağ daha fazla artış yaratır (Pfeiffer ve Pfeil, 2018: 3). Bu, gerçek zamanlı veri akışı ve zamanla ilişkili bilgilerin işlenmesi gibi uygulamalar için önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Yükselen Sinir Ağlar, uygulamalı mühendislikte hızlı sinyal işleme, olay algılama, sınıflandırma, konuşma tanıma, navigasyon veya motor kontrolü gibi sorunları çözümlemede kullanılmaktadır (Ponulak ve Kasinski, 2011: 409).

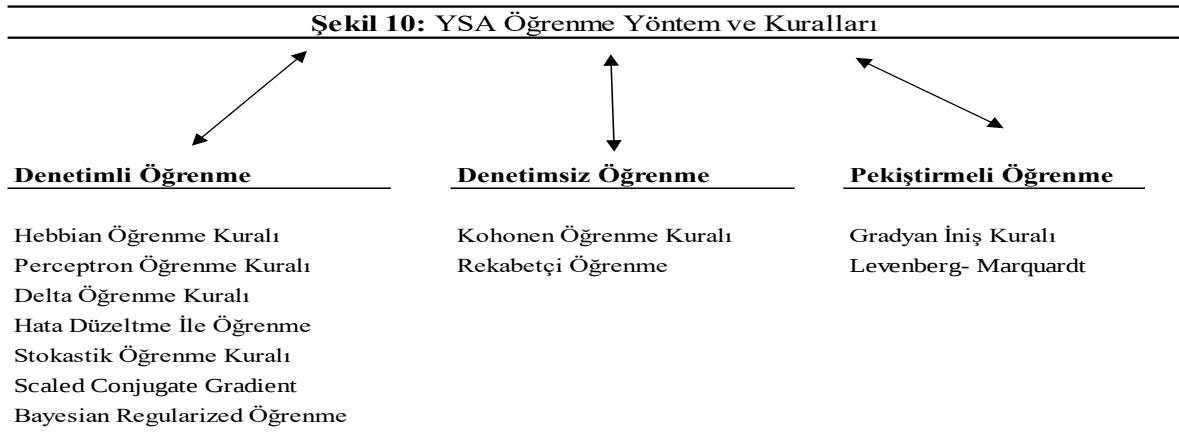
3.1.2 Yapay Sinir Ağı Öğrenme Yöntemleri ve Kuralları

Yapay Sinir Ağları'nın önemli özelliklerinden bir tanesi, bir önceki bölümde değinildiği üzere, bilgiyi kaynağından öğrenebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Sinir ağları bağlamında öğrenmenin kesin bir tanımlı formüle edilmemekle birlikte öğrenme süreci; bir ağına belirli bir görevi verimli bir şekilde yerine getirebilmesi için ağ mimarisinin ve bağlantı ağırlıklarının güncellenmesi olarak ifade edilebilmektedir (Jain, Mao& Mohiuddin, 1996: 34). Öğrenme sürecinde, bir sinir ağı bir dizi girdinin uygulanmasıyla istenen çıktı kümesini üretecek şekilde yapılandırılmaktadır.

Öğrenme, sinir ağının serbest parametrelerinin, ağına yerleşik olduğu ortam tarafından uyarılma süreci yoluyla uyarıldığı bir süreçtir. Bu süreçte yapay sinir ağları belirlenen bir dizi kurala uymak yerine, verilen temsili örneklerden temel kuralları öğrenmektedir. Bir öğrenme sürecini anlamak veya tasarlamak için öncelikle bir sinir ağının işlediği ortamın bir modeline sahip olunmalıdır. Diğer bir ifade ile; ağına hangi bilgilere sahip olduğunun bilinmesi gerekmektedir. İkinci olarak, ağ ağırlıklarının nasıl güncellendiğinin bilinmesi gerekmektedir. Diğer bir ifade ile; güncelleme sürecini yönlendiren öğrenme kurallarının bilinmesi gerekmektedir (Jain, Mao& Mohiuddin, 1996: 35).

Literatürde YSA öğrenme yöntemleri ve kuralları birden fazla kategoriye göre sınıflandırılmaktadır. Temelde ise öğrenme yöntemlerini denetimli, denetimsiz ve pekiştirmeli olarak sınıflandırmak mümkündür (Hilalwah vd, 2021: 560; Krenker, Beşter ve Kos, 2011: 13)

Yapay Sinir Ağları öğrenme kuralları ise Hebbian, Sözde Ters Kuralı, Rekabetçi, Hata Düzeltme Kuralı ile öğrenme, Stokastik öğrenme, Delta Kuralı, Gradyan İniş Kuralı, Kohonen, Perceptron Öğrenme Kuralı olarak sınıflandırılabilir (Hagan, 2014: 5; Yegnanarayana, 2005: 57-58; Hilalwah vd, 2021: 560). Şekil 10'da YSA öğrenme yöntem ve kuralları özet olarak gösterilmektedir;



Kaynak: Hagan, 2014: 5; Yegnanarayana, 2005: 57-58; Hilaiwah vd, 2021: 560', Rojas, 1996, Moller 1993'ten yararlanılarak oluşturulmuştur.

3.1.2.1. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Yöntemleri

YSA öğrenme yöntemleri kategorik olarak sınıflandırılabilir. Kategorik öğrenme ise denetimli, denetimsiz ve pekiştirmeli (derecelendirilmiş) olarak ayrılmaktadır (Hagan vd, 2014: 82).

- **Denetimli Öğrenme:** Literatürde öğretmen/eğitmenle öğrenme yöntemi olarak da bilinmektedir. Denetimli öğrenmede, bir sistemin doğru performans gösterip göstermediğini veya istenen bir yanıt belirtmek, bir sistemin yanıtlarının kabul edilebilirliğini doğrulamak, sistem performansındaki hata miktarını belirtmek için bir öğretmen bulunmaktadır.

Denetimli öğrenme, etiketli örneklerden oluşan bir eğitim örneğinin varlığına dayanmaktadır; her örnek bir giriş sinyalinin ve karşılık gelen istenen yanıtın oluşumudur (Haykin, 2009, 45). Öğretmen makineye öğrenilmesi istenen girdi ve çıktıları veri seti olarak yüklemektedir. Ağ tarafından hesaplanan çıktılar gözlemlenmekte ve beklenen yanıtla sapma ölçülmektedir (Rojas, 1996: 78). Yapay sinir ağının öğrenilmesinin görevi, çıkış değerini gördükten sonra herhangi bir geçerli giriş değeri için parametrelerinin değerini ayarlamaktır (Krenker, Beşter ve Kos, 2011: 14). Ağırlıklar, öğrenme algoritmasının tanımladığı şekilde hatanın büyüklüğüne göre düzeltilmektedir.

Öğrenme kuralı, uygun ağ davranışının bir dizi örneği (eğitim seti) ile sağlanmaktadır (Hagan vd, 2014: 82). Öğrenme sürecinde sinir ağı sistemi, harici bir eğitim aşaması gerektirmektedir. Ağ, her girdi için beklenen çıktıyla birlikte sunulmakta ve ağ ağırlıkları, gerçek çıktının her düğüm için beklenen çıktıyla karşılaştırılarak ayarlanmaktadır (Hilaiwah vd, 2021: 559).

Bu öğrenme yöntemi yapısal öğrenme veya geçici öğrenme için kullanılabilir. Yapısal öğrenme, verilen girdi-çıkı desen çiftleri arasındaki ilişkinin ağırlıklarda yakalanmasıyla ilgilidir. Geçici öğrenme ise, bir dizi örüntüdeki komşu örüntüler arasındaki ilişkinin ağırlıklarda yakalanmasıyla ilgilidir (Yegnanarayana, 2005: 54). Denetimli öğrenmede her giriş modeli için doğru, bir yanıt (çıkı)

ile sağlanmaktadır. Ağırlıklar, ağın bilinen doğru cevaplara mümkün olduğu kadar yakın cevaplar üretmesine olanak tanıyacak şekilde belirlenmektedir (Gupta, 2013: 26).

- **Denetimsiz Öğrenme:** Denetimsiz veya kendi kendine organize olan bu öğrenme türünde öğrenme sürecini denetleyecek harici bir öğretmen bulunmamaktadır. Bunun yerine ağın öğrenmesi gereken temsil kalitesinin görevden bağımsız bir ölçümü için hazırlık yapılmakta ve ağın serbest parametreleri bu ölçüme göre optimize edilmektedir (Haykin, 2009: 37).

Eğitim veri setindeki her giriş modeliyle ilişkili doğru cevabı gerektirmeyen, verilerdeki modeller arasındaki korelasyonları araştıran ve modelleri bu korelasyonlardan kategoriler halinde düzenleyen yöntemdir (Gupta, 2013: 26). Denetimsiz öğrenme, belirli bir kalıp kümesindeki özellikleri keşfederek, kalıpları buna göre düzenlemektedir (Yegnanarayana, 2005: 54). Ağırlıkların güncellenmesi için çoğunlukla yerel bilgiler kullanılmaktadır. Yerel bilgiler, ağırlık güncellemesi yapılan bağlantının her iki ucundaki birimlerin sinyal veya aktivasyon değerlerinden oluşmaktadır. Denetimsiz öğrenme, belirli bir girdi için bir ağın üretmesi gereken sayısal çıktının tam olarak bilinmediği durumlarda kullanılmaktadır (Rojas, 1996: 78). Denetimsiz öğrenme çoğunlukla istatistiksel modelleme, sıkıştırma, filtreleme, kör kaynak ayırma ve kümeleme gibi tahmin problemlerinin alanına giren uygulamalarda kullanılmaktadır (Krenker, Beşter ve Kos, 2011: 14).

- **Pekiştirmeli Öğrenme (Derecelendirilmiş):** Genel yapay zekâ formlarında, sinir ağı değişen ve dinamik durumlarda eylemler yapmayı öğrenmek zorundadır. Bu durumlarda, kritik bir varsayım; öğrenme sisteminin önceden uygun eylem dizisine dair hiçbir bilgiye sahip olmaması ve çeşitli eylemler gerçekleştirirken ödül tabanlı pekiştirme ve/veya takviye ile öğrenmesidir (Aggarwal, 2018: 44).

Pekiştirmeli öğrenme, denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemlerinin bir ara formu olarak değerlendirilmektedir. Eğitimde veriler makineye genellikle verilmemekte ancak çevre ile etkileşimler sonucu oluşturulan bir yapay sinir ağına parametreleri ayarlanmaktadır. Pekiştirmeli öğrenmede ağa doğru yanıtlar değil, yalnızca ağ çıktılarının doğruluğuna ilişkin bir eleştiri verilmektedir (Gupta, 2013: 26). Bir diğer ifade ile denetimli öğrenme türünden farklı olarak; girdiler için çıktı verilmemekte, verilen girdiler için çıktıların makine tarafından üretilmesi beklenmektedir. Denetimli öğrenme türünden diğer farkı; eğitim süreci bir eğitmen gözetiminde gerçekleşmeyen öğrenme türüdür (Haykin, 2009: 36). Sezgisel olarak, ağın problem çözme için belirli kriterleri alması nedeniyle bu prosedürün denetimsiz öğrenmeye göre daha etkili olduğu kabul edilmektedir (Kriesel, 2009: 53).

Ayrıca daha az ön bilgiye bağlı olup, çıktının kesinliğine daha az dayanmaktadır (Hilaiwah vd, 2021: 559). Bir diğer ifade ile; her ağ girişi için doğru çıktının sağlanması yerine algoritmaya yalnızca bir not verilmektedir (Hagan vd, 2014: 83).

Bu öğrenme çeşidinde ağ tarafından üretilen yanıt ile karşılık gelen veya istenilen çıktı arasındaki fark, sürekli olarak analiz edilmektedir. Maksimize edilmesi gereken dönüş fonksiyonu tanımlandıktan sonra takviyeli öğrenme, maksimum getiriye sağlayacak politikayı bulmak için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır (Krenker, Beşter ve Kos, 2011: 15).

3.1.2.2. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Kuralları

Literatürde geliştirilen birçok Yapay Sinir Ağı öğrenme kuralı bulunmaktadır. Çalışmalarda en yaygın kullanılan öğrenme kuralları; Hebbian, Hata Düzeltme Kuralı ile öğrenme, Stokastik öğrenme, Perceptron, Delta Kuralı, Gradyan İniş Kuralı, Kohonen, Öğrenme Kuralı olarak sıralanmaktadır (Hagan, 2014: 5). Literatürden derlenen öğrenme kuralları sırası ile açıklanmaktadır;

- **Hebbian Öğrenme:** Hebb öğrenme kuralı, iki komşu nöronun aynı anda etkinleştirilip devre dışı bırakılması gerekiyorsa, bu nöronları birbirine bağlayan ağırlığın artması gerektiği varsayımına dayanmaktadır (Gupta, 2013: 26). Bu kural bir düğümün ağ içindeki herhangi bir düğüm tarafından beslendiği ve diğer tüm düğümlerin aktif olduğu durumlarda, diğer düğümlerin güçlendirilmiş ağırlıklara sahip olduğunun kabul edilmesini sağlamaktadır (Hilaiwah vd., 2021: 561). Hebb Öğrenme kurallarının ana özellikleri şu şekilde açıklanmaktadır (Haykin, 2009: 369);

- **Zamana Bağlı Mekanizma:** Bu mekanizma, Hebbian sinapsındaki değişikliklerin presinaptik ve postsinaptik sinyallerin tam olarak ortaya çıkma zamanına bağlı olduğu gerçeğine atıfta bulunmaktadır.
- **Yerel Mekanizma:** Doğası gereği bir sinaps, bilgi taşıyan sinyallerin uzay-zamansal bitişiklik içinde olduğu iletim bölgesidir. Bu yerel olarak, mevcut bilgi Hebbian sinapsı tarafından girdiye özgü yerel bir sinaptik değişiklik üretmek için kullanılmaktadır.
- **Etkileşimli Mekanizma:** Hebbian sinapslarında bir değişikliğin meydana gelmesi, sinapsın her iki tarafındaki sinyallere bağlı olmaktadır. Hebbian öğrenme kuralı, presinaptik ve postsinaptik sinyaller arasındaki "gerçek etkileşime" dayanmaktadır; bu iki aktiviteden herhangi birinden tek başına bir tahmin yapılmamaktadır.
- **Bağlantılı veya Korelasyonel Mekanizma:** Presinaptik ve postsinaptik sinyallerin bir arada bulunması, sinaptik modifikasyonun üretilmesi için yeterli olmaktadır.

- **Perceptron Öğrenme Kuralı:** Denetimli öğrenme kategorisinde yer alan Perceptron kuralında öğrenme, bir dizi uygun ağ davranışı örneğiyle sağlanmaktadır (Hagan vd, 2014: 82-87). Bu öğrenme türünde çıktıyı kabul etmek veya reddetmek ve gerekirse ağ ağırlıklarını ayarlamak için bir öğretmene ihtiyaç bulunmaktadır. Perceptron öğrenme kuralı öğrenme, bir giriş vektörü ve ilgili hata verildiğinde algılayıcının ağırlıklarında ve önyargılarında istenen değişiklikleri hesaplamaktadır (Hagan vd, 2014: 81).

- **Delta Kuralı (Widrow-Hoff Öğrenme Algoritması / Adaline)**: 1960'da Bernard Widrow ve Tedd Hoff tarafından geliştirildiği için, Widrow-Hoff öğrenme algoritması olarak da bilinen Delta kuralı, temelde en küçük kareler regresyonunun ikili hedeflere doğrudan uygulandığı yöntemdir (Aggarwal, 2018: 59-60). Widrow-Hoff öğrenme kuralı aynı zamanda adaptif doğrusal nöronun kısaltması olan Adaline (*adaptive linear neuron*) olarak da anılmaktadır.

Delta Kuralı'nda beklenen çıktı ile gerçekleşen çıktı arasındaki farkı en aza indirmek için, YSA'nın elemanlarının bağlantılarının ağırlıkları sürekli olarak değiştirilmektedir (Öztemel, 2017: 27). Diğer bir ifade ile Delta Kuralı; ortalama kare hatasını en aza indirecek şekilde ağırlıkları ayarlamaktadır (Hagan vd, 2014: 317; Hilaiwah vd, 2021: 562). Tahmin ve iletişim kanalı eşitleme gibi problemleri çözmek için ilk doğrusal uyarlamalı filtreleme algoritması olarak kullanılmaktadır (Haykin, 2009: 91).

- **Hata Düzeltme İle Öğrenme**: Açıklandığı üzere denetimli öğrenme paradigmasında, ağa her giriş modeli için istenen bir çıktı verilmektedir. Ancak öğrenme süreci sırasında ağın ürettiği gerçek çıktı, istenen çıktıya eşit olmayabilir. Hata düzeltme öğrenme kurallarının temel prensibi, bu hatayı kademeli olarak azaltmak amacıyla bağlantı ağırlıklarını değiştirmek için hata sinyalini kullanmaktır (Gupta, 2013: 26). Hata düzeltme öğrenmesinde, belirli bir giriş için istenen çıktı bilinir ve bu nedenle öğrenme, istenen çıktı ile gerçek çıktı arasındaki hataya dayanmaktadır (Yegnanarayana, 2005: 63)

- **Stokastik Öğrenme**: Stokastik öğrenme, bir sinir ağının ağırlıklarının olasılıksal bir şekilde ayarlandığı yöntemdir. Stokastik öğrenme, bir gradyan iniş algoritmasında kullanıldığında, her giriş ağa sunuldukça ağırlıklar güncellendiğinden çevrimiçi veya artımlı öğrenme olarak da adlandırılmaktadır (Hagan vd, 2014: 315).

Öğrenme sürecinde rastgele bir ağırlık değişikliği yapılır ve bunun sonucunda oluşan hatadaki değişiklik belirlenmektedir. Ortaya çıkan hata daha düşükse, rastgele ağırlık değişimini kabul edilmektedir. Ancak ortaya çıkan hata daha düşük değilse, önceden belirlenmiş bir olasılık dağılımıyla rastgele ağırlık değişimini kabul edilmektedir (Yegnanarayana, 2005: 65). Stokastik öğrenme yönteminin özel bir durumu Boltzmann öğrenme ve Derin İnanç Ağı'dır (Haykin, 2009: 618).

- **Boltzmann Öğrenme**: Stokastik öğrenmenin özel bir durumu; Boltzmann öğrenmesidir. Boltzmann öğrenmesi, hatanın istenen ve gerçek çıktılar arasındaki doğrudan fark olarak değil, serbest çalışma koşulları altında iki nöronun çıktıları arasındaki korelasyonlar arasındaki fark olarak ölçüldüğü, hata düzeltme öğrenmenin özel bir durumu olarak görülebilmektedir. Boltzmann öğrenmenin amacı, maksimum olabilirlik ilkesine uygun olarak olabilirlik fonksiyonunu maksimuma çıkarmaktır (Haykin, 2009: 602).
- **Derin İnanç Ağı (Deep Belief Network)**: Bu kuralda makine, ham duyuşal girdi verilerinin bazı özelliklerine odaklanarak öğrenme sürecini başlatmaktadır; bu özellikler,

girdi verilerindeki ilginç düzensizlikleri yakalamalıdır (Haykin, 2009: 618). Ardından önceki katmanın özelliklerini yeni duyuşal veri olarak ele alarak başka bir özellik katmanı öğrenmektedir. Bu şekilde bir katmanı diğerinin ardından ekleyerek öğrenme sürecine devam edilmektedir. Öğrenilen en yüksek özellik seviyesi, orijinal ham duyuşal girdi verilerinde ilgi çekici nesneleri tanımak kolay olduğunda oluşmaktadır.

- **Scaled Conjugate Gradient İle Öğrenme:** Denetimli öğrenme yöntemlerinde yer almaktadır. Moller tarafından (1993) geliştirilen algoritma, eşlenik yönlere dayanmaktadır, ancak bu algoritma, her yinelemede bir çizgi araması gerektiren diğer eşlenik gradyan algoritmalarından farklı olarak her yinelemede bir çizgi araması gerçekleştirmemektedir (Babani, Jadhav ve Chaudhari, 2016: 387). Scaled Conjugate Gradient yönteminin, özellikle büyük ölçekli problemleri etkili bir şekilde ele almaya daha uygundur (Moller, 1993: 525).

- **Bayesian Regularization:** Bayesian tip öğrenme, parametreler hakkındaki önceden bilgileri öğrenme sürecine dahil etmek için kullanılan bir yöntemdir. Özellikle sınırlı veriyle çalışıldığında veya aşırı uyumlanmayı önlemek istenildiğinde kullanılması önerilmektedir.

- **Kohonen Öğrenme Kuralı:** Kendi kendini düzenleyen topoloji olarak da bilinen Kohonen öğrenme, Teuvo Kohonen tarafından literatüre kazandırılmıştır. Kohonen öğrenme, kendi kendini organize eden rekabetçi öğrenme paradigmasının bir varyasyonudur (Aggarwal, 2018: 450). Bu öğrenme, işleme elemanlarının ağırlıklarını iyileştirmek için rekabet ettiği ve en iyi çıktı değeri açısından en iyi performans gösteren elemanın, yakın elemanların öğrenmesini sağlayacak kişi olarak kabul edildiği bir temele dayanmaktadır (Hilaiwah vd., 2021: 562). Ancak, bu öğrenci, rakiplerin kendi ağırlıklarını geliştirmesini engellemeye çalışmaktadır. Kohonen tip kuralda, bir nöronun ağırlıklarının bir giriş vektörünü öğrenmesine izin verilmektedir. Bu nedenle tanıma uygulamalarında kullanılması uygundur (Hagan vd, 2024: 588).

- **Rekabetçi Öğrenme:** Denetimsiz öğrenme kategorisinde yer alan rekabetçi öğrenmede ağırlık unsurları, bir girdi vektörüyle ilişkili çıktıyı sağlama “hakki” için birbirleriyle rekabet etmektedir (Rojas, 1996: 101). Rekabetçi öğrenme yönteminde, ağırlık çıkış katmanında birkaç nöron bulunmaktadır. Ağırlık bir giriş sinyali uygulandığında, her çıkış nöronu hedefe en yakın çıkış sinyalini hesaplamak için diğerleriyle rekabet etmektedir (Yadav, Yadav& Kumar, 2015: 34). Yalnızca bir öğrenimin sorguyu yanıtlamasına izin verilmekte ve bu öğe aynı anda diğer tüm rakipleri engellemektedir.

Hebbian öğrenmede, bir sinir ağırlığının birkaç çıkış nöronu aynı anda aktif olabilirken, rekabetçi öğrenmede herhangi bir zamanda yalnızca tek bir çıkış nöronu veya grup başına bir çıkış nöronu aktiftir (Haykin, 2009: 371). Rekabetçi öğrenmenin bu özelliği, onu bir dizi girdi modelini sınıflandırmak için kullanılabilecek istatistiksel olarak belirgin özellikleri keşfetmeye uygun hale getirmesidir.

- **Gradyan İniş Kuralı (Gradient Descent):** Çalışmalarda sıkça kullanılan Gradyan İniş Kuralı, delta yasasına benzemektedir. Delta kuralından farklı olarak öğrenme sürecinde, sinaptik ağırlıklar seti, hata oranının ağ üzerinden aktarılmasıyla güncellenmektedir (Hilaiwah vd, 2021: 562). Gradyan iniş prosedürleri genellikle n boyutlu fonksiyonları maksimuma çıkarmak veya minimuma indirmek istenildiği durumlarda kullanılmaktadır. Gradyan iniş algoritması genellikle yavaştır çünkü istikrarlı öğrenme için küçük öğrenme hızları gerektirmektedir (Hagan vd, 2014: 201).

- **Levenberg-Marquardt Algoritması ile Öğrenme:** Levenberg-Marquardt algoritması, eğitim sürecinin etkinliğini artırmak için geri yayılım algoritmasına dahil edilebilen, doğrusal olmayan modeller için en küçük kareler yöntemine dayanan ikinci dereceden bir gradyan yöntemidir (Silva vd, 2017: 75). Levenberg Marquardt algoritması, hata kareleri toplamını en aza indirmek için özel olarak tasarlanmıştır (Sapna, Tamilarasi ve Kumar, 2012: 394). Ağ ağırlıklarını değiştirerek artıkların karelerini (istenen çıktılar ve ağ çıktıları arasındaki farklara eşit) en aza indirmektedir (Chelani vd, 2022: 164). Küçük ve orta ölçekli ağların eğitimi için kullanılmaktadır. Çok çeşitli problemlerde basit gradyan inişinden ve diğer eşlenik gradyan yöntemlerinden daha iyi performans göstermektedir bu nedenle çalışmalarda en yaygın kullanılan öğrenme yöntemidir.

3.2. Literatür Taraması

Yapay Sinir Ağlarının kullanıldığı alanlar, son yıllarda bilgisayar teknolojisinin ve yapay zekânın süregelen gelişimi ile sürekli artmaktadır. YSA türlerinin anlatıldığı bölümde açıklandığı üzere, görüntü ve ses tanıma, zaman serilerin gelecek tahmini gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu bölümde çalışmanın amacına uygun olarak, çevre kirliliği ve iklim değişikliğini YSA modeli kullanarak analiz eden ulusal ve uluslararası çalışmalara kronolojik olarak yer verilecektir. Tablo 15'te özet literatür taramasına yer verilmiştir.

Tablo 15: YSA ile İklim Değişikliği Tahminleri Literatür Taraması

Yazar	Yıl	Model	Örneklem Bölgesi	Değişkenler	Bulgular
Boznar, Lesjak ve Mlakar	1993	Çok Katmanlı YSA	Slovenya	SO ₂	YSA modelinin tahmin başarısı test edilmiş ve gerçekleşen ile tahmin edilen veriler uyumlu bulunmuştur.
Gopal ve Woodcock	1996	Çok Katmanlı İleri Beslemeli YSA	Kaliforniya	Bölgenin arazi yapısındaki değişim, ağaçlık alan, Ormanlık alandaki azalış ve ağaç türlerindeki kayıplar	Gramm-Schmidt Yöntemi ve YSA performans karşılaştırılması yapılmış ve YSA daha başarılı bulunmuştur. Geleceğe yönelik tahminde özellikle kozalaklı ağaç türlerinde büyük kayıplar yaşanacağı bulgusuna varılmıştır.

Paruelo ve Tomasel	1997	YSA	Küresel	Sıcaklık ve yağış	Ekoloji tahmin etmede YSA ve regresyon modellerinin başarısı potansiyelini karşılaştırmışlardır. YSA'nın tahminlemede daha başarılı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. İleriye yönelik tahmin çalışması yapılmamıştır.
Kaminski, Skrzypski ve Strumillo	1998	Temel Bileşenler Analizi ve Çok Katmanlı YSA	Lodz, Polonya	Hava sıcaklığı, yağış miktarı, yönü ve hızı rüzgâr, bulutluluk, nem, basınç ve güneş süresi, partiküler madde, SO ₂	Çalışmada günlük veriler kullanılarak, gelecekte 80 günün hava kirliliği tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA ile elde edilen tahmin ve gerçekleşen değerler karşılaştırıldığında; YSA'nın hava kirliliğini tahmin etmede başarılı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.
Chelani vd.	2002	YSA	Delhi, Hindistan	SO ₂	Eğitilen veri setinin hava kirliliğini tahmin etmede istatistiki olarak anlamlı sonuçlar verdiği bulgusuna ulaşılmış ancak geleceğe dair tahminlemeye yer verilmemiştir.
Viotti, Liuti ve Di Genova	2002	YSA	Perugia, İtalya	Kükürt dioksit, nitrojen oksitler (NO, NO ₂ ve NO _x), PM ₁₀ , karbon monoksit, benzen, ozon, rüzgâr hızı, hava basıncı, nem, sıcaklık, toplam güneş radyasyonu, otomobil trafiği ve yağış oranı.	Çalışılan veri setinde tahmin ve gerçekleşen değerlerin birebir uyuştugu YSA ile gösterilirken; uzun vadede sağlık ve çevre koruma kurumlarının bu metodolojiyi kullanmalarının ülke için faydalı olacağı önerilmiştir.
Thuiller	2005	YSA	Kuzey ve Güney Avrupa ülkeleri	Bitki çeşitliliği, yıllık ortalama kış ve yaz yağışları, ortalama sıcaklık, en soğuk ayın minimum sıcaklığı.	2080 yılı sonunda bitki türlerinin yarısından fazlasının yok olacağı bulgusuna varılmıştır. En şiddetli iklim değişikliği senaryosunda ise; bitki türlerinin %22'sinin kritik tehlike altına gireceği ve %2'sinin neslinin tükeneceği sonucuna ulaşılmıştır.
Bevilacqua, Intini ve Kühtz	2008	Çok Katmanlı YSA	İtalya	Doğalgaz, elektrik, petrol ve katı yakıt tüketimi ve nüfus, GSYİH.	Geleceğe yönelik yapılan tahmine göre; Kyoto Protokolü hedeflerine ulaşmak için doğal gaz kullanımının %40, petrol kullanımının %60, elektrik kullanımının %20 azaltılması ve katı

					yakıtların kullanılmaması gerekliliği saptanmıştır.
Türker ve Köksal	2008	YSA	Türkiye	Sektörel aylık elektrik tüketimi, sektörel elektrik fiyatı, GSYİH, ısıtma gün ve soğutma gün derecesi, nüfus, hanehalkı sayısı ve hanehalkı geliri.	Tahmin sonuçlarına göre; elde edilen kötümser, vasat ve iyimser senaryolara göre ayrılmıştır. 2020 yılına kadar Türkiye geneli elektrik tüketim değerleri sırası ile %4, %6 ve %7 olmak üzere sürekli olarak artacağı bulgusuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra 2020’de CO ₂ emisyonunun senaryolara göre sırasıyla yaklaşık olarak 138, 177 ve 207 milyon ton olması öngörülmüştür.
Matouq vd.	2013	YSA	Ürdün	Yıllık yağış, ortalama minimum ve maksimum sıcaklık	Gelecek 10 yıllık dönemin (2009-2018) sıcaklık ve yağış ortalamaları tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçlarına göre; sıcaklık artışının sürekli olarak artacağı, yağışın için aynı seviyede kalacağı öngörülmüştür.
Azid vd.	2014	YSA	Malezya	Metan gazı, metan olmayan hidrokarbonlar, tetrahidrokannabinol, ozon gazı, kükürt dioksit, karbon monoksit, nitrojen dioksit ve partikül madde.	Metan gazı ve tetrahidrokannabinol değişkenlerine dikkat edilmesi, bu gazların kullanımının azaltılması gerekliliğine dikkat çekilmiştir.
Kaplan, Saray ve Azkeskin	2014	YSA	Kütahya, Türkiye	Kükürt Dioksit, PM10	Tahmin edilen SO ₂ ve PM10 ile gerçekleşen değerlerin birbirine çok yakın olduğu sonucuna ulaşılmıştır. YSA’nın hava kirliliği tahmininde kullanılması önerilmiştir.
Pabuçcu ve Bayramoğlu	2016	YSA	AB-28 ülkeleri ve Türkiye	Nüfus, GSYH, enerji üretimi ve tüketimi, ulaşım için enerji kullanımı ve sera gazı emisyonu.	Türkiye’nin gelişme seyrini devam ettirmesi durumunda, sera gazı salım miktarının 2030 yılında Paris İklim Zirvesi’nde taahhüt ettiği emisyon değerinden çok daha fazla olacağı saptanmıştır. AB ülkelerinin analiz sonuçlarına yer verilmemiştir.
Abdullahi ve Elkiran	2017	YSA	Girne, Larnaka, Kıbrıs	Evapotranspirasyon	Elde edilen sonuçlara göre, iklim değişkenleri arasındaki doğrusal olmayan korelasyonun belirlenmesinde YSA’nın başarı potansiyelinin

					yüksek olduğu vurgulanmıştır. Ardından çalışmada 2050'ye kadar iklim değişikliğinin buharlaşma üzerindeki etkisi tahmin edilmeye çalışılmıştır.
Xu ve He	2018	YSA	Çin	Gazlı yakıt tüketimi, sıvı yakıt tüketimi, katı yakıt tüketimi, Normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi, emissivite	Çalışmada YSA'nın etkinliğini ölçümlemişlerdir. YSA'nın karbondioksit tahminlemede başarılı bir performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.
Gültepe	2019	İleri Beslemeli YSA	Kastamonu, Türkiye	PM10, SO ₂ , hava sıcaklığı, hava basıncı, nem, rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı	Çalışmada geçmiş yıllardaki hava kirliliğine ait kirlileti verileri kullanarak, gelecek yıllar için uygun önlemlerin alınmasının mümkün olacağı sonucuna varılmış ancak gelecek tahminlerine ilişkin bulgulara yer verilmemiştir.
Işık ve Şimşek	2019	İleri Beslemeli YSA	İstanbul, Türkiye	Normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi, emissivite, sayısal yükseklik modeli, ormana uzaklık, kıyıya uzaklık ve yola olan uzaklıklar	İstanbul nüfusunun kuzeye doğru genişlemesinde rol oynayacağı düşünülen 3. Köprü'nün, meydana getireceği iklimsel değişikliği tahmin edilmeye çalışılmışlardır. Tahmin edilen yüzey sıcaklıkları ile gerçekleşen yüzey sıcaklığına ait değerler karşılaştırılarak SPSS ortamında korelasyon testleri yapılmış ve en yüksek korelasyon katsayısı 0,68 bulunmuştur. İklimsel değişimlerin çok sayıda faktöre bağlı olması ve çalışmada sınırlı sayıda veri kullanılmasına rağmen, korelasyon sonucunun yüksek olduğuna dikkat çekilmiştir. Bu nedenlerle çalışmada, iklimsel değişikliğinin YSA ile tahminlenmesi önerilmiştir.
Maleki vd.	2019	YSA	Ahvaz, İran	Hava sıcaklığı, rüzgâr, yağış, ozon gazı, azot dioksit, kobalt, kükürt dioksit ve partiküler madde	YSA'nın performansı test edilmiştir. Çalışma sonucunda YSA'nın hava kirliliğini tahmin etmede etkin bir model olarak kullanılabileceği sonucuna varılmış ve Ağustos 2009 – Ağustos 2010 dönemlerindeki hava

					kirliliği YSA modeli ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin sonuçları değerlendirildiğinde, gelecek 1 yıl içerisinde hava kirliliğinin oldukça artacağı bulgusuna ulaşılmıştır.
Tufaner, Dabanlı ve Özbeyaz	2019	YSA	Adıyaman, Türkiye	Yağış	YSA modelinde tahmin edilen değerlerin çok düşük hatalara sahip olması ve tahmin ile gerçekleşen seviyelerin birbirine yakın olması nedeniyle, YSA'nın güçlü bir araç olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Çalışmada kuraklık için geleceğe yönelik tahminlemeye yer verilmemiş yalnızca geçmiş dönem verileri test edilmiştir.
Yahya Şeker ve	2019	Radyal Tabanlı Fonksiyon, Bulanık C-Ortalamlar ve Doğrusal Olmayan Otoregresif Ağdan oluşan YSA	Nineveh, Irak	Bağımlı değişken yağış ve bağımsız değişkenler sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, güneş ışığına	Analiz sonucunda 2050'ye kadar tahmin edilen yağış miktarlarının anlamlı sonuç verdiği, 2050'den sonra tahminlerin istatistiksel olarak anlamsızlaştığı bulgusuna ulaşılmıştır. 2028 yılı en düşük yağışın olduğu yıl olarak tahmin edilmiştir.
Akbulut ve Özcan	2020	İleri Beslemeli YSA	Türkiye	Nüfus sayısı, taşıt sayısı, orman ve yarı doğal alan miktarı, sanayi sitesinde bulunan işyeri sayısı, termik santral katsayısı	2012-2018 gerçekleşen verileri kullanılarak 2019 değerleri tahminlenmiştir. Analiz sonucunda bazı illerdeki hava kirliliğinin azalacağı, bazı illerde ise artacağı bulgusuna ulaşılmıştır. Ancak çalışmada sonuçlara ilişkin neden sonuç ilişkisine yer verilmemiştir.
Javadinejad, Dara ve Jafary	2020	NARX, YSA	Ramhormoz, İran	Bağımsız değişkenler; günlük yağış, minimum ve maksimum günlük sıcaklık. Bağımsız değişken; atmosferik dolaşım	İklim değişikliğinin yeraltı suyu üzerinde önemli etkileri olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Çalışmada iklim değişikliğine bağlı olarak bölgede yeraltı sularının azalacağı tahmin edilmiştir.
Foroumandi, Nourani ve Shargi	2021	YSA	Urmie Gölü, İran	Yağış oranı, gölün su seviyesi, arazi yüzey sıcaklığı, Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi ve evapotranspirasyon	Analiz sonunda; yağıştaki değişimin su seviyesindeki düşüşün ana nedeni olmadığı, artan sıcaklığın ana belirleyici olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada geleceğe

					yönelik tahminlere yer verilmemiştir.
Jena, Managi ve Majhi	2021	Çok Katmanlı YSA	Hindistan,Japonya, İran, Çin, ABD, G. Kore, S.Arabistan, Endonezya, Kanada, Türkiye, Brezilya, G. Afrika, Meksika, Avustralya, İngiltere, İtalya, Fransa.	CO ₂ , GSYİH, kentsel nüfus, ticaret oranı	YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarına göre; Çin, Hindistan, İran, Endonezya, Brezilya, Güney Afrika, Türkiye, Güney Kore ve Suudi Arabistan'da CO ₂ emisyonları artacaktır. ABD, Japonya, İngiltere, Fransa, İtalya, Avustralya ve Kanada'da ise CO ₂ emisyonları azalacaktır.
Moghanlo vd.	2021	YSA	Zanjan, İran	PM10, sıcaklık, rüzgâr, bağıl nem ve yağış	YSA tahmin analizi sonuçlarına göre ise; en yüksek PM10 miktarının 74,26 m ³ konsantrasyonuyla 2043 yılı için tahmin edilmiştir. Minimum ve maksimum sıcaklıkların ise 2050 yılına kadar sürekli artacağı tahmin edilmiştir.
Dilmen, vd.	2022	YSA ve Zaman Serisi Analizi (Box-Jenkins)	Türkiye	Yangın ve doğal afet sigortası primi	Küresel ısınma vd nedenlerle artan doğal afetlerin meydana gelme sıklığının, finansal etkileri incelenmiştir. Tahmin sonuçlarına göre; primlerin 2 yıl içinde artacağı öngörülmüştür. Çalışmada YSA ile tahmin edilen değerlerin, zaman serisi tahinine göre daha tutarlı ve gerçeğe yakın olduğu, zaman serisine göre daha başarılı olduğu bulgularına ulaşılmıştır.
Maqsood vd.	2022	Uzun Kısa Süreli Bellek (Tekrarlayan) YSA ve Evrimsel Sinir Ağları	Prens Edward Adası, Kanada	Sıcaklık	Önce YSA'nın başarı performansı değerlendirilmiştir. Ardından 2020, 2050 ve 2080'lerde evapotranspirasyonun ve sıcaklığın nasıl olacağı tahmin edilmiştir. YSA tahmin sonuçlarına göre; 2020, 2050 ve 2080 yıllarında kademeli olarak hem evapotranspirasyon hem de sıcaklıktaki maksimum ve minimum değerlerin artacağı tahminlenmiştir. En yüksek sıcaklık değişiminin ise 2080'de gerçekleşeceği tahmin edilmiştir.

Diengdoh vd.	2023	İleri Beslemeli YSA	Avustralya	59 kelebek türü	Avustralya iç bölgelerinde, kademeli olarak 2050 ve 2090 yılına kadar birkaç kelebek türünün azalacağı tahmin edilmiştir. Avustralya kıyı bölgelerinde ise, iklim koşullarının kötüleşmeyeceği ve kelebek türlerinde azalma olmayacağı tahmin edilmiştir.
Kotan ve Erener	2023	İleri Beslemeli YSA	Kocaeli, Türkiye	PM10, SO2, rüzgâr hızı, hava sıcaklığı, buhar basıncı, rüzgâr yönü, bağıl nem	Hava kirliliği tahmin modellerinin oluşturulmasında YSA ve çoklu regresyon modellerinin performansının ölçümü yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen tahmin değerleri 2019 yılına ait gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. YSA'nın, çoklu regresyon analizine göre performansının daha yüksek olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.
Nacar	2023	YSA	Tokat, Türkiye	Sıcaklık	Çalışmada ulaşılan tahmini sıcaklık değişimlerine göre; maksimum ve minimum sıcaklıklarda öngörülen sıcaklık artışlarının, bölgede su kaynaklarını, tarımsal ve hayvansal üretimini etkileyeceği düşünülmektedir.
Obunadike vd,	2023	YSA	Teksas, ABD	Bağımsız değişken ozon; bağımsız değişkenler ise Nitrik Oksit, Nitrojen Dioksit, Azot Dioksit, rüzgâr hızı, PM10, güneş radyasyonu, bağıl nem, sonuç rüzgâr hızı, sonuç rüzgar yönü, maksimum rüzgar hızı, rüzgar yönü sapması, hava sıcaklığı ve çiy noktası sıcaklıktır.	ABD'de yürütülen bir proje kapsamında atmosferdeki ozon gazı miktarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Araştırmanın ikincil amacı; lojistik Regresyon ve YSA'nın, ozon seviyesini doğru şekilde sınıflandırma konusundaki tahmin yeteneğini incelemektir. Yapılan 2 analiz sonucunda hava kirliliğini ölçmede, Lojistik Regresyon'a göre YSA'nın daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Boznar, Lesjak ve Mlakar³⁸ (1993) çalışmalarında Sostanj, Slovenya'daki hava kirliliğini Çok Katmanlı YSA ile analiz etmişleridir. Bölgede bulunan farklı termik santral istasyonlarının hava kirliliğini ölçmek için, SO₂ değişkenindeki değişimler kullanılmıştır. Kirlilik, havada bulunan SO₂ konsantrasyonunun en yoğun olduğu kış ayları boyunca yarım saatlik periyodlar için tahmin edilmeye çalışılmış ancak yıl bilgisine yer verilmemiştir. Çalışma sonucunda tahmin değerleri gerçekleşen SO₂ değerleri karşılaştırılmış ve YSA analizinin performansı değerlendirilmiştir. YSA kullanılarak tahmin edilen hava kirliliği sonuçlarının, gerçekleşen hava kirliliği ile birebir uyumlu olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Çalışmada ileriye yönelik hava kirliliği tahminine yer verilmemiştir.

Gopal ve Woodcock (1996) çalışmalarında, ülkedeki bir proje kapsamında Kaliforniya'daki ormanlık alandaki değişimi, 1988-1991 dönemleri yıllık verilerini kullanarak Çok Katmanlı İleri Beslemeli YSA ile tahmin etmişlerdir. Bölgede yaşanan uzun süreli kuraklığın kozalaklı ağaç türlerinin yok olmasına neden olması nedeniyle, bölgedeki ağaç türlerinin geleceği tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, bölgenin arazi yapısındaki değişim ve ağaçlık alan girdi değişkeni olarak kullanılırken; ormanlık alandaki azalış ve ağaç türlerindeki kayıplar çıktı katmanı olarak kullanılmıştır. Oluşturulan modelde gizli katman sayısı 5-50 aralığında denenmiştir. En iyi performansı veren 15 gizli katman ile çalışmaya devam edilmiştir. Çalışmada ayrıca aynı tahmin işlemi Gramm-Schmidt Yöntemi³⁹ kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar YSA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. YSA'nın Gramm-Schmidt yöntemine göre tahminlemede daha iyi sonuç verdiği bulgusuna ulaşılmıştır. Geleceğe yönelik yapılan tahminlemede ise; özellikle kozalaklı ağaç türlerinde büyük kayıplar yaşanacağı bulgusuna varılmıştır.

Paruelo ve Tomasel (1997) çalışmalarında, ekoloji tahmin etmede YSA ve regresyon modellerinin başarısı potansiyelini karşılaştırmışlardır. Çalışmada 1971-1980 arası sıcaklık ve yağış değişkenlerinin aylık verileri kullanılarak 6 ayrı analiz yapılmıştır. Uygulamalarda gizli katman sayısı 12-14 aralığında denenmiş ve en optimum sonucu veren değer kullanılmıştır. YSA tahmin sonuçları ile regresyon modeli tahmin sonuçlarının ortalama mutlak hataları karşılaştırıldığında, YSA'nın daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada yalnızca mevcut veriler kullanılmış, ileriye yönelik tahmin analizine yer verilmemiştir. Özetle analiz sonuçları karşılaştırıldığında, YSA'nın ekolojiyi tahmin etme başarısının, regresyon modelinden daha fazla olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

³⁸ Boznar, M., Lesjak, M. & Mlakar, P. (1993). "A Neural Network-Based Method for Short-Term Predictions of Ambient SO₂ Concentrations in Highly Polluted Industrial Areas of Complex Terrain." *Journal of Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 27(2), 221–230.

³⁹ **Gramm-Schmidt Yöntemi:** Bu yöntem, özellikle matrisler ve vektör uzayları üzerinde çalışan lineer cebir problemlerinde kullanılmaktadır.

Kaminski, Skrzypski ve Strumillo (1999) çalışmalarında, Lodz, Polonya'daki bir proje kapsamında, hava kirliliği tespitini Çok Katmanlı YSA ile tahmin etmişlerdir. Hava kirliliğini tahmin etmek için 1990-1995 yıllarına ait hava sıcaklığı, yağış miktarı, yönü ve hızı, rüzgar, bulutluluk, nem, basınç ve güneş süresi, partiküler madde ve SO₂ göstergeleri kullanılmıştır. Çalışmada önce iklim değişikliğini tahmin etmede kullanılan verilerin azaltılması için Temel Bileşenler Analizi⁴⁰ (Principal Component Analysis – PCA) uygulanmış ve analizin partiküler madde ve SO₂ değişkenleri ile yapılmasına karar verilmiştir. Oluşturulan modelde gizli katman sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Çalışmada geçmiş dönem günlük verileri kullanılarak, gelecekte 80 günün hava kirliliği tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çok Katmanlı YSA sonuçları ile elde edilen tahmin ve gerçekleşen değerler karşılaştırıldığında; YSA analizinin hava kirliliğini tahmin etmede başarılı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Chelani vd (2002) çalışmalarında, Delhi, Hindistan'da bulunan sanayi sitesi, ticari site ve yerleşim yeri olmak üzere toplam 3 bölgenin hava kirliliğini ölçmek için YSA kullanmışlardır. Hava kirliliğine neden olan ana değişkenin sülfür oksit olduğu kabul edilmiş ve sülfür oksit oranının değişimi araştırılmıştır. 1998 aylık verilerinin kullanıldığı çalışmada, ilk 6 aylık verileri eğitim seti ve kalan 6 ayın verileri tahmin seti olarak ayrılmıştır. Analizin uygulanması için MATLAB 5.1. istatistiki programı tercih edilmiştir. YSA analizinde ağı eğitmek için Levenberg-Marquardt Algoritması kullanılmıştır. Eğitilen veri setinin, hava kirliliğini tespit etmede istatistiki olarak anlamlı sonuçlar verdiği bulgusuna ulaşılmış ancak geleceğe dair tahminlemeye yer verilmemiştir. Bulguların Hindistan'da yürütülen Ulusal Ortam Hava Kalitesi İzleme Programında kullanılacağı belirtilmiştir.

Viotti, Liuti ve Di Genova (2002) çalışmalarında, Perugia, İtalya'da artan kentsel hava kirliliğini ve havayı kirletici konsantrasyonları tahmin etmek, için YSA modelini kullanmışlardır. Çalışmada kullanılan değişkenler; kükürt dioksit, nitrojen oksitler (NO, NO₂ ve NO_x), PM₁₀, karbon monoksit, benzen, ozon, rüzgâr hızı, hava basıncı, nem, sıcaklık, toplam güneş radyasyonu, otomobil trafiği ve yağış oranının 1997-1999 dönemlerinin saatlik değerleridir. Ancak çalışmada çok sayıda veri kaybının olduğu belirtilmiştir. Çalışmada önce veri seti farklı kombinasyonlar denenerek, eğitim, doğrulama ve veri seti olarak ayrılmıştır. En iyi istatistiki anlamlılık sonucu veren model oluşturulmuştur. Ardından belirli bir iklim koşulu altında bir sonraki gün ve bir sonraki hafta için kirletici trendi tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA ile tahmin edilen kirletici konsantrasyonlarının gerçekleşen değerler ile birebir uyumlu olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Uzun vadede sağlık ve çevre koruma kurumlarının, YSA modelini kullanmalarının ülke için faydalı olacağı ifade edilmiştir.

⁴⁰ **Temel Bileşenler Analizi:** Veri sayısının azaltılması ve ağ eğitim süresinin azaltılması için kullanılmaktadır.

Thuiller vd (2005) çalışmalarında, Kuzey ve Güney Avrupa’da iklim değişikliğini, değişen bitki çeşitliliği verilerini kullanarak YSA ile analiz etmiştir. Çalışmada 1350 bitkinin 1972-1996 yılları arası verileri kullanılarak, bitkilerin 2080’e kadar geleceği tahmin edilmiştir. İklim değişikliği kullanılan veriler; yıllık ortalama kış ve yaz yağışları, ortalama sıcaklık, en soğuk ayın minimum sıcaklığıdır. 2080’e kadar global dünyanın gelişimi, teknoloji, göç gibi nitel değişkenler düşünülerek, 7 farklı iklim değişikliği senaryosu oluşturulmuştur. Çalışmada birçok bitki türünün tehdit altında olduğu ve 2080 yılı sonunda bitki türlerinin yarısından fazlasının yok olacağı bulgusuna varılmıştır. Kurgulanan en şiddetli iklim değişikliği senaryosunda ise; bitki türlerinin %22’sinin kritik tehlike altına gireceği ve %2’sinin neslinin tükeneceği tahmini yapılmıştır.

Bevilacqua, Intini ve Kühtz (2008) çalışmalarında, iklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklık artışı, İtalya örneği üzerinden Çok Katmanlı YSA ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmada karbondioksit emisyonuna neden olan enerji tüketimleri; doğalgaz, elektrik, petrol ve katı yakıt tüketimi ve nüfus, GSYİH değişkenleri kullanılmıştır. Duyarlılık analizinin yapıldığı çalışmada, çevre kirliliğini etkileyen en önemli değişkenin petrol olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Geleceğe yönelik yapılan tahmine göre; Kyoto Protokolü hedeflerine ulaşmak için doğal gaz kullanımının %40, petrol kullanımının %60, elektrik kullanımının %20 azaltılması ve katı yakıtların kullanılmaması gerekliliği saptanmıştır. Bu nedenle enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi önerilmiştir.

Türker ve Köksal (2008) çalışmalarında, artan nüfus ve ekonomik büyümeye paralel olarak Türkiye’nin uzun dönem elektrik talebini tahmin etmek için YSA analizini kullanmışlardır. Bu amaçla 2000-2006 yılları arası sektörel aylık elektrik tüketimi, sektörel elektrik fiyatı, GSYİH, ısıtma gün ve soğutma gün derecesi, nüfus, hanehalkı sayısı, hanehalkı geliri çalışma veri seti olarak kullanılmıştır. Tahmin sonuçlarına göre; elde edilen kötümser, vasat ve iyimser senaryolara göre ayrılmıştır. 2020 yılına kadar Türkiye geneli elektrik tüketim değerleri sırası ile %4, %6 ve %7 olmak üzere sürekli olarak artacağı bulgusuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra 2020’de CO₂ emisyonunun senaryolara göre sırasıyla yaklaşık olarak 138, 177 ve 207 milyon ton olması öngörülmüştür.

Matouq vd. (2013) çalışmalarında, Ürdün’deki iklim değişikliğini 1979-2008 yıllık yağış, ortalama minimum ve maksimum sıcaklık verilerini kullanarak YSA ile gelecekte 10 yıl için tahmin etmeye çalışmışlardır. İklim değişikliğinin Ürdün’de etkilerini tahmin etmek için veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve YSA kullanılarak simüle edilmiştir. Çalışmada çıktı sonuçları coğrafi haritalara dönüştürülmüştür. YSA modelinin kullanıldığı çalışmada, **denetimli geriye yayılım eğitim yöntemi**⁴¹ kullanılmıştır. YSA tahmin sonuçlarına göre; Ürdün’de sıcaklık artışının sürekli olarak artacağı

⁴¹ **Denetimli geriye yayılım eğitim yöntemi**; tahmin sürecinde kullanılan yöntem doğrusal olmayan çok katmanlı ağlar için gradyanın hesaplanma şeklini ifade etmektedir.

öngörölmüştür. Minimum ve maksimum sıcaklık arasındaki fark ise test edilen 1979-2008 dönemine göre azalacaktır. Yıllık yağışın ülke genelinde gelecekte aynı seviyede kalacağı öngörölmüştür. Ancak ülkenin güney ve doğu kesimlerinde yağış miktarında 30 ile 110 mm arasında düşüş yaşanacağı tahmin edilmiştir.

Azid vd. (2014) çalışmalarında, YSA kullanarak Malezya'daki hava kirliliği ve kalitesini, ülkedeki 10 hava izleme istasyonunun bulunduğu bölgeleri araştırarak ölçmeye çalışmışlardır. 2005-2011 dönemlerinin saatlik verileri incelendiği çalışmada, metan gazı, metan olmayan hidrokarbonlar, tetrahidrokannabinol, ozon gazı, kükürt dioksit, karbon monoksit, nitrojen dioksit ve partikül madde ölçümleri kullanılmıştır. Çalışmada XLSTAT 2014 paket programı kullanılmıştır. Çok katmanlı algılayıcı ve ileri beslemeli YSA kullanılan çalışmada, Kaiser-Meyer-Olkin Testi uygulanmış ve ortalama karekök sapma ölçüsü dikkate alınmıştır. Tahminlemede karekök sapma ölçüsünün daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmış; metan gazı ve tetrahidrokannabinol değişkenlerine dikkat edilmesi, bu gazların kullanımının azaltılması gerekliliğine dikkat çekilmiştir.

Kaplan, Saray ve Azkeskin (2014) çalışmalarında Kütahya, Türkiye örneği üzerinden hava kirliliğini YSA ile tahmin etmişlerdir. Çalışmada hava kirliliğini ölçmek için SO₂ ve PM₁₀ değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmada 6 günlük toplam 96 saat verisi ile çalışmış ve 6. günün verileri tahmin edilmiştir. Son gün tahmin edilen SO₂ ve PM₁₀ ile gerçekleşen değerlerin birbirine çok yakın olduğu sonucuna ulaşılmıştır. YSA'nın hava kirliliği tahmininde kullanılması gereken güçlü bir yöntem olduğu vurgulanmıştır. Ancak çalışmada uzun dönemli analize yer verilmemiştir.

Pabuçcu ve Bayramoğlu (2016) çalışmalarında, seçili AB-28 ülkelerinin ve Türkiye'nin Paris İklim Zirvesi'nde 2030 yılı için taahhüt ettiği miktardaki CO₂ eşdeğerine ulaşp ulaşamayacağını YSA ile tahmin etmeye çalışmışlardır. CO₂ eşdeğeri tespitinde için nüfus, GSYH, enerji üretimi ve tüketimi, ulaşım için enerji kullanımı ve sera gazı emisyon miktarları kullanılmıştır. Çalışmada eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanılmıştır. Analiz sonucunda Türkiye'nin varsayılan gelişme seyrini devam ettirmesi durumunda, sera gazı salım miktarının 2030 yılında Paris İklim Zirvesi'nde taahhüt ettiği emisyon değerinden çok daha fazla olacağı saptanmıştır. Ancak çalışmada AB ülkelerinin YSA analiz sonuçlarına yer verilmemiştir.

Abdullahi ve Elkiran (2017) çalışmalarında, Kıbrıs'ın Girne ve Larnaka bölgelerinde iklim değişikliğinin etkisini ve geleceğini YSA ile tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada 1983 ve 2016 aylık verileri kullanarak 2017 – 2050 dönemleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. İklim değişikliğinin tespitinde evapotranspirasyon değişkeni kullanılmıştır. Çalışmada İleri Beslemeli Sinir Ağı ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması kullanılmış ve analizler Cropwat yazılım programında

gerçekleştirilmiştir. Veri seti %70-15-15 bölünerek, gerçekleşen veriler yeniden tahmin edilerek YSA'nın tahmin başarısı ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, iklim değişkenleri arasındaki doğrusal olmayan korelasyonun belirlenmesinde YSA'nın başarı potansiyelinin yüksek olduğu vurgulanmıştır. Ardından çalışmada 2050'ye kadar iklim değişikliğinin buharlaşma üzerindeki etkisi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Buharlaşmanın 2050'ye kadar her 2 bölgede artacağı bulgusuna ulaşılmıştır.

Xu ve He (2018) çalışmalarında, hem Çin'deki karbondioksit miktarının gelişimini Geri Yayılım (back-propagation) algoritmasına dayalı sinir ağı kullanarak hesaplanmışlar hem de YSA'nın etkinliğini ölçümlemişlerdir. Analizde girdi katmanında; gazlı yakıt tüketimi, sıvı yakıt tüketimi, katı yakıt tüketimi, CO2 emisyonu (GSYIH başına Kg) ve CO2 emisyonlarını (kişi başına metrik ton) kullanılmıştır. Çıktı katmanında ise karbondioksit tahminlenmiştir. Matlab 2010b programının kullanıldığı çalışmada veri seti; eğitim seti (1961- 1990) ve test seti (1991- 2010) olmak üzere iki alt kümeye ayrılmıştır. YSA'nın karbondioksit tahminlemede başarılı bir performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Gültepe (2019) çalışmasında, meteorolojik parametreler ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi Kastamonu, Türkiye örneği üzerinden İleri Beslemeli YSA ve makine öğrenme (Rastgele Orman, K-En Yakın Komşu, Lojistik Regresyon, Karar Ağacı, Lineer Regresyon ve Basit Bayes) ile analiz etmiştir. Çalışmada 2015-2018 tarihleri arası ortalama 2500 gün olarak belirlenen PM10, SO2, hava sıcaklığı, hava basıncı, nem, rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; hava kirliletiçi tahmini için YSA'ya göre Rastgele Orman ve Karar Ağacı makine öğrenme yöntemleri en yüksek performansı göstermiştir. Çalışmada geçmiş yıllardaki hava kirliliğine ait kirliletiçi verileri kullanarak, gelecek yıllar için uygun önlemlerin alınmasının mümkün olacağı sonucuna varılmış ancak gelecek tahminlerine ilişkin bulgulara yer verilmemiştir.

Işık ve Şimşek (2019) çalışmalarında, İstanbul nüfusunun kuzeye doğru genişlemesinde rol oynayacağı düşünülen 3. Köprünün, mezo ölçekte meydana getireceği iklimsel değişikliği, ileri beslemeli YSA ile tahmin edilmeye çalışmışlardır. Çalışmada 2010 ve 2011 yıllarına ait örnek veri setleri kullanılarak 2017 yılının verileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi, emissivite, sayısal yükseklik modeli, ormana uzaklık, kıyıya uzaklık ve yola olan uzaklıklar veri seti olarak kullanılmıştır. Tahminlenmesi gereken veriler ise uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistem tekniklerinden faydalanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada iklim değişikliği tahmini için seçilen çıktı katmanı; yüzey sıcaklığıdır. Gizli katman sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Ağın eğitiminin ardından, girdi parametrelerinin, çıktı parametresi üzerindeki etkisini gösteren ağırlık matrisi oluşturulmuş ve bu ağırlık matrisi ile 2017 yılının yüzey sıcaklığı tahmin edilmeye çalışılmıştır. 2017 yılı için YSA ile tahmine edilen yüzey sıcaklıkları ile gerçekleşen yüzey sıcaklığına ait değerler

karşılaştırılarak SPSS ortamında korelasyon testleri yapılmıştır. Korelasyon sonuçlarına göre, meydana gelecek arazi kullanım değişimlerinin yüzey sıcaklığına olan etkisi, orijinal yüzey sıcaklığı ile karşılaştırılmış ve en yüksek korelasyon katsayısı 0,68 bulunmuştur. İklimsel değişimlerin çok sayıda faktöre bağlı olması ve çalışmada sınırlı sayıda veri kullanılmasına rağmen, korelasyon sonucunun yüksek olduğuna dikkat çekilmiştir. Bu nedenlerle çalışmada, iklimsel değişikliğinin YSA ile tahminlenmesi önerilmiştir.

Maleki vd. (2019) çalışmalarında, toz fırtınaları nedeniyle hava kirliliğinin fazla olduğu Ahvaz, İran'daki çevre kirliliğinin geleceğini YSA kullanarak tahmin etmenin doğru sonucu verip vermeyeceği araştırılmışlardır. Çalışmada 2009 yılının ilk 9 ayındaki saatlik veriler kullanılmıştır. Veriler şehirdeki 4 hava izleme istasyonlarında kullanılan beta zayıflatma prosedürü ile elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenler; hava sıcaklığı, rüzgâr, yağış, ozon gazı, azot dioksit, kobalt, kükürt dioksit ve partiküler madde ölçümleridir. Çalışma sonucunda YSA'nın hava kirliliğini tahmin etmede etkin bir model olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ardından çalışmada Ağustos 2009 – Ağustos 2010 dönemlerindeki hava kirliliği YSA modeli ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin sonuçları değerlendirildiğinde, gelecek 1 yıl içerisinde hava kirliliğinin oldukça artacağı bulgusuna ulaşılmıştır.

Tufaner, Dabanlı ve Özbeyaz (2019) çalışmalarında, iklim değişikliğinin sonuçlarından biri olan kuraklık sorununu Adıyaman, Türkiye örneği üzerinden YSA ile incelemişlerdir. Çalışmada 1962-2017 yıllık yağış verileri kullanılarak YSA performansı değerlendirilmiştir. Uygulamada 1962-2017 arası yağış verileri analiz sonuçlarından elde edilen 1, 3 ve 12 ay için ayrı ayrı sırasıyla 672, 671 ve 661 adet veri setleri kullanılmıştır. YSA modelinde tahmin edilen değerlerin çok düşük hatalara sahip olması ve tahmin ile gerçekleşen seviyelerin birbirine yakın olması nedeniyle, YSA'nın güçlü bir araç olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Ancak çalışmada kuraklık için geleceğe yönelik tahminlemeye yer verilmemiş yalnızca geçmiş dönem verileri test edilmiştir.

Yahya ve Şeker (2019) çalışmalarında, iklim değişikliğinin sonuçlarından biri olan kuraklık sorununu Nineveh, Irak bölgesi üzerinde incelemişlerdir. Çalışmada Radyal Tabanlı Fonksiyon, Bulanık C-Ortalamlar ve Doğrusal Olmayan Otoregresif Ağdan oluşan YSA modelleri kullanılmıştır. Çalışmada bağımlı değişken yağış ve bağımsız değişkenler sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, güneş ışığına ait 1972-2017 dönemleri arası veriler kullanılmıştır. YSA ile 2018'den itibaren yağış miktarı tahmin edilerek kuraklığın geleceği saptanmaya çalışılmıştır. Analiz sonucunda 2050'ye kadar tahmin edilen yağış miktarlarının anlamlı sonuç verdiği, 2050'den sonra tahminlerin istatistiksel olarak anlamsızlaştığı bulgusuna ulaşılmıştır. 2028 yılı en düşük yağışın olduğu yıl olarak tahmin edilmiştir.

Akbulut ve Özcan (2020) çalışmalarında, hava kirliliği tahminini seçili 31 şehir, Türkiye örneği üzerinden İleri Beslemeli YSA ile tahmin etmişlerdir. Çalışmada bağımsız değişken olarak nüfus sayısı, taşıt sayısı, orman ve yarı doğal alan miktarı, sanayi sitesinde bulunan işyeri sayısı, termik santral katsayısı; bağımlı değişken olarak ise PM10 göstergesi kullanılmıştır. 2012-2018 gerçekleşen verileri kullanılarak 2019 değerleri tahminlenmiştir. Analiz sonucunda bazı illerdeki hava kirliliğinin azalacağı, bazı illerde ise artacağı bulgusuna ulaşılmıştır. Ancak çalışmada sonuçlara ilişkin neden sonuç ilişkisine yer verilmemiştir.

Javadinejad, Dara ve Jafary (2020) çalışmalarında, Ramhormoz, İran'da iklim değişikliği nedeniyle yeraltı su seviyesinde meydana gelecek değişimi NARX, YSA kullanarak tahmin etmişlerdir. 1980-2010 gerçekleşen verilerin kullanıldığı çalışmada; günlük yağış, minimum ve maksimum günlük sıcaklık bağımsız değişkenler ve atmosferik dolaşım bağımlı değişkendir. YSA modeli ile yeraltı suyu seviyesinin azalmasını tahmin etmek amacıyla, Marvdashtplain'de bulunan 23 aktif piyezometrik kuyu gözlem olarak eklenmiştir. Çalışmada iklim değişikliği nedeniyle simüle edilen girdi bileşenlerinin değerleri, sinir ağı modeline girilerek 7 yıllık gelecek dönem için akifer durumu tahmin edilmiştir. Analiz sonucunda; iklim değişikliğinin test edilen bölgenin yeraltı suyu üzerinde önemli etkileri olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Çalışmada iklim değişikliğine bağlı olarak bölgede yeraltı sularının azalacağı tahmin edilmiştir.

Foroumandi, Nourani ve Sharghi (2021) çalışmalarında, Urmiye Gölünün, İran su seviyesindeki trendi 1995-2019 verilerini kullanarak YSA aracılığı ile analiz etmişlerdir. Çalışmada yağış oranı, gölün su seviyesi, arazi yüzey sıcaklığı, Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi ve evapotranspirasyon⁴² değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmada dalgacık dönüşümleri ve Mann-Kendall trend testleri kullanılmıştır. Analiz sonunda; yağıştaki değişimin su seviyesindeki düşüşün ana nedeni olmadığı, artan sıcaklığın ana belirleyici olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada geleceğe yönelik tahminlere yer verilmeyip, bilgilerin ayrı bir projede kullanılacağına değinilmiştir.

Jena, Managi ve Majhi (2021) çalışmalarında, seçili ülkelerde CO₂ emisyon geleceğini Çok Katmanlı YSA kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Çin, ABD, Güney Kore, Suudi Arabistan, Endonezya, Kanada, Türkiye, Brezilya, Güney Afrika, Meksika, Avustralya, İngiltere, İtalya, Fransa, Hindistan, Japonya ve İran olmak üzere toplam 17 ülke örneklem olarak kullanılmıştır. Girdi olarak, GSYİH, kentsel nüfus, ticaret oranı verilerinin 1960-2016 yıllık değerleri kullanılarak, 2017-2019 yıllarına ait CO₂ emisyonları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Önce YSA'nın başarı performansı mevcut değerler yeniden tahmin edilerek tespit edilmiştir. Bu amaçla oluşturulan veri setinin %80'i eğitim,

⁴² **Evapotranspirasyon:** bitkinin su tüketimi ve buharlaşma ile birlikte su toplamıdır.

%20'si test seti olarak ayrılmıştır. YSA'nın tahmin gücünün yüksek olduğu bulgusuna ulaşıldıktan sonra gelecek 3 yıl için tahminleme çalışmasına yer verilmiştir. YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarına göre; Çin, Hindistan, İran, Endonezya, Brezilya, Güney Afrika, Türkiye, Güney Kore ve Suudi Arabistan'da CO₂ emisyonları artacaktır. ABD, Japonya, İngiltere, Fransa, İtalya, Avustralya ve Kanada'da ise CO₂ emisyonları azalacaktır.

Moghanlo vd, (2021) çalışmalarında, Zanjan, İran için iklim değişikliğinin hava kirliliği üzerindeki etkileri YSA kullanılarak 2021-2050 yılları için tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla çalışmada kirlilik göstergesi olarak PM10 verisi ve iklim değişikliğinin seyri için sıcaklık, rüzgâr, bağıl nem ve yağış değişkenlerinin 2007-2018 verileri kullanılmıştır. Çalışmada değişkenler arasındaki ayrıca analiz edilmiştir. PM10'nun rüzgâr ve sıcaklık değişkenleri ile pozitif; bağıl nem ve yağış değişkenleri ile ise negatif korelasyona sahip olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. YSA tahmin analizi sonuçlarına göre ise; en yüksek PM10 miktarının 74,26 m³ konsantrasyonu ile 2043 yılı için tahmin edilmiştir. Minimum ve maksimum sıcaklıkların ise 2050 yılına kadar sürekli artacağı tahmin edilmiştir.

Dilmen, vd., (2022) çalışmalarında; küresel ısınma, iklim değişikliği, doğal kaynakların bilinçsiz tüketilmesi gibi nedenlerle artan doğal afetlerin meydana gelme sıklığının, finansal etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla doğal afetlerin finansal etkilerini en aza indirmek için tercih edilen; yangın ve doğal afet sigortası primleri incelenmiştir. 2011-2019 yıllarına ait aylık veriler kullanılarak gelecek 2 yıl tahmini yapılmıştır. Tahmin sonuçlarına göre; primlerin 2 yıl içinde artacağı öngörülmüştür. Ardından çalışmada tahmin edilen değerler, 2020-2021 yılları arasında yayınlanan 24 aylık gerçek prim değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada, YSA ile Box-Jenkins modelleri kendi içinde karşılaştırılmıştır. Çalışmada YSA ile tahmin edilen değerlerin, daha tutarlı ve gerçeğe yakın olduğu, zaman serisine göre daha başarılı olduğu bulgularına ulaşılmıştır.

Maqsood vd. (2022) çalışmalarında, Prens Edward Adası, Kanada'daki evapotranspirasyonun ve sıcaklığın geleceğini, Uzun Kısa Süreli Bellek (Tekrarlayan) YSA ve Evrişimsel Sinir Ağları ile incelemişlerdir. 1989-2005 dönemi çalışmada günlük bazda en yüksek sıcaklık ve en düşük sıcaklık verileri kullanılarak farklı iklim senaryoları geliştirilmiştir. Veri setinin %70'i eğitim ve %30'u doğrulama seti olarak ayrılmış, 2 gizli katman kullanılmış ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması kullanılmıştır. Önce YSA'nın başarı performansı değerlendirilmiştir. Ardından 2020, 2050 ve 2080'lerde evapotranspirasyonun ve sıcaklığın nasıl olacağı tahmin edilmiştir. YSA tahmin sonuçlarına göre; 2020, 2050 ve 2080 yıllarında kademeli olarak hem evapotranspirasyon hem de sıcaklıktaki maksimum ve minimum değerlerin artacağı tahminlenmiştir. En yüksek sıcaklık değişiminin ise 2080'de gerçekleşeceği tahmin edilmiştir.

Diengdoh vd. (2023) çalışmalarında, iklim değişikliğine bağlı olarak Avustralya’da bulunan 59 kelebek türünün gelecekteki (2050-2090 yılları için) varlığını, İleri Beslemeli YSA ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Analiz sonucunda Avustralya iç bölgelerinde, kademeli olarak 2050 ve 2090 yılına kadar birkaç kelebek türünün azalacağı tahmin edilmiştir. Avustralya kıyı bölgelerinde ise, iklim koşullarının kötüleşmeyeceği ve kelebek türlerinde azalma olmayacağı tahmin edilmiştir. Bu nedenle çalışmada yeşili koruma alanlarının artırılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Kotan ve Erener (2023) çalışmalarında, Kocaeli, Türkiye’de 2008-2017 verilerini kullanarak 2019 yılına ait hava kirliliğini tahmin etmeye çalışmışlardır. Ayrıca çalışmada İleri Beslemeli YSA modeli ve çoklu regresyon analizini kullanılarak, tahmin modellerinin oluşturulmasında modellerin performansı test edilmiştir. Hava kirliliği ile ilintili olan; PM10, SO₂, rüzgâr hızı, hava sıcaklığı, buhar basıncı, rüzgâr yönü, bağıl nem 2008-2019 günlük verileri analizde kullanılmıştır. Günlük toplanan verilerin, önce aylık ortalama değerleri hesaplanmış ardından verilerin mevsim ortalamaları bulunmuş ve analizde ortalama değerler kullanılmıştır. Analizler Matlab R2021a programı kullanılarak yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen tahmin değerleri 2019 yılına ait gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. YSA’nın, çoklu regresyon analizine göre performansının daha yüksek olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Nacar (2023) çalışmasında, Tokat, Türkiye’de iklim değişikliğinin sıcaklık üzerindeki etkisini tahmin etmek için YSA modelini kullanmıştır. Çalışmada 1975-2000 yılları minimum ve maksimum sıcaklık değerleri kullanılarak; 2023-2092 yılları sıcaklık değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA analizi sonucuna göre; iklim değişikliğinin Tokat meteoroloji istasyonundan ölçülen maksimum sıcaklık değerleri üzerinde senaryolarına göre uzun yıllar ortalamasında sırasıyla -0.7 ile 2.9 °C ve -1.2 ile 4.4 °C arasında değişime neden olabileceği öngörülmüştür. Minimum sıcaklıklarda ise -2.6 ile 5.2 °C arasında ve -4.8 ile 7.8 °C arasında değişimin olabileceği öngörülmüştür. Çalışmada ulaşılan bulgulara göre maksimum ve minimum sıcaklıklarda öngörülen sıcaklık artışlarının, bölgede su kaynaklarını, tarımsal ve hayvansal üretimini etkileyeceği düşünülmektedir. Bu noktada su kaynaklarının canlılar için hayati önemine vurgu yapılmıştır.

Obunadike vd., (2023) çalışmalarında, Teksas, ABD’de yürütülen bir proje kapsamında atmosferdeki ozon gazı miktarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Araştırmanın ikincil amacı; lojistik Regresyon ve YSA’nın, ozon seviyesini doğru şekilde sınıflandırma konusundaki tahmin yeteneğini incelemektir. Çalışmada bağımlı değişken ozon; bağımsız değişkenler ise Nitrik Oksit, Nitrojen Dioksit, Azot Dioksit, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, bağıl nem, sonuç rüzgâr hızı, sonuç rüzgâr yönü, maksimum rüzgâr hızı, rüzgâr yönü sapması, hava sıcaklığı ve çiy noktası sıcaklıktır. Çalışmada veri setinin %67’si eğitime %33’ü ise teste ayrılmış ve 4 gizli katman kullanılmıştır. Yapılan 2 analiz sonucunda hava kirliliğini ölçmede, Lojistik Regresyon’a göre YSA’nın daha başarılı olduğu sonucuna

ulaşılmıştır. Sağlıklı bir ortam sağlamak için yüksek ozon seviyelerini erken tespit etmenin hayati önem taşıdığı vurgulanmıştır.

Literatür taraması incelendiğinde YSA'nın uzun süredir hem sosyal hem de uygulamalı bilimlerde sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmektedir. Birçok çalışmanın ortak noktası ise; YSA modeli ile tahmin edilen değerlerin, gerçekleşen değerler ile karşılaştırılarak, yöntemin performansının ölçülmesidir. İncelenen çalışmaların çoğunda YSA modeli, iklim değişikliğini ve çevre kirliliğini tahminlemede diğer istatistiki modellere göre daha başarılı bulunmuştur. Literatür taraması sonucu YSA modelinin uygulamada daha başarılı olduğu bulgusuna ulaşan çalışmaların özeti Tablo 16'da gösterilmektedir.

Tablo 16: Literatür Taraması: YSA Modeli ve Diğer İstatistiki Modellerin Karşılaştırması

Yazar	Yıl	Karşılaştırılan Model	Sonuç
Gopal ve Woodcock	1996	Gramm-Schmidt Yöntemi	YSA daha başarılı bulunmuştur.
Paruelo ve Tomasel	1997	Regresyon modeli	YSA'nın tahminlemede daha başarılı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.
Dilmen, vd.	2022	Zaman Serisi Analizi (Box-Jenkins)	Çalışmada YSA ile tahmin edilen değerlerin, daha tutarlı ve gerçeğe yakın olduğu, zaman serisine göre daha başarılı olduğu bulgularına ulaşılmıştır.
Kotan ve Erener	2023	Çoklu regresyon modelleri	YSA'nın, çoklu regresyon analizine göre performansının daha yüksek olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.
Obunadike vd,	2023	Lojistik regresyon	Lojistik Regresyon'a göre YSA'nın daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

İklim değişikliğini ve çevresel kirliliği YSA ile analiz eden literatür taramasına göre, çalışmalarda en çok kullanılan değişkenler; CO₂ emisyonu, SO₂, sıcaklıktaki değişimler, PM10, partiküler madde ve bitki çeşitliliğidir.

3.3. Analiz ve Uygulama

Çalışmada iklim değişikliğinin gelecekteki eğilimini tahmin etmek için, bir önceki bölümde nedenleri açıklandığı üzere YSA modeli kullanılmıştır. Tüm analizler Matlab R2023b, Deep Learning ve Neural Network toolbox istatistiki programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Veri Setinin Oluşturulması

Analizler gerçekleştirilmeden önce her ülke için veri setleri hazırlanmış; analizde kullanılacak bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Veri seti, literatür taraması referans alınarak oluşturulan ve 2. bölümde her biri açıklanan iklim değişikliğini açıklamada başarılı olacağı düşünülen

değişkenlerden oluşmaktadır. Veri setinin analizde kullanılmak üzere oluşturulmasındaki işlemler sırası ile aşağıda açıklanmaktadır.

- **Veri Seti Analizi:** Uygulamaya başlamadan önce veri seti analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen veri analizinde eksik ve uç değerlerin varlığı kontrol edilmiştir. Eksik veri tespiti için Matlab’da bulunan “*isnan*” komutu kullanılmıştır. Uygulama sonuçlarına göre veri setinde herhangi bir eksik değer gözlemlenmemiştir.

Ardından her bir veri setinde aykırı değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bunun nedeni ise; kullanılan değişkenlerin, birimlerinin (milyon, ton, yüzde gibi) birbirinden farklı olmasıdır. Bu işlem için Matlab’da kullanılan kodlar Ek 11’de yer almaktadır. Veri setlerinin tümünde, verilerin standardize edilmesi gerekliliği tespit edilmiştir. Standardize işlemi özetle veri kümesi özelliklerini [0, 1] normalleştirilmiş aralığı içinde sistematik olarak normalleştirmek için kullanılmakta ve verilerin yorumlamasını kolaylaştırmaktadır (Logeswari, Bose ve Anitha, 2023: 873). Standardizasyon işlemi için literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları; Z-Score yöntemi, Min-Max normalizasyonu, Medyan normalizasyonu, Sigmoid normalizasyonu ve D_Min_Max normalizasyonudur. Bu çalışmada ise verilerin standardizasyon işlemi Matlab kullanılarak min-max yöntemi ile yapılmıştır.

- **Değişkenlerin Özellik Seçimi (Feature Selection of Variables):** Standardizasyon işlemi Matlab programında yapıldıktan sonra, veriler Matlab (R2023a) programına standardize edilmiş şekilde aktarılmıştır. Bu işlemten sonra, kurulan modelin istatistiki olarak anlamlılığı tespit edilmiştir. Bu işlemin yapılma nedeni; veri kümesinde gereksiz ve anlamsız değişkenlerin modelin yeteneğini azaltmasının ve karmaşık hâle getirmesinin önüne geçmektir. Bir başka ifade ile bağımlı değişken olan sıcaklığı tespit etmede seçilen bağımsız değişkenlerin anlamlı olup olmadığının tespit edilmesi gerekliliğidir. Bir diğer amaç ise YSA modelinin tahmin başarısının tespit edilmesidir.

Matlab’da, özellik seçimi yapmak için bir dizi fonksiyon ve araç bulunmaktadır. Literatür taramasında tespit edilen yaygın kullanılan yöntemler; korelasyon analizi, Temel Bileşenler Analizi ve özellik seçim araç kutusudur (Feature Selection Toolbox).

- **Optimizasyon:** Optimizasyon işlemi; modelin kayıp fonksiyonunu minimize ederek modelin daha iyi performans göstermesini sağlamaktadır. Makine öğrenmesinde hata oranını en aza indirmek için sıklıkla kullanılan 6 tane optimizasyon yöntemi bulunmaktadır. Bunlar; Stochastic gradient descent, Momentum, Adagrad, RMSProp, Adadelata, Levenberg-Marquardt ve Adam algoritmalarıdır. Çalışmada veri setleri için, Matlab optimization toolbox’tan yararlanılmıştır.

Çalışmada bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkeni açıklama gücü regresyon analizi yapılarak tespit edilmiştir. Başlangıçta analizde kullanılması düşünülen 1 bağımlı değişken ve 11 bağımsız değişken için regresyon analizi yapılmıştır. Ancak modelin anlamlılığını azaltan arazi örtüsü değiştirme

göstergesi modelden çıkarılmıştır. Finalde modelin bağımlı (çıktı) değişkeni; iklim değişikliği göstergesi olan sıcaklıktaki değişimdir. Modelin bağımsız (girdi) değişkenleri ise; kişi başı CO₂, nüfus, GSYİH değişimi, petrol tüketimi, kömür tüketimi, doğalgaz tüketimi, nükleer enerji tüketimi, kentsel nüfus ve karbon vergi uygulamasıdır. Özetle çalışmada bir ülke için 9 girdi değişkeni (459 değişken) ve 1 çıktı (51 değişken) değişkeni, toplamda 510 değişken kullanılmıştır. Kullanılan veriler WB, Energy Institute database, UN, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, OECD ile IMF raporlarından derlenmiştir. Kullanılan veriler ve verilerin alındığı kaynaklar özet olarak Tablo 17’de gösterilmektedir.

Tablo 17: Çalışmada Kullanılan Değişkenler ve Veri Kaynakları

Değişken	Tanımı	Birim	Veri Kaynağı
Bağımlı	Sıcaklık Değişimi	%	IMF
Bağımsız	Kişi Başı CO ₂	%	Energy Institute
Bağımsız	Nüfus	Milyon	World Bank
Bağımsız	Kişi Başı GSYİH Artışı	%	World Bank
Bağımsız	Petrol Tüketimi	Milyar m ³	Energy Institute
Bağımsız	Doğalgaz Tüketimi	Exajoules	Energy Institute
Bağımsız	Kömür Tüketimi	Exajoules	Energy Institute
Bağımsız	Nükleer Enerji Tüketimi	Exajoules	Energy Institute
Bağımsız	Kentsel Nüfus (toplam nüfus yüzdesi)	%	WB, United Nations Population Division
Bağımsız	Karbon Vergisi (dummy)	Rakam (0-1)	

Not: (*) Türkiye’ye ait sıcaklık değişimi verileri Food and Agriculture Organization of the United Nations (2024). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database, <https://www.fao.org/faostat/en/#data> ‘den alınmıştır. Diğer ülkelerin sıcaklık değişimi IMF’den alınmıştır.

Kullanılan veriler 1972-2022 yıllık değerlerdir. 1972 yılının başlangıç yılı seçilmesinin nedeni ise 2. bölümde de açıklandığı üzere; iklim değişikliği ile mücadelede uluslararası iş birliklerinin bu tarihten itibaren hedeflerini takip etmesidir. Çalışmada göz önünde bulundurulması gereken bir diğer konu; bir yerin iklim koşullarının belirlenebilmesi için minimum 30 yıllık verilere gereksinim olduğu varsayımdır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/> Erişim: 02.10.2023). Mevcut verilerin bulunabilirliği ve çalışmanın amacı göz önünde bulundurularak çalışmada 51 yıllık veri kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılması kararlaştırılan değişkenlerin korelasyon analizi her bir ülke için sırası ile bu bölümde açıklanacaktır. Bu aşamada veri seti; eğitim (training) ve test seti olarak bölünmüştür. Veri setinin bölünmesinde literatürdeki çalışmalar referans alınarak ve veri setinin boyutu düşünülerek %90 (eğitim) ve %10 (test) yöntemi izlenmiştir. Literatüre göre genelleme yeteneğinin geliştirilmesi için; doğrulama setinin artırılması, ağın daha iyi test edilmesi gerekiyorsa test setinin de artırılması gerekmektedir. Bu işlemle birlikte mevcut değerleri yeniden tahmin ederek, YSA’nın tahmin başarısının test edilmesi amaçlanmaktadır.

Oluşturulan modellerin başarılarını ölçebilmek için, standart olarak kabul gören metriklerin uygulanması gerekmektedir. Çalışmada modellerin performansının değerlendirilmesinde kullanılan istatistikler ise; Ortalama Kare Hata (Mean Squared Error- MSE) ve Belirleme Katsayısıdır (R).

Uygulama kısmı çalışmada 2 bölüme ayrılmıştır. Birinci aşamada, 2030 için sıcaklık değişimini tahmin etmeden önce kullanılmak istenen YSA modelinin tahmin başarısı ölçülmüştür. Bunun için mevcut bulunan sıcaklık değişimi verileri YSA ile yeniden tahmin edilmiştir. Bu işlem Matlab, Neural Network Fitting toolbox aracılığı ile yapılmıştır. Modelin bulduğu tahmini sıcaklık değişimi değerleri ile gerçekleşen sıcaklık değişimi değerleri karşılaştırılmıştır. Uygulama her bir ülke için ayrı ayrı yapılmıştır. İkinci aşamada ise G20 ülkelerinin 2023-2030 arasındaki sıcaklık değişimi tahmin edilmiştir.

- Hindistan Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bunun için veri setinin sahip olduğu minimum değer (min), maximum değer (max), standart sapma (STD) ve ortalama (mean) değerlerine Matlab kullanılarak bakılmıştır. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 18’de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90’ı eğitim, %10’u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde Levenberg- Marquardt (LM), Bayesian Regularization (BR) ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Hindistan örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 19’da yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 14’te gösterilmektedir.

Tablo 18: Hindistan Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

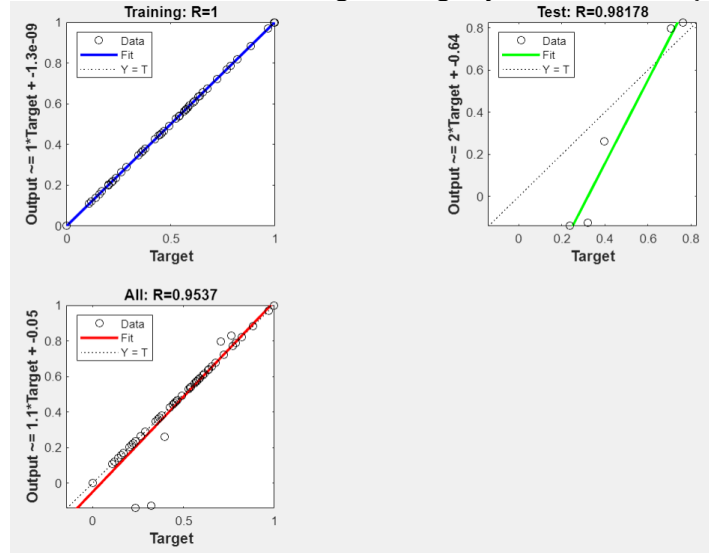
Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-7,32	1417	115,6	74,2

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab’da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 19: Hindistan YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0750	0.9817	0.0074	0.9537
BR	%90 - %10	0.0557	0.7528	0.0956	0.8199	0.0596	0.7606
SCG	%90 - %10	0.0018	0.9850	0.0530	0.8164	0.0068	0.9419

Grafik 14: Hindistan YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları



Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 19 incelendiğinde; Hindistan örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.95 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. Ortalama hata kare (MSE) değeri ise 0,0074 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- **Arjantin Örnekleme:** Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 20'de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Arjantin örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 21'de yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 15'te gösterilmektedir.

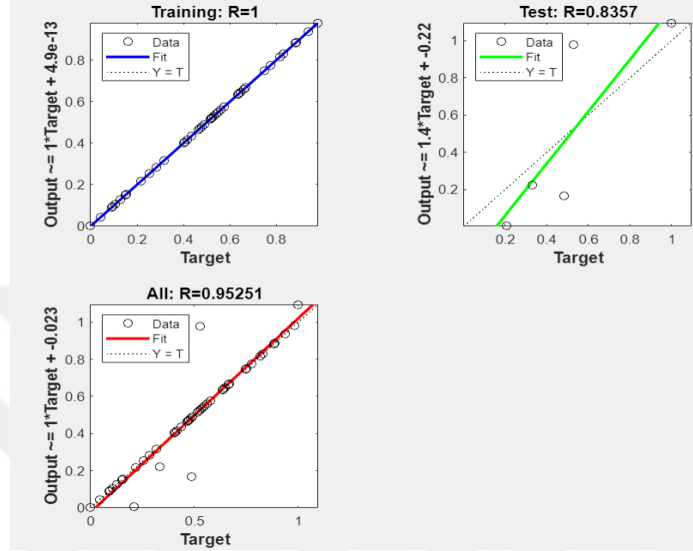
Tablo 20: Arjantin Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-11,85	100,2	25,17	4,002

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 21: Arjantin YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0730	0.8357	0.0072	0.9525
BR	%90 - %10	0.0352	0.6941	0.0168	0.4621	0.0334	0.6877
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.4833	0.06689	0.0477	0.8436

Grafik 15: Arjantin YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 21 incelendiğinde; Arjantin örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.95 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0072 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- **Çin Örnekleme:** Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 22'de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Çin örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 23'te yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 16'da gösterilmektedir.

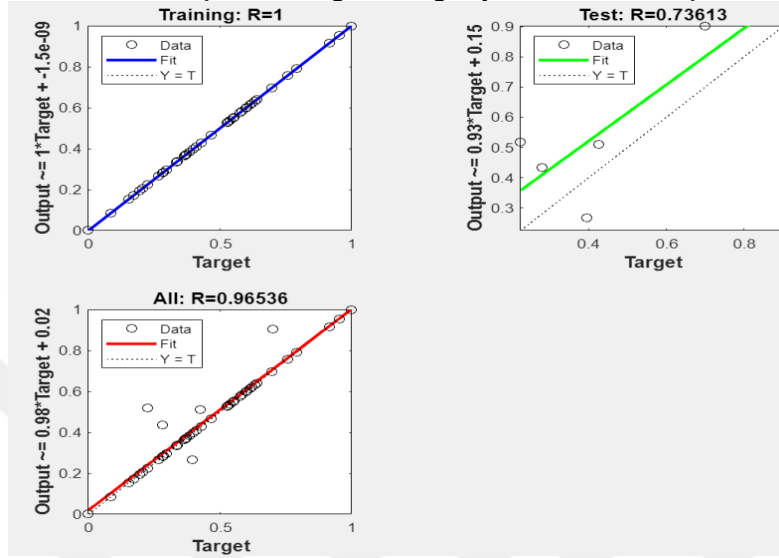
Tablo 22: Çin Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-3,08	1412	157,57	71,42

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 23: Çin YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0347	0.7361	0.0034	0.9654
BR	%90 - %10	0.0136	0.8523	0.0052	0.7731	0.0128	0.8499
SCG	%90 - %10	0.0020	0.9773	0.0367	0.7750	0.0054	0.9411

Grafik 16: Çin YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 23 incelendiğinde; Çin örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.96 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0034 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Almanya Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 24'te yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Almanya örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 25'te yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 17'de gösterilmektedir.

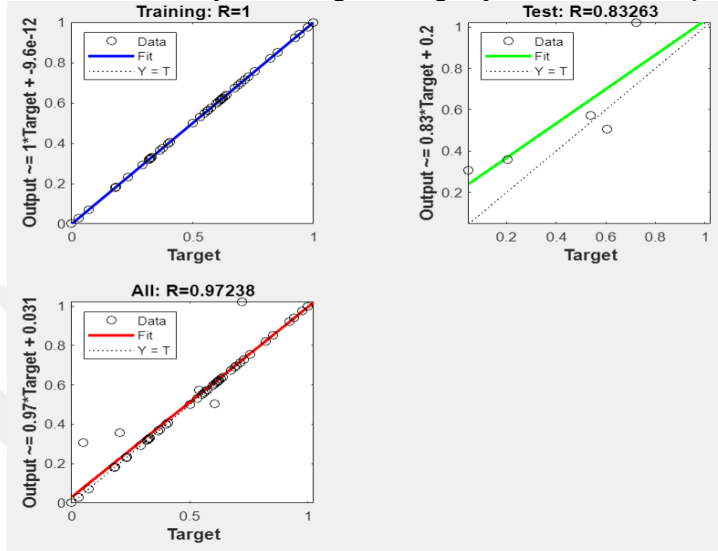
Tablo 24: Almanya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-5,45	163,16	42,99	5,95

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 25: Almanya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0386	0.8326	0.0038	0.9724
BR	%90 - %10	0.0079	0.9428	0.0557	0.4785	0.0126	0.9008
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.2020	0.6781	0.0198	0.8933

Grafik 17: Almanya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 25 incelendiğinde; Almanya örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.97 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0038 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Endonezya Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 26'da yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Endonezya örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 27'de yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 18'de gösterilmektedir.

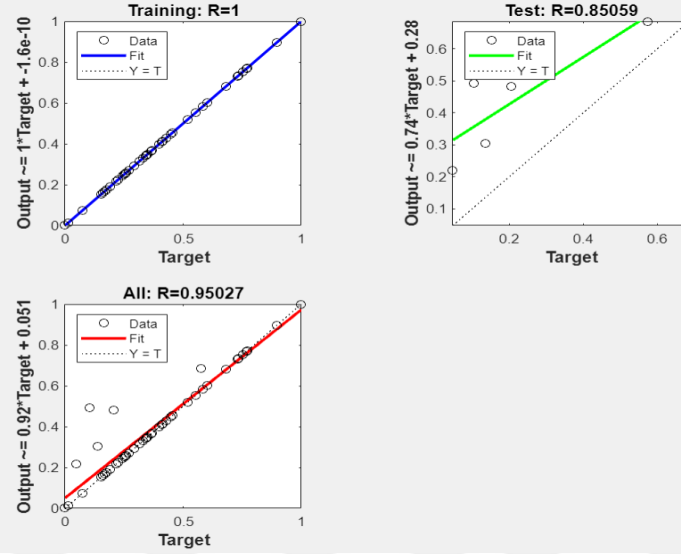
Tablo 26: Endonezya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-14,48	275,50	38,21	13,53

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 27: Endonezya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0596	0.8506	0.0058	0.9503
BR	%90 - %10	0.0078	0.9280	0.0191	0.8745	0.0089	0.9163
SCG	%90 - %10	0.0005	0.9959	0.0939	0.7881	0.0096	0.9349

Grafik 18: Endonezya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 27 incelendiğinde; Endonezya örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.95 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0058 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Avustralya Örnelemi: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 28'de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Avustralya örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 29'da yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 19'da gösterilmektedir.

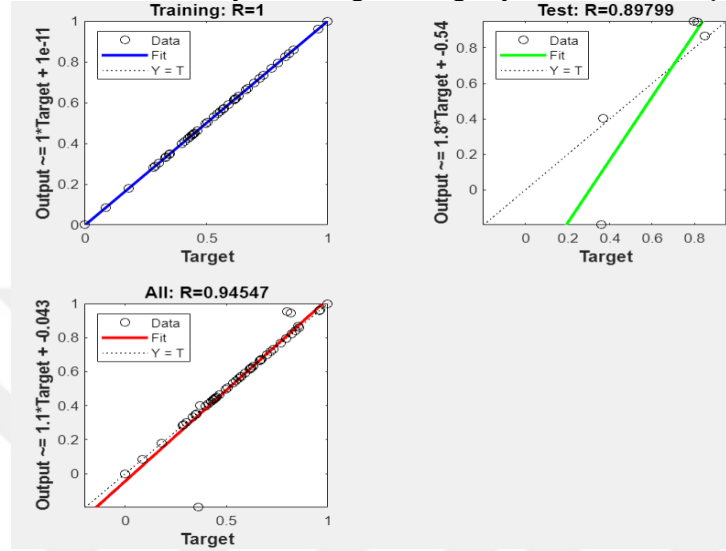
Tablo 28: Avustralya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-3,55	100,02	25,32	3,38

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 29: Avustralya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0708	0.8980	0.0069	0.9455
BR	%90 - %10	0.0237	0.6889	0.0484	0.6985	0.0262	0.6862
SCG	%90 - %10	0.0001	0.9994	0.0772	0.5064	0.0076	0.9281

Grafik 19: Avustralya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 29 incelendiğinde; Avustralya örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.94 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0069 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Fransa Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 30'da yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Fransa örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 31'de yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 20'de gösterilmektedir.

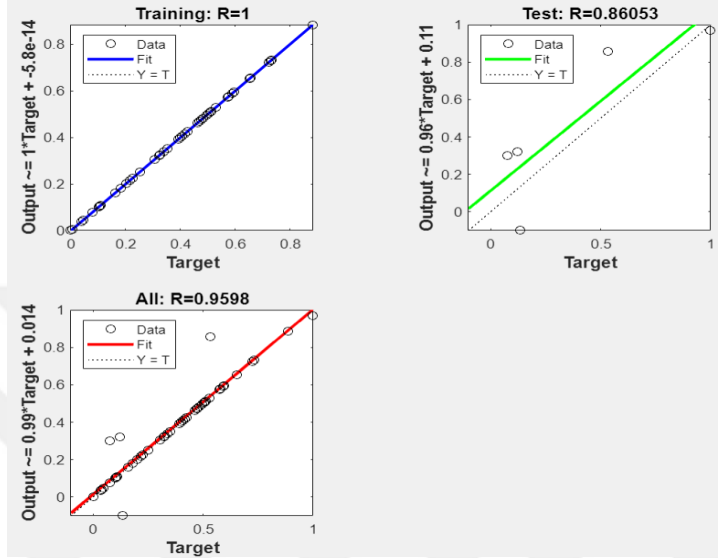
Tablo 30: Fransa Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-8,03	127,27	33,94	4,48

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 31: Fransa YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0499	0.8605	0.0049	0.9588
BR	%90 - %10	0.0176	0.8452	0.0044	0.8750	0.0163	0.8462
SCG	%90 - %10	0.0002	0.9979	0.0476	0.7194	0.0049	0.9575

Grafik 20: Fransa YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 31 incelendiğinde; Fransa örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.95 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0049 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- İtalya Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 32'de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. İtalya örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 33'te yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 21'de gösterilmektedir.

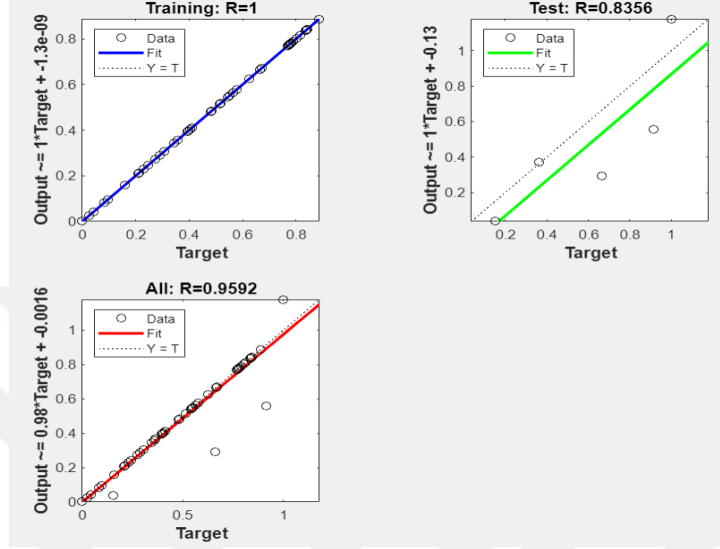
Tablo 32: İtalya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-8,53	103,56	33,77	6,82

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 33: İtalya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0618	0.8356	0.0061	0.9592
BR	%90 - %10	0.0165	0.8788	0.0200	0.8697	0.0168	0.8733
SCG	%90 - %10	0.0004	0.9971	0.1014	0.6331	0.0103	0.9336

Grafik 21: İtalya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 33 incelendiğinde; İtalya örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.95 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0061 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- İngiltere Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 34'te yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. İngiltere örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 35'te yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 22'de gösterilmektedir.

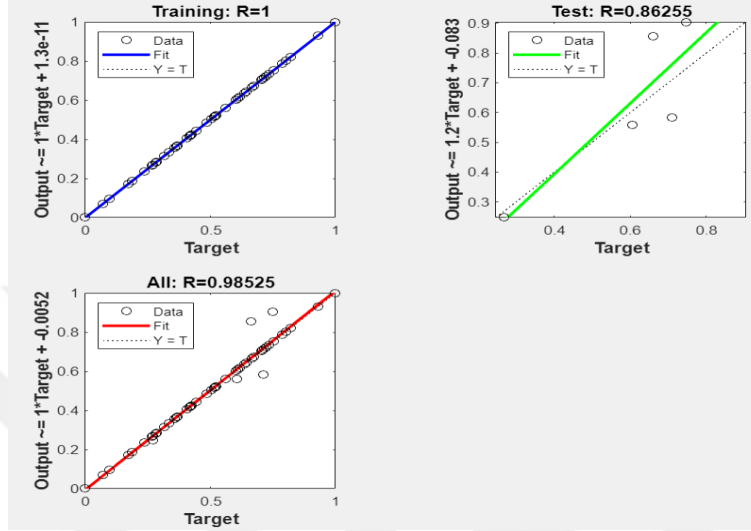
Tablo 34: İngiltere Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-11,36	113,62	36,48	6,26

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 35: İngiltere YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0163	0.8626	0.0016	0.9852
BR	%90 - %10	0.0238	0.7170	0.0492	0.8467	0.0263	0.6986
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0392	0.6949	0.0038	0.9647

Grafik 22: İngiltere YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 35 incelendiğinde; İngiltere örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.98 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0016 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Meksika Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 36'da yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Meksika örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 37'de yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 23'te gösterilmektedir.

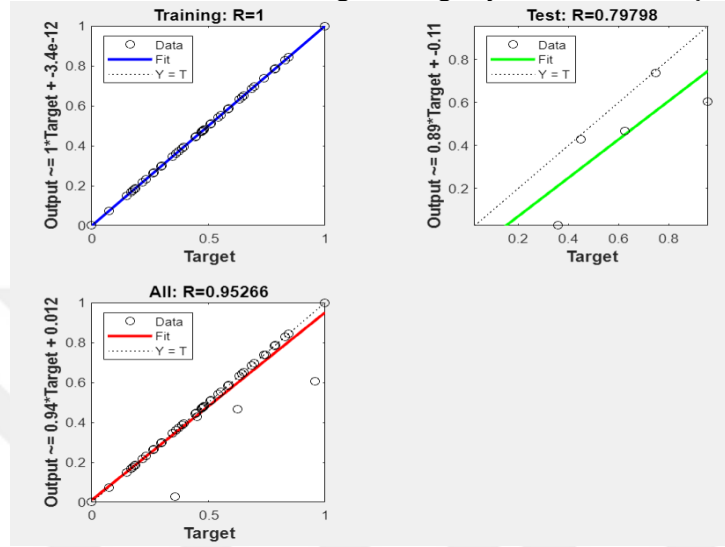
Tablo 36: Meksika Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-8,84	127,50	35,31	10,06

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 37: Meksika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0518	0.7980	0.0051	0.9527
BR	%90 - %10	0.0100	0.9031	0.0071	0.8895	0.0098	0.8999
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.1524	0.7859	0.0149	0.8986

Grafik 23: Meksika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 37 incelendiğinde; Meksika örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.95 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0051 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Japonya Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 38'de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Japonya örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 39'da yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 24'te gösterilmektedir.

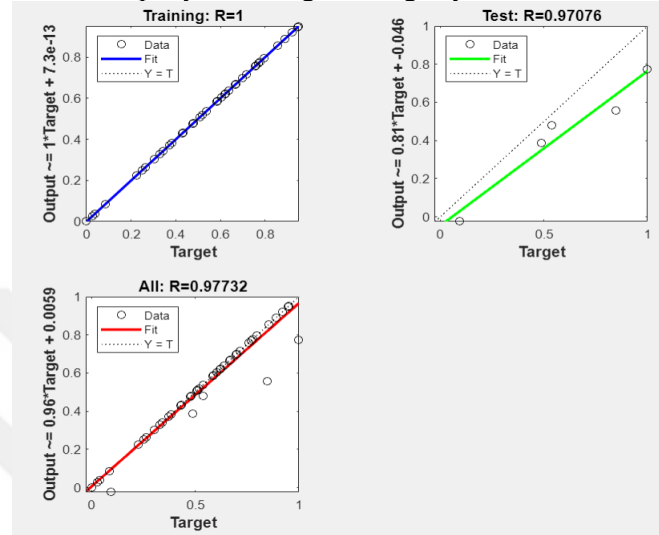
Tablo 38: Japonya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-5,68	276,49	55,73	12,99

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 39: Japonya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0327	0.9708	0.0032	0.9773
BR	%90 - %10	0.0201	0.8308	0.0370	0.6878	0.0218	0.8186
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0955	0.6605	0.0094	0.9356

Grafik 24: Japonya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 39 incelendiğinde; Japonya örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.97 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0032 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Rusya Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 40'ta yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Rusya örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 41'de yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 25'te gösterilmektedir.

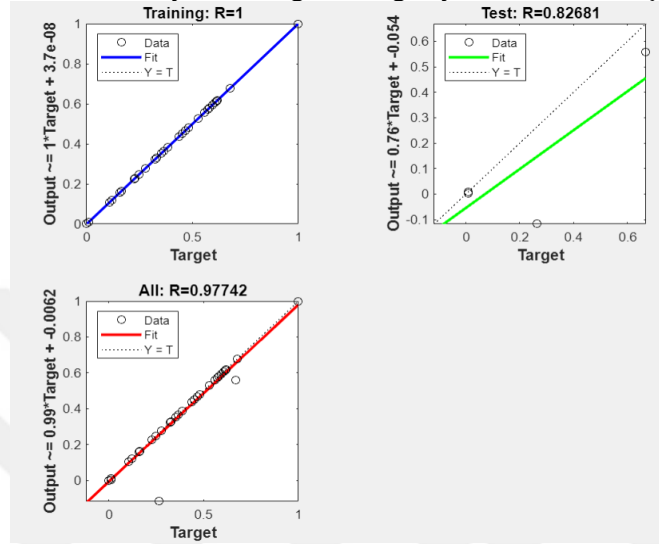
Tablo 40: Rusya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-14,61	474,61	62,67	57,58

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 41: Rusya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0317	0.8268	0.0031	0.9774
BR	%90 - %10	0.0131	0.8756	0.0398	0.8871	0.0157	0.8755
SCG	%90 - %10	0.0006	0.9954	0.0498	0.7255	0.0054	0.9597

Grafik 25: Rusya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 41 incelendiğinde; Rusya örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.97 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0031 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Güney Kore Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 42'de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Güney Kore örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 43'te yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 26'da gösterilmektedir.

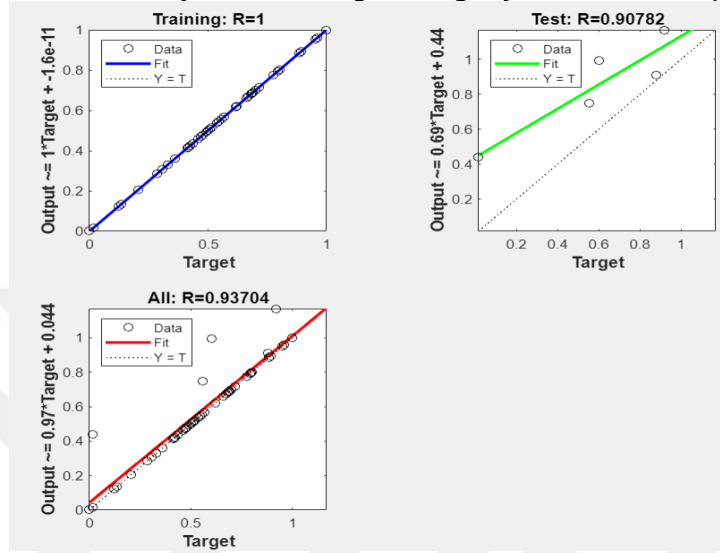
Tablo 42: Güney Kore Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-5,81	124,21	29,16	11,79

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 43: Güney Kore YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0868	0.9078	0.0085	0.9370
BR	%90 - %10	0.0320	0.6988	0.0428	0.4825	0.0330	0.6749
SCG	%90 - %10	0.0025	0.9806	0.0683	0.5034	0.0089	0.9288

Grafik 26: Güney Kore YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 43 incelendiğinde; Güney Kore örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.93 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0085 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Suudi Arabistan Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 44'te yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Suudi Arabistan örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 45'te yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 27'de gösterilmektedir.

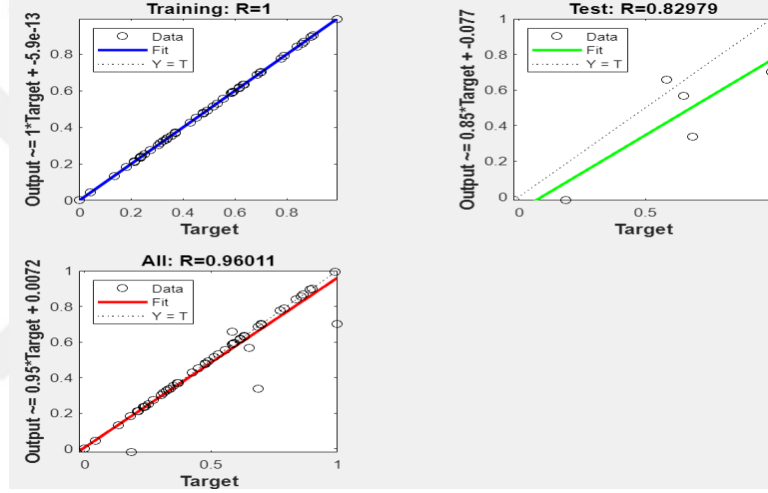
Tablo 44: Suudi Arabistan Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-24,43	180,37	30,46	15,98

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab’da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 45: Suudi Arabistan YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0536	0.8298	0.0053	0.9601
BR	%90 - %10	0.0143	0.8791	0.0282	0.8271	0.0157	0.8668
SCG	%90 - %10	0.0005	0.9959	0.0703	0.8558	0.0073	0.9523

Grafik 27: Suudi Arabistan YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 45 incelendiğinde; Suudi Arabistan örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.96 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0053 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Güney Afrika Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 46’da yer almaktadır. Ardından veri setinin %90’ı eğitim, %10’u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Güney Afrika örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 47’de yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 28’de gösterilmektedir.

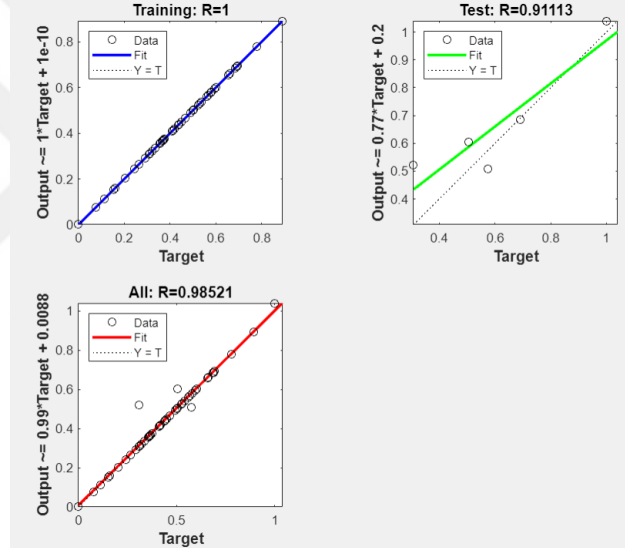
Tablo 46: Güney Afrika Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-7,48	102,17	20,77	3,23

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab’da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 47: Güney Afrika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0124	0.9111	0.0012	0.9852
BR	%90 - %10	0.0154	0.7508	0.0317	0.3975	0.0170	0.7590
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0487	0.7893	0.0048	0.9478

Grafik 28: Güney Afrika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 47 incelendiğinde; Güney Afrika örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.98 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0012 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- ABD Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 48’de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90’ı eğitim, %10’u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. ABD örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 49’da yer almaktadır. LM

algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 29’da gösterilmektedir.

Tablo 48: ABD Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

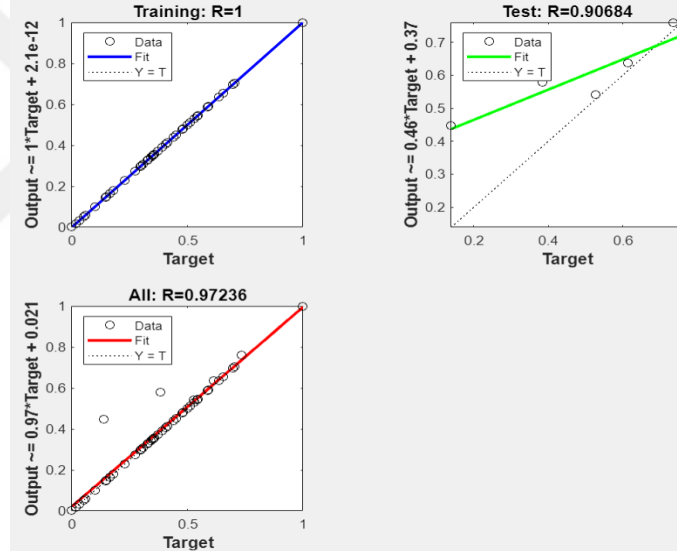
Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-3,70	926,82	173,57	33,08

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab’da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 49: Amerika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0271	0.9068	0.0027	0.9724
BR	%90 - %10	0.0204	0.7616	0.0096	0.8260	0.0193	0.7615
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.3049	0.4027	0.0299	0.7952

Grafik 29: Amerika YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları



Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 49 incelendiğinde; ABD örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.97 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0027 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Kanada Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 50’de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90’ı eğitim, %10’u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam

edilmiştir. Kanada örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 51’de yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 30’da gösterilmektedir.

Tablo 50: Kanada Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

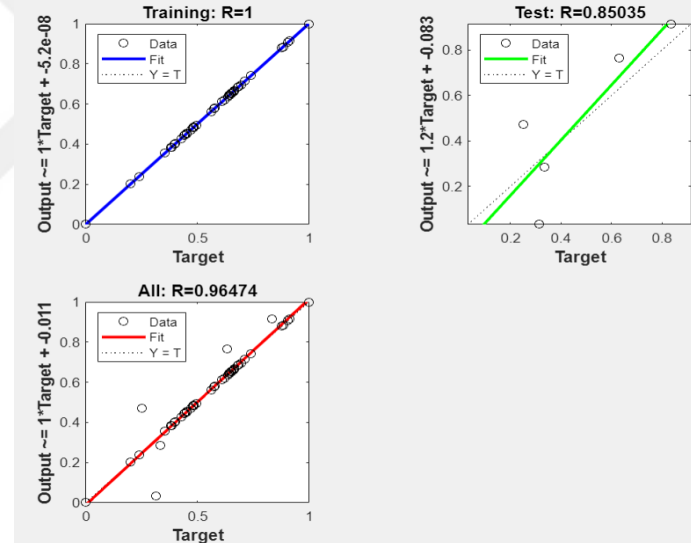
Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-6,09	121,63	36,08	6,88

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab’da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 51: Kanada YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0309	0.8504	0.0030	0.9647
BR	%90 - %10	0.0209	0.6692	0.0152	0.5351	0.0203	0.6919
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.2775	0.7942	0.0272	0.7991

Grafik 30: Kanada YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları



Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 51 incelendiğinde; Kanada örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.96 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0030 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Brezilya Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 52’de yer almaktadır. Ardından veri setinin %90’ı eğitim, %10’u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam

edilmiştir. Brezilya örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 53'te yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 31'de gösterilmektedir.

Tablo 52: Brezilya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

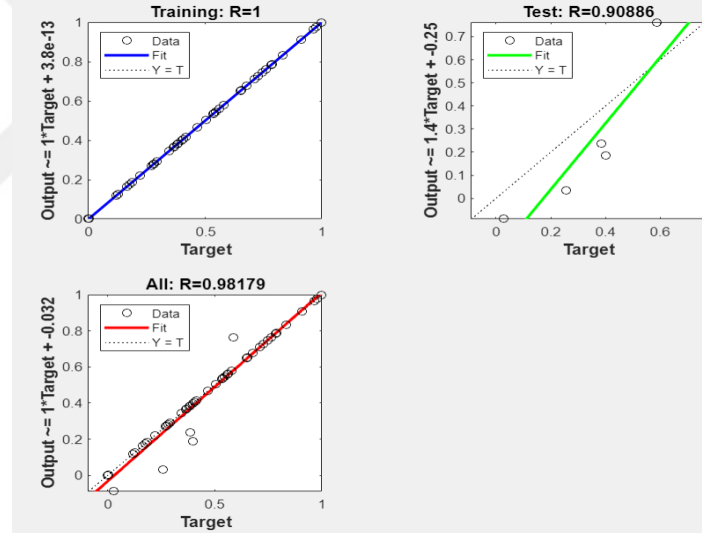
Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-6,45	215,31	39,10	11,39

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 53: Brezilya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0323	0.9089	0.0032	0.9818
BR	%90 - %10	0.0101	0.9289	0.0114	0.9121	0.0102	0.9256
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.2042	0.5089	0.0200	0.8860

Grafik 31: Brezilya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları



Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 53 incelendiğinde; Brezilya örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.98 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0032 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Türkiye Örnekleme: Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 54'te yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam

edilmiştir. Türkiye örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 55’te yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 32’de gösterilmektedir.

Tablo 54: Türkiye Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

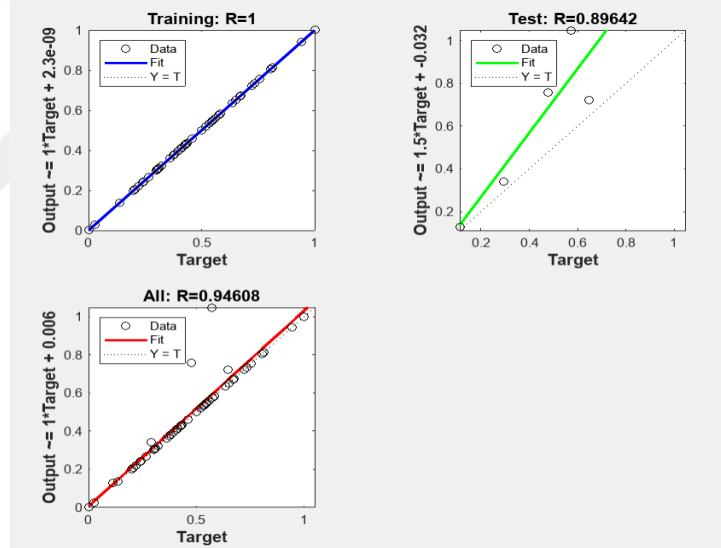
Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
561	-7,14	85,34	15,89	6,69

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab’da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 55: Türkiye YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0626	0.8964	0.0061	0.9461
BR	%90 - %10	0.0177	0.7929	0.0049	0.9125	0.0164	0.8072
SCG	%90 - %10	0.0001	0.9993	0.0705	0.7297	0.0070	0.9308

Grafik 32: Türkiye YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları



Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 55 incelendiğinde; Türkiye örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.94 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. MSE değeri ise 0,0061 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

- Dünya Örnekleme: G20 ülkeleri için analizler yapıldıktan sonra, sonuçları küresel bazda karşılaştırmak için dünya örneği üzerinden yeniden çalışılmıştır. Veri seti yeniden oluşturulmuştur. 1972-2022 verileri kullanılmıştır. Kullanılan bağımlı değişken sıcaklıktır. Bağımsız değişkenler ise;

GSYİH, nüfus, kişi başı yenilenemeyen enerji, kentsel arazi, kişi başı CO₂ ve ticaretin GSYİH'ye oranıdır.

Veri setinde önce aykırı bir değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ham veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 56'da yer almaktadır. Ardından veri setinin %90'ı eğitim, %10'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Doğrulama setinin tercih edilmeme nedeni; veri setinin sınırlı gözlem değerine sahip olmasıdır. Uygulamada öğrenme algoritması seçiminde LM, BR ve SCG sırası ile denenmiştir. En başarılı sonuç 10 gizli katmanın kullanıldığı LM algoritması ile analize devam edilmiştir. Dünya örneği için YSA regresyon analizi sonuçları Tablo 57'de yer almaktadır. LM algoritması kullanılarak elde edilen eğitim ve test kümelerine ait regresyon grafikleri ise Grafik 33'te gösterilmektedir.

Tablo 56: Dünya Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikler

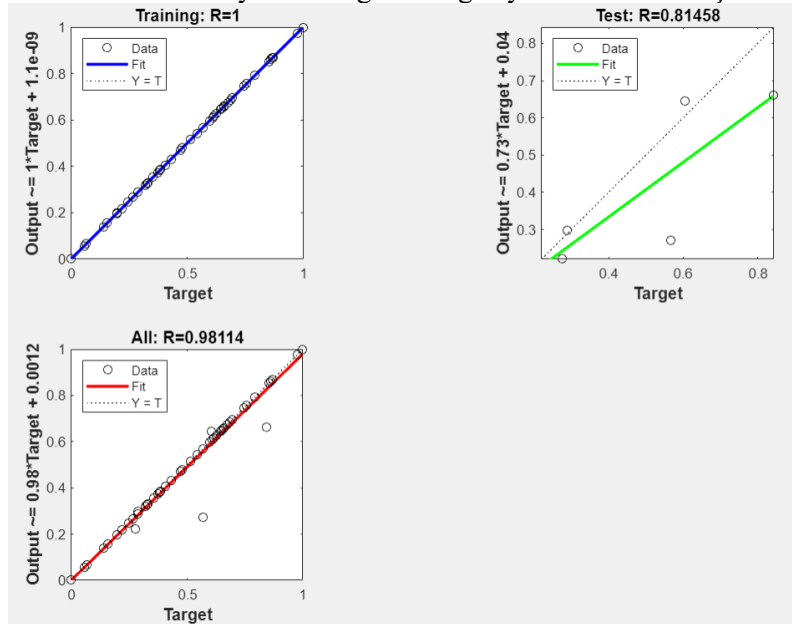
Veri Sayısı	Min	Max	Mean	STD
357	-4,04	7951	864,3	430,01

Veri setinde kullanılan değişkenlerin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olması nedeniyle, Matlab'da veri seti standardize edilerek analize devam edilmiştir.

Tablo 57: Dünya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları

	Boyutlandırma	MSE Train	R Train	MSE Test	R Test	MSE Toplam	R Toplam
LM	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.0251	0.8146	0.0025	0.9811
BR	%90 - %10	0.0101	0.9289	0.0114	0.9121	0.0102	0.9256
SCG	%90 - %10	0.0000	1.0000	0.2042	0.5089	0.0200	0.8860

Grafik 33: Dünya YSA Eğitim Regresyon Analizi Sonuçları



Analiz sonuçlarının yer verildiği Tablo 57 incelendiğinde; Dünya örneği için YSA modelinin belirlilik katsayısı en yüksek sonuç olan 0.98 LM algoritması kullanılarak bulunmuştur. Orijinal veriler ile YSA eğitim çıktısı arasında doğru bir eşleşme olduğu gözlemlenmektedir. Bir başka ifade ile; YSA ile tahmin edilen sıcaklık değişim değeri ile gerçekleşen değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

Özetle çalışmada her bir ülke için oluşturulan veri setinin performansı, belirlilik katsayı analizi ile tespit edilmiştir. Tüm ülkeler için özet sonuçlar Tablo 58’de gösterilmektedir.

Tablo 58: Özet YSA Regresyon Analiz Sonuçları (R^2) Değerleri

Hindistan	Arjantin	Çin	Almanya	Endonezya
0,95	0,95	0,96	0,87	0,95
Avustralya	Fransa	İtalya	İngiltere	Mekika
0,94	0,95	0,95	0,98	0,95
Japonya	Rusya	Güney Kore	S. Arabistan	G. Afrika
0,97	0,97	0,93	0,96	0,98
ABD	Kanada	Brezilya	Türkiye	Dünya
0,97	0,96	0,98	0,94	0,98

Kurulan modelde R^2 değerlerinin tüm ülkeler için oldukça iyi düzeyde olduğu gözlemlenmektedir. Tahmin edilen değerlerin gerçekleşen değerlerle uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile; YSA’nın çalışma için başarı performansı oldukça yüksektir.

Birinci aşamada YSA başarı performansı test edildikten sonra uygulamanın 2. kısmına geçilmektedir. İkinci kısımda G20 ülkelerinin 2023-2030 arasındaki sıcaklık değişimi tahmin edilecektir.

3.3.2. Doğrusal Olmayan Otoregresif Dışsal Model (NARX) ile İklim Değişikliğinin Gelecek Tahmini: G20 Ülkeleri

Dışsal girişlere sahip doğrusal olmayan otoregresif ağ (Nonlinear Autoregressive Exogenous Model - NARX), ağı çeşitli katmanlarını kapsayan geri besleme bağlantılarına sahip, tekrarlayan bir dinamik ağ çeşididir (Boussaasa vd., 2018: 3). Tekrarlayan sinir ağları bölümünde anlatıldığı üzere, bu modelde geri besleme bağlantılarına izin verilmekte ve doğrusal olmayan bir dinamik sistem işlemektedir. Otoregresif süreç AR(p) ile ifade edilmekte ve serinin mevcut değeri önceki p adet değere bağlı olmaktadır.

NARX modeli, zaman serisi modellemede yaygın olarak kullanılan doğrusal ARX modelini temel almaktadır. NARX modeli için tanımlayıcı denklem eşitlik 5’te gösterilmektedir;

$$y(t)=f(y(t-1),y(t-2),\dots,y(t-n_y),u(t-1),u(t-2),\dots,u(t-n_u)) \quad (5)$$

Eşitlikte bağımlı çıkış sinyalinin bir sonraki değeri $y(t)$, çıkış sinyalinin önceki değerlerine ve bağımsız (dışsal) giriş sinyalinin önceki değerlerine göre regresyonlanmaktadır. Bir başka ifade ile; NARX modelde sinirsel öğrenme, önceki verileri verimli bir şekilde birleştirerek zaman serilerindeki gelecekteki değerleri tahmin etmek için kullanılmaktadır (Ali vd., 2021: 7-8). Zaman serisi verilerinin harici girişi ve sonraki çıkışları, NARX sinir ağının doğrusal olmayan modelinde bir sonraki değer tahmin edilmesinden sorumludur. Modelin çok katmanlı yapısı gizli katman, gecikme katmanı, giriş katmanı ve çıkış katmanından oluşacak şekilde tasarlanmıştır.

NARX’de ağı eğitimi sırasında gerçek geçmiş çıktının mevcut olması nedeniyle, açık döngü formundadır. Ancak bu açık döngü NARX modeli yalnızca bir adım ileri tahmin sağlamaktadır. Açık döngü NARX modeli, çok adımlı ileri tahmin gerçekleştirmek için, dahili geri bildirimi sağlayarak kapalı döngü formuna dönüştürülmektedir (Hussain, Yuen ve Lee, 2019: 111).

Çalışmada sıcaklıkdaki değişim 2030 yılına kadar tahmin edilmiştir. 2030 yılının seçilme nedeni; çalışmanın amacına uygun olarak BM 2030 hedeflerinin baz alınmasıdır. Analizde gelecek tahmini her bir ülke için ayrı ayrı yapılmıştır.

Tahmin edilen değerler ilk aşamada normalize edilen değerler olduğu için, bu işlem tersine çevirilip denormalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalizasyonu terse çevirme işlemi Matlab aracılığı ile yapılmıştır. Bu işlem için Matlab’da kullanılan kodlar Ek 11’de yer almaktadır.

Denormalizasyon işlemi her ülke için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm analizlerde öğrenme algoritması seçiminde Levenberg- Marquardt (LM), Bayesian Regularization ve Scaled Conjugate Gradient sırası ile denenmiştir. En başarılı ve en hızlı sonuç veren LM algoritması ile analizlere devam edilmiştir.

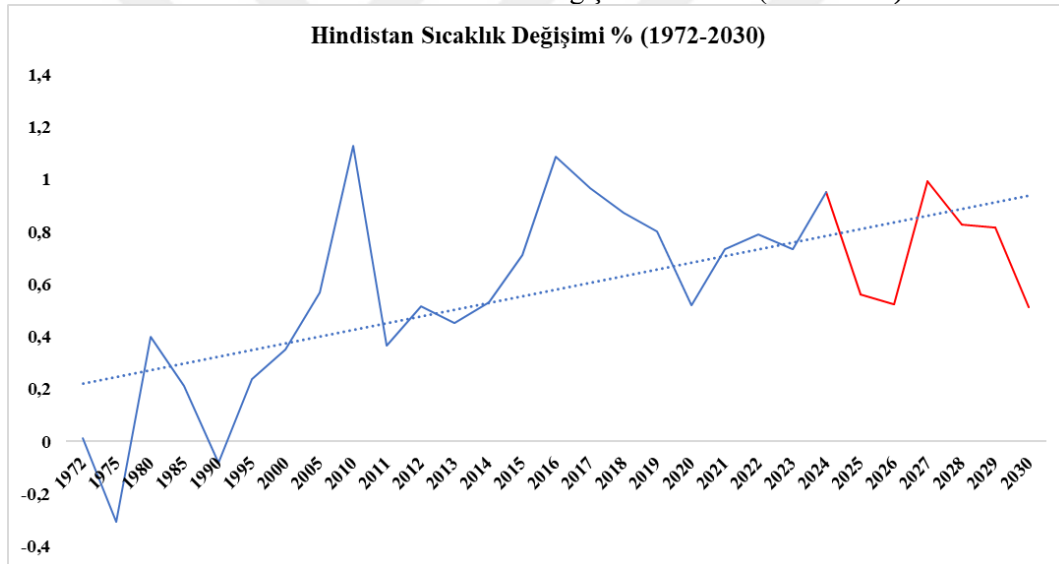
Levenberg- Marquardt algoritması; NARX sinir ağı için en hızlı öğrenme mekanizması olarak literatürde yaygın olarak uygulanmaktadır (Ali vd., 2021: 7-8). Levenberg-Marquardt yöntemi, geri yayılım, gradyan tabanlı yöntemlere kıyasla ağı daha verimli eğittiği kabul edilmektedir (Hussain, Yuen ve Lee, 2019: 111).

- Hindistan Örnelemi: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), kullanılacak eğitim algoritması farklı kombinasyonlar ile hesaplanarak oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030’a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 59’da Hindistan için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 59: Hindistan - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	18	8	2	0,88	0,0201
NARX	TrainLM	85-15	21	10	2	0,93	0,0100
NARX	TrainLM	90-10	21	8	2	0,95	0,0062
**NARX	TrainLM	90-10	19	10	2	0,96	0,0003

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonların test edildiği analizde, Tablo 59’da ** ile gösterilen, anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90’ı eğitim seti, ve %10’u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,96 olup hedeflenen değer 1’e çok yakındır. MSE değeri ise 0,0003 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 19’da elde edildiği görülmektedir. Oluşturulan model ile, 2030’a kadar Hindistan’da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 34’te tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 34: Hindistan Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)

Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 34’te 1972- 2022 sıcaklık değişim değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Grafik 34 incelendiğinde, Hindistan’da en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2009 olduğu gözlemlenmektedir. 2009’da ülkede toplam yenilenemeyen enerji tüketimi bir önceki yıla göre %9, kişi başı GSYİH bir önceki yıla göre %6,3, nüfus bir önceki yıla göre %1,4, karbondioksit emisyonu bir önceki yıla göre %8,2 ve kentsel arazi alanı bir önceki yıla göre %1,1 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Hindistan’da 2030’a kadar sıcaklıktaki değişimin düzensiz olarak artacağı gözlemlenmektedir. Tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, 2024’te

Hindistan’da en yüksek sıcaklık değişimi gerçekleşecektir. 2030’a kadar ortalama sıcaklık değişimi ise 0,76 olacaktır.

Ek 7 Tablo 87’de gösterildiği üzere Hindistan, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla metan gazı salınımı yapan 3. ülke konumundadır. Ülkede metan gazı salınımı sürekli olarak artmaktadır. Ek 9 Tablo 90’da gösterildiği üzere Hindistan, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla azot protoksit gazı salınımı yapan 3. ülke konumundadır. Ülkede azot protoksit gazı salınımı yıllar içinde sürekli artmaktadır. Hindistan’da yenilenemeyen enerji tüketimi ise 1972’den günümüze %972 artmıştır. Ek 8’de gösterildiği üzere G20 ülkeleri içinde, hava kirliliğine bağlı ölüm oranının en fazla olduğu 2. ülke ve su kirliliğine bağlı ölüm oranının en fazla olduğu 1. ülke konumundadır. Ek 4 Tablo 83’te yer verildiği üzere, 1,4 milyar nüfusa sahip olan Hindistan, G20 ülkeleri arasında en kalabalık 2. ülke konumundadır. Toplam nüfus içerisinde kentsel nüfus oranı 1972’den günümüze %72 artmıştır. İkinci bölümde verilerle açıklandığı üzere Hindistan, G20 ülkeleri içerisinde, son 50 yılda ortalama en fazla sera gazı salınımı yapan 3. ülke konumunda yer almaktadır. Özetle ülkede ağırlıklı olarak yenilenemeyen enerji tüketilmesi ve nüfusun yoğun olması sera gazı emisyonuna neden olan ana etmenlerdir. 2023’te Hindistan’daki sıcaklık değişimi ise 0,89 olarak gerçekleşmiştir. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030’a kadar Hindistan’da sıcaklık değişiminin 0,76 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

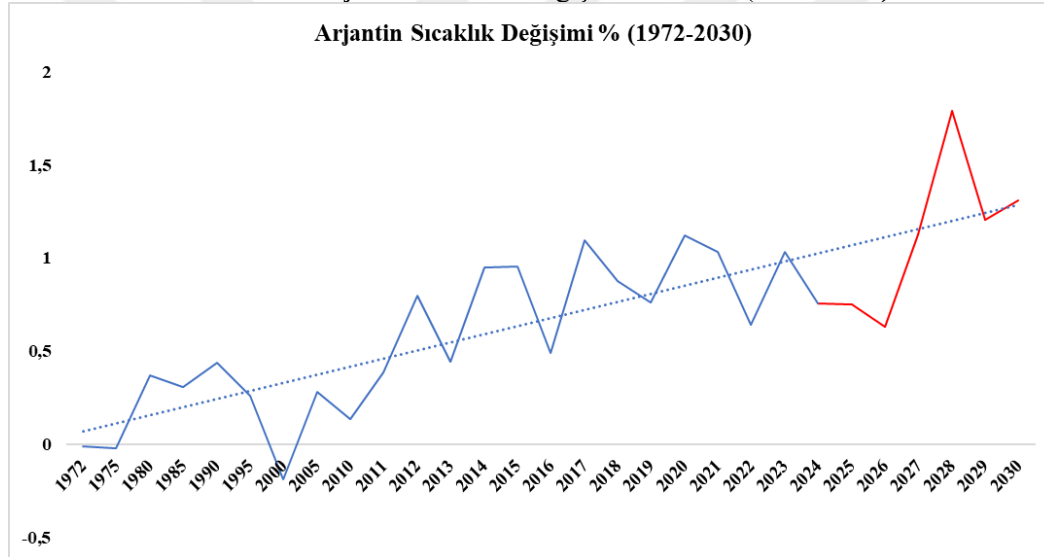
Kyoto Protokolü’nde herhangi bir taahhütte bulunmayan ve karbon vergisi uygulamasına dahil olmayan Hindistan’da bu varsayımlar altında, YSA tahminine göre sıcaklık artmaya devam edecektir. Hindistan’da iklim değişikliğini azaltma raporuna göre; Hindistan’ın sera gazı emisyonlarını azaltmak için özellikle yenilenemeyen enerji tüketimini azaltıp, yenilenebilir enerji tüketimini artırması gerekmektedir (International Money Fund, 2023a). Enerji tüketim tercihlerinin kısa vadede büyüme üzerinde olumsuz bir etkisi olacaktır. Ancak doğru politikalar uygulanmazsa iklim değişikliğinin getirdiği maliyetin daha fazla olacağı gözden kaçırılmamalıdır.

- Arjantin Örnelemi: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030’a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 60’da Arjantin için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 60: Arjantin - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	7	8	2	0,83	0,0260
NARX	TrainLM	85-15	7	10	2	0,85	0,0201
NARX	TrainLM	90-10	10	8	2	0,92	0,0091
**NARX	TrainLM	90-10	8	10	2	0,89	0,0033

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 60’da ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90’ı eğitim seti ve %10’u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nöronlu oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak MSE değeri ise 0,0033 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 8’de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030’a kadar Arjantin’de sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 35’te tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 35: Arjantin Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)

Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 35’te 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar Arjantin’de en yüksek sıcaklık artışı 2020’de yaşanmıştır. Ancak 2020’de ülkede hem toplam yenilenemeyen enerji hem de karbondioksit emisyonu bir önceki yıla göre düşmüştür. Son 50 yıl içerisinde en yüksek sıcaklık yaşanan yılda, bu alışılmadık hava dalgası, iklim değişikliği ile ilişkilendirilmektedir.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Arjantin’de 2030’a kadar sıcaklıktaki değişimin geçmiş dönemlerde de olduğu gibi düzensiz olarak ilerleyeceği gözlemlenmektedir. 1972’den günümüze sıcaklık değişimindeki düzensizliğin çok keskin olması geleceğe dair tahmin verilerini etkilemektedir. YSA tahminine göre, 2030’a kadar sıcaklık değişimi 1,31 olacaktır.

İkinci bölümde verilerle açıklandığı üzere Arjantin’de 1972-2022 yılları arası ortalama kişi başı CO₂ emisyonları %4 artmıştır. Ek 7 Tablo 87’de gösterildiği üzere Arjantin, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla metan gazı salınımı yapan 9. ülke konumundadır. Ülkede metan gazı salınımı sürekli olarak artmaktadır. Ek 4 Tablo 83’te yer verildiği üzere, 46 milyon nüfusa sahip olan Arjantin’de toplam nüfus içindeki kentsel nüfus oranı ise 1972’den günümüze %16 artmıştır. Arjantin, G20 ülkeleri arasında toplam nüfus içindeki kentsel nüfus oranı en fazla ülke konumundadır. Bu faktörlere bağlı olarak Arjantin’de sera gazı salınımı 1972’den günümüze %72 artmıştır. Ek 10 Tablo 91’de yer aldığı üzere, ülkede tarımda kimyasal kullanım oranı son 30 yılda %823 artmıştır. Ülke G20 ülkeleri arasında ortalama tarımda kimyasal kullanan 5. ülke konumundadır. 2023’te Arjantin’deki sıcaklık değişimi ise 1,52 olarak gerçekleşmiştir. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030’a kadar Arjantin’de sıcaklık değişiminin 1,31 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

Ekonomisi büyük ölçüde doğal sermayeye dayandığı için Arjantin, iklim değişikliğine karşı kırılgan bir yapıdadır. Nitekim Arjantin hükümeti, sıcaklıktaki artışı sınırlamak için, 2050 yılına kadar net sıfır karbon hedefini 2021’de duyurmuştur (World Bank, 2022a: 13). Ancak sera gazı salınımında G20 ülkeleri içinde en düşük ortalama sahip olan Arjantin, Kyoto Protokolü’ne dahil edilmemiştir.

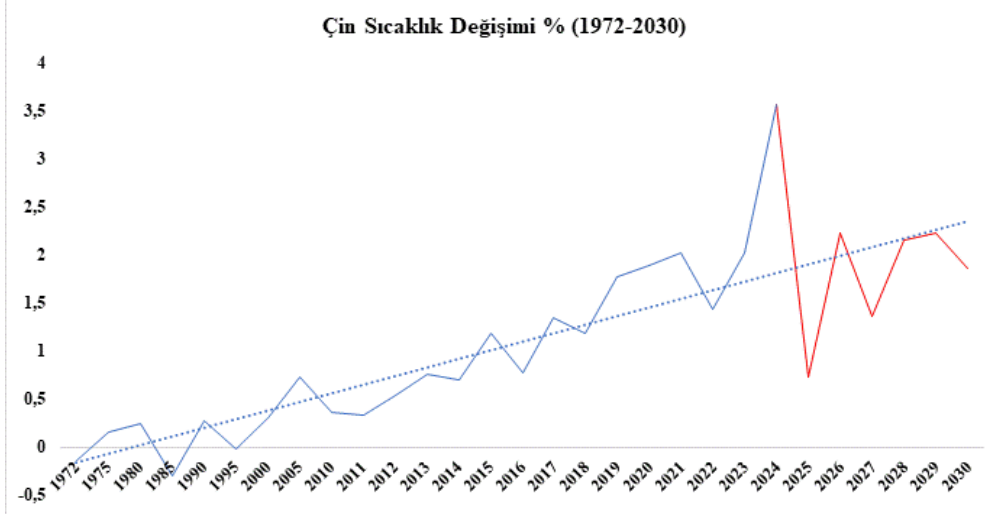
- Çin Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030’a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 61’de Çin için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 61: Çin - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	12	8	2	0,91	0,008
NARX	TrainLM	85-15	26	10	2	0,88	0,018
NARX	TrainLM	90-10	34	8	2	0,92	0,007
**NARX	TrainLM	90-10	35	10	2	0,94	0,0013

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 61’de ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90’ı eğitim seti ve %10’u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,94 olup hedeflenen değer 1’e çok yakındır. MSE değeri ise 0,0013 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 35’de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030’a kadar Çin’de sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX modeli ile tahmin edilmiştir. Grafik 36’da tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 36: Çin Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 36’da 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Ülkede son 50 yıl değerlendirildiğinde; sıcaklıktaki değişimin en fazla 2021 yılında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. 2021’de ülkede kişi başı GSYİH bir önceki yıla göre %8,3, karbondioksit emisyonu bir önceki yıla göre %2 ve kentsel arazi alanı bir önceki yıla göre %2 artmıştır. Toplam yenilenemeyen enerji tüketimi ise bir önceki yıla göre %3 azalmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Çin’de 2030’a kadar sıcaklıktaki değişimin pozitif yönde kademeli olarak artacağı gözlemlenmektedir. YSA tahminine göre, 2030’a kadar ortalama sıcaklık değişimi 1,86 olacaktır.

İkinci bölümde verilerle açıklandığı üzere Çin, G20 ülkeleri arasında en fazla sera gazı salınımı yapan, en fazla yenilenemeyen enerji tüketen ülke konumunda yer almaktadır. Ek 7 Tablo 87’de gösterildiği üzere Çin, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla metan gazı salınımı yapan ülke konumundadır. Ülkede metan gazı salınımı yıllar içinde sürekli artmaktadır. Ek 9 Tablo 90’da gösterildiği üzere Çin, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla azot protoksit gazı salınımı yapan ülke konumundadır. Ülkede azot protoksit gazı salınımı yıllar içinde sürekli artmaktadır. Ek 4 Tablo 83’te yer verildiği üzere, 1,4 milyar nüfusa sahip olan Çin, G20 ülkeleri arasında en kalabalık 1. ülke konumundadır. Toplam nüfus içindeki kentsel nüfus oranı ise 1972’den günümüze %270 artmıştır. Ek 8’de gösterildiği üzere Çin, G20 ülkeleri içinde hava kirliliğine bağlı ölüm oranının en fazla olduğu ülke konumundadır. Ek 10 Tablo 91’de yer aldığı üzere, ülkede tarımda kimyasal kullanım oranı son 30 yılda %58 artmıştır. Ülke G20 ülkeleri arasında ortalama tarımda kimyasal kullanan 3. ülke konumundadır. 2023’te Çin’deki sıcaklık değişimi ise 1,84 olarak gerçekleşmiştir. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030’a kadar Çin’de sıcaklık değişiminin 1,86 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

Çin'in mevcut yenilenemeyen enerji tüketim oranı, nüfusu, ekonomik faaliyetleri, kentleşme oranı göz önünde bulundurulduğunda, global iklim değişikliğine en çok negatif etki eden ülkelerden biri olduğunu ön plana çıkarmaktadır. Kyoto Protokolü'nü ret eden Çin'in bu kapsamda sera gazı emisyonlarını azaltmak için uluslararası alanda iş birliğine yanaşmaması, küresel iklim değişikliğinin seyri için büyük önem taşımaktadır. Ancak Çin, 2020'de gerçekleşen BM Genel Kurulu'nda net sıfır CO₂ emisyon hedefini 2060'a kadar gerçekleştireceği taahhüdünü vermiştir (International Money Fund, 2022: 34). Ancak taahhüt sadece CO₂ emisyonlarıyla sınırlıdır ve tarımdan ve atıklardan kaynaklanan metan salınımlarını hariç tutmaktadır. Söz verilen hedefin 2060 olması ise tartışma konusu olan bir diğer sorundur.

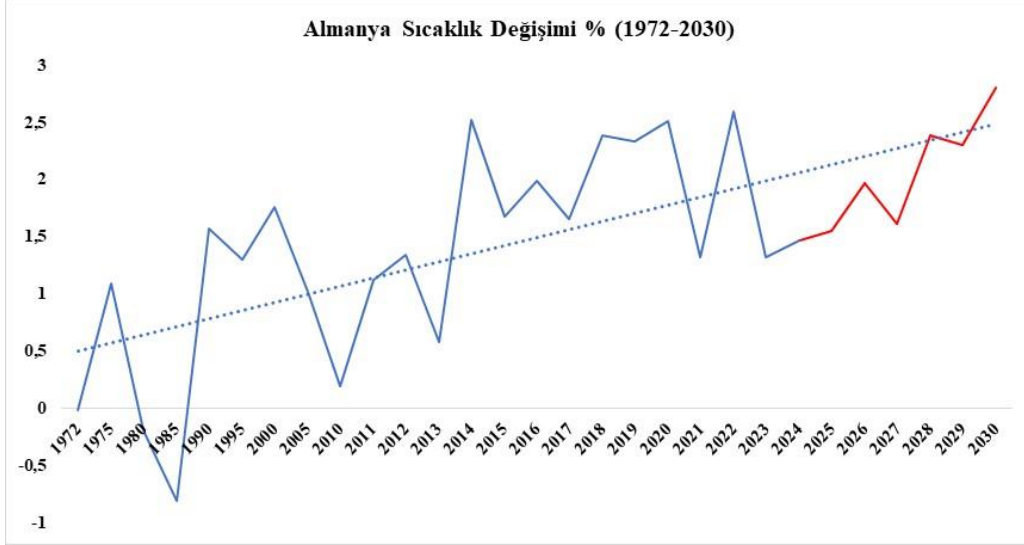
- Almanya Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 62'de Almanya için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 62: Almanya - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	7	8	2	0,85	0,0182
NARX	TrainLM	85-15	9	10	2	0,86	0,0178
NARX	TrainLM	90-10	9	8	2	0,86	0,0130
**NARX	TrainLM	90-10	11	10	2	0,97	0,0029

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 62'de ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,97 olup hedeflenen değer 1'e çok yakındır. MSE değeri ise 0,029 olup hedeflenen değer 0'a yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 11'de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Almanya'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 37'de tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 37: Almanya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 37’de 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar Almanya’da en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2022’dir. 2022’de ülkede kişi başı GSYİH bir önceki yıla göre %0,7 ve nüfus bir önceki yıla göre %1 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Almanya’da 2030’a kadar sıcaklıktaki değişiminin düzensiz devam edeceği gözlemlenmektedir. Tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, Almanya’da en yüksek sıcaklık değişimi 2025’de gerçekleşecektir. 2030’a kadar sıcaklık değişimi ise 2,8 olacaktır.

İkinci bölümde verilerle açıklandığı üzere Almanya yenilenemeyen enerji tüketimini 1972’den günümüze %36 azaltmıştır. Ek 7 Tablo 87’de gösterildiği üzere Almanya, G20 ülkeleri içinde ortalama en az metan gazı salınımı yapan ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkede metan gazı salınımı yıllar içinde kademeli olarak azalmıştır. Toplam sera gazı emisyonu ise %37 azalmıştır. Ek 4 Tablo 83’te yer verildiği üzere, 84 milyon nüfusa sahip olan Almanya, G20 ülkeleri arasında en kalabalık 9. ülke konumundadır. Toplam nüfus içindeki kentsel nüfus oranı ise 1972’den günümüze %7 artmıştır.

Almanya’da sıcaklıklar yıllar itibarı ile artmaktadır. Uyguladığı politikalar ile göstergelerdeki iyileştirmeleri sıcaklık değişimine pozitif etki sağlamamaktadır. 2023’te Almanya’daki sıcaklık değişimi ise 2,44 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030’a kadar Almanya’da sıcaklık değişiminin 2,80 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

- Endonezya Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış

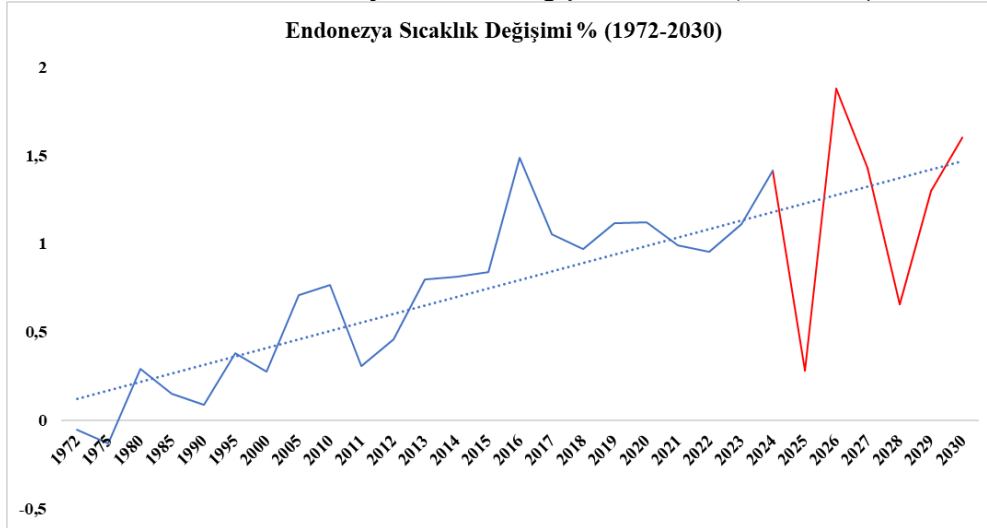
ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 63'de Endonezya için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 63: Endonezya - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	12	8	2	0,91	0,0113
NARX	TrainLM	85-15	9	10	2	0,89	0,0113
NARX	TrainLM	90-10	10	8	2	0,92	0,0080
**NARX	TrainLM	90-10	24	10	2	0,96	0,0023

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 63'te ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,96 olup hedeflenen değer 1'e çok yakındır. MSE değeri ise 0,0023 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 24'te elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Endonezya'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 38'de tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 38: Endonezya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 38'de 1972- 2022 sıcaklık değişim değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar Endonezya'da en yüksek sıcaklık değişiminin olduğu yıl 2016'dır. 2016'da ülkede kişi başı GSYİH bir önceki yıla göre %3,9 ve nüfus bir önceki yıla göre %1 artmıştır. Toplam yenilenemeyen enerji tüketimi ise bir önceki yıla göre aynı seviyede kalmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Endonezya’da sıcaklıktaki değişimin düzenli olarak artacağı gözlemlenmektedir. Tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, Endonezya’da en yüksek sıcaklık değişimi 2026’da gerçekleşecektir. Kyoto Protokolü’nde herhangi bir taahhütte bulunmayan ve karbon vergisi uygulamasına dahil olmayan Endonezya’da, bu varsayımlar altında 2030’a kadar sıcaklık değişimi ortalama 1,60 olacaktır.

Ek 4 Tablo 83’te yer verildiği üzere, 276 milyon nüfusa sahip olan Endonezya, G20 ülkeleri arasında en kalabalık 4. ülke konumundadır. Toplam nüfus içindeki kentsel nüfus oranı ise 1972’den günümüze %226 artmıştır. Ek 7 Tablo 87’de gösterildiği üzere Endonezya, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla metan gazı salınımı yapan 6. ülke konumundadır. Endonezya’da, yenilenemeyen enerji tüketimi 1972’den günümüze %819 artmıştır. Bu doğrultuda ikinci bölümde verilerle açıklandığı üzere, Endonezya’da net sera gazı emisyonları sürekli artmaktadır. 2023’te Endonezya’daki sıcaklık değişimi ise 1,08 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030’a kadar Endonezya’da sıcaklık değişiminin 1,60 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

Ülkedeki büyük miktarda arazi (karbon açısından zengin ormanlar ve turbalıklar) ve enerji kaynakları (fosil yakıtlardan, özellikle de kömürden) emisyon artışının nedenini oluşturmaktadır (World Bank, 2022c: 6). Toprak ve enerji kaynaklarında karbonun düşük fiyatlandırılması, ülke ekonomisinin büyük bir kısmını bu kaynakları kullanmaya teşvik etmektedir.

- Avustralya Örnelemi: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030’a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 64’te Avustralya için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

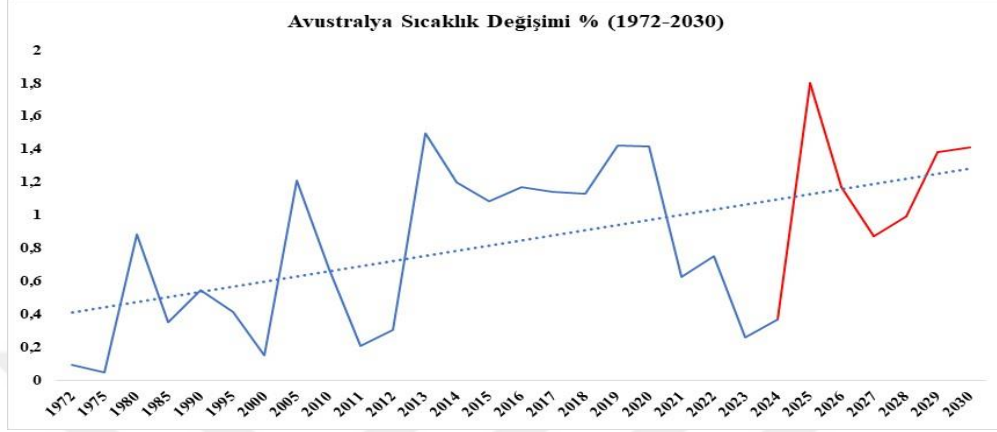
Tablo 64: Avustralya - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	8	8	2	0,86	0,0135
NARX	TrainLM	85-15	9	10	2	0,86	0,0136
**NARX	TrainLM	90-10	16	8	2	0,88	0,0081
NARX	TrainLM	90-10	9	10	2	0,92	0,0077

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 64’te ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90’ı eğitim seti ve %10’u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 8 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak

belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R^2) 0,88 olup hedeflenen değer 1'e yakındır. MSE değeri ise 0,0055 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 13'te elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Avustralya'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 39'da tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 39: Avustralya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 39'da 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar Avustralya'da en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2013'tür. 2013'te ülkede toplam yenilenemeyen enerji tüketimi bir önceki yıla göre %3,7 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Avustralya'da 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin düzenli olarak artacağı gözlemlenmektedir. 2030'a kadar sıcaklık değişimi ise 1,41 olacaktır.

İkinci bölümde açıklandığı üzere Avustralya'nın Kyoto Protokolü'nde %8 emisyon azaltma taahhüdü bulunmaktadır. Ancak Avustralya'da yıllar içerisinde sera gazı emisyonlarının arttığı gözlemlenmektedir. Avustralya'da, yenilenemeyen enerji tüketimi 1972'den günümüze %81 artmıştır. Ek 6'da gösterildiği üzere Avustralya G20 ülkeleri içinde, 1972-2022 yılları arası ortalama kişi başı CO₂ emisyonları en yüksek olan 2. ülke konumundadır. Bu dönem arasında ülkede kişi başı CO₂ emisyonu %31 oranında artmıştır. Toplam nüfusu güncel verilere göre 26 milyon olan Avustralya'da, kentsel nüfus oranı ise %86'dır. Ek 10 Tablo 91'de yer aldığı üzere, ülkede tarımda kimyasal kullanım oranı son 30 yılda %255 artmıştır. İklim değişikliğine neden olan faktörler göz önünde bulundurulduğunda, bu orandaki yükseliş öne çıkmaktadır. 2023'te Avustralya'daki sıcaklık değişimi ise 0,86 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Avustralya'da sıcaklık değişiminin 1,41 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

Karbon vergisi uygulamasına dahil olmayan Avustralya'da son yıllarda iklim değişiminden kaynaklanan sosyoekonomik maliyetler, aşırı sıcaklardan kaynaklanan ölümler ve hastalıklar artmaktadır (IPCC, 2022c: 1583). İklim Değişikliği Performans Endeksi (Climate Change Performance

Index – CCPI) raporları, Avustralya, ulaşımdan kaynaklanan artan emisyonları güncellenmiş yakıt politikalarıyla veya pille çalışan elektrikli araçların satın alınmasına yönelik etkili teşviklerin öne çıkması gerektiği belirtmektedir (Climate Change Performance Index, <https://ccpi.org/> Erişim: 08.02.2024).

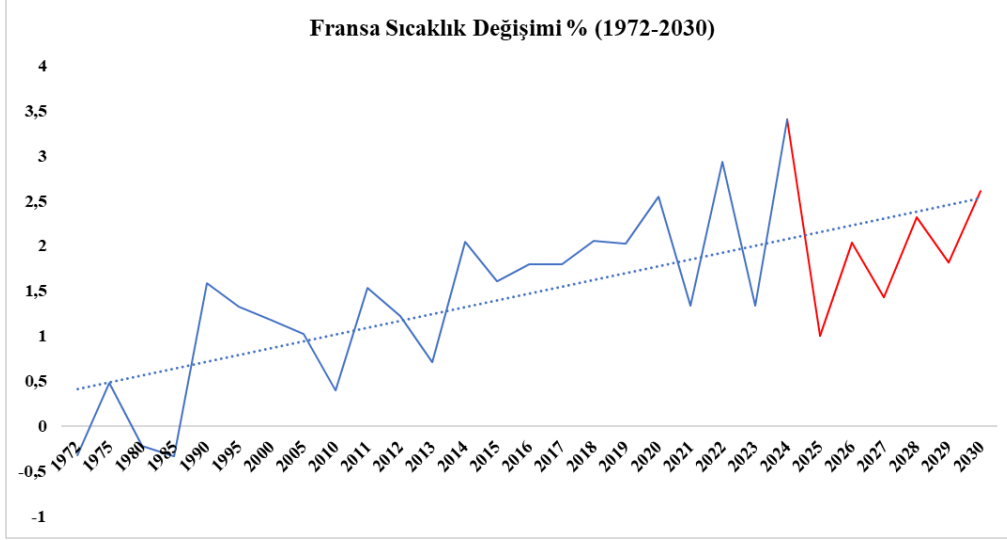
- Fransa Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim-doğrulama ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 65'te Fransa için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 65: Fransa - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	11	8	2	0,90	0,0114
NARX	TrainLM	85-15	8	10	2	0,82	0,0206
NARX	TrainLM	90-10	9	8	2	0,91	0,0109
**NARX	TrainLM	90-10	11	10	2	0,96	0,0022

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 65'te ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,96 olup hedeflenen değer 1'e çok yakındır. MSE değeri ise 0,0022 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 11'de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Fransa'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 40'ta tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 40: Fransa Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 40'ta 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar Fransa'da en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2022'dir. 2022'de ülkede hem toplam yenilenemeyen enerji tüketimi hem de nüfus artışı azalmıştır. NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Fransa'da 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin düzensiz olacağı gözlemlenmektedir. 2030'a kadar sıcaklık değişimi ortalama 2,61 olacaktır.

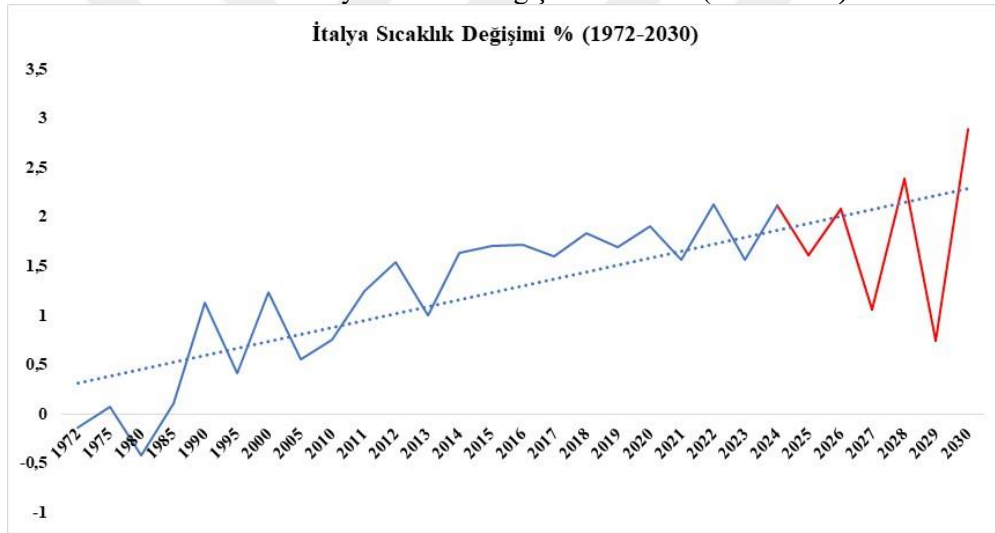
Fransa'nın Kyoto Protokolü'nde %8 emisyon azaltma taahhüdü bulunmaktadır. İkinci bölümde açıklandığı üzere Fransa'da, yenilenemeyen enerji tüketimi 1972'den günümüze %41 azalmış, yenilenebilir enerji tüketimi ise artmıştır. Ek 6'da gösterildiği üzere Fransa G20 ülkeleri içinde, 1972-2022 yılları arası ortalama kişi başı CO₂ emisyonları en fazla olan 12. ülke konumundadır. Kişi başı CO₂ emisyonları 1972'den günümüze %51 azalmıştır. Ek 5'te yer alan Tablo 85 incelendiğinde; Fransa'da ormanlık alanda, yıllar içerisinde ciddi bir artış olması göze çarpmaktadır. Bu doğrultuda Fransa, 1990'dan itibaren sera gazı salınımını kademeli olarak düşürmüştür. 2023'te Fransa'daki sıcaklık değişimi ise 2,59 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Fransa'da sıcaklık değişiminin 2,61 olarak hesaplanması makul bir sonuç olarak kabul edilmektedir.

- İtalya Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 66'da İtalya için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 66: İtalya - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	8	8	2	0,86	0,0185
NARX	TrainLM	85-15	10	10	2	0,91	0,0120
NARX	TrainLM	90-10	11	8	2	0,92	0,0140
**NARX	TrainLM	90-10	9	10	2	0,95	0,0041

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 66’da ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90’ı eğitim setine %10’u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörona oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R^2) 0,95 olup hedeflenen değer 1’e çok yakındır. MSE değeri ise 0,0041 olup hedeflenen değer 0’a yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 9’da elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030’a kadar İtalya’da sıcaklık meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 41’de tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 41: İtalya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)

Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 41’de 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar İtalya’da en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2022’dir. 2022’de ülkede nüfus aynı seviyede kalırken; petrol tüketimi %5, GSYİH 4,12 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; İtalya’da 2030’a kadar sıcaklıktaki değişimin düzensiz olarak artacağı gözlemlenmektedir. Tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, İtalya’da en yüksek sıcaklık değişimi 2030’da gerçekleşecektir. 2030’a kadar sıcaklık değişimi ise ortalama 2,90 olacaktır.

İtalya’nın Kyoto Protokolü’nde %8 emisyon azaltma taahhüdü bulunmaktadır. Ek 6’da gösterildiği üzere İtalya’da kişi başı CO₂ emisyonları, 1972’den günümüze %11 azalmıştır. Ülke

geçmişten günümüze hem metan gazı salınımını hem de azot protoksit gazı salınımını kademeli olarak azalmıştır. Ek 7 ve Ek 9’da gösterildiği üzere İtalya, G20 ülkeleri içinde ortalama en az metan gazı ve azot protoksit gazı salınımı yapan ülkeler arasında yer almaktadır. Ek 5’te yer alan Tablo 85 incelendiğinde; İtalya’da ormanlık alanda, yıllar içerisinde ciddi bir artışın ve tarımda kimyasal kullanımında ciddi bir azalışın olması göze çarpmaktadır. Bu doğrultuda İtalya, sera gazı salınımını günümüze kadar kademeli olarak düşürmüştür. İkinci bölümde açıklandığı üzere İtalya’da, yenilenemeyen enerji tüketimi 1972’den günümüze %10 artmıştır. Enerjide en fazla artış doğalgazda yaşanmıştır.

İtalya’da sıcaklıklar yıllar itibari ile artmaktadır. Uyguladığı politikalar ile göstergelerdeki iyileştirmeleri sıcaklık değişimine pozitif etki sağlamamaktadır. 2023’te İtalya’daki sıcaklık değişimi ise 2,27 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030’a kadar İtalya’da sıcaklık değişiminin 2,90 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

İklim Değişikliği Performans Endeksi (Climate Change Performance Index – CCPI) raporları, İtalya’nın 2025 yılı için kömürün aşamalı olarak kaldırılacağını onaylamasını, daha iddialı yenilenebilir enerji hedeflerine karar vermesini, fosil yakıt altyapısını ve çıkarımını durdurmasını ve tüm fosil yakıt sübvansiyonlarının aşamalı olarak kaldırılmasını talep etmektedir (Climate Change Performance Index, <https://ccpi.org/> Erişim: 08.02.2024).

- İngiltere Örnelemi: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030’a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 67’de İngiltere için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

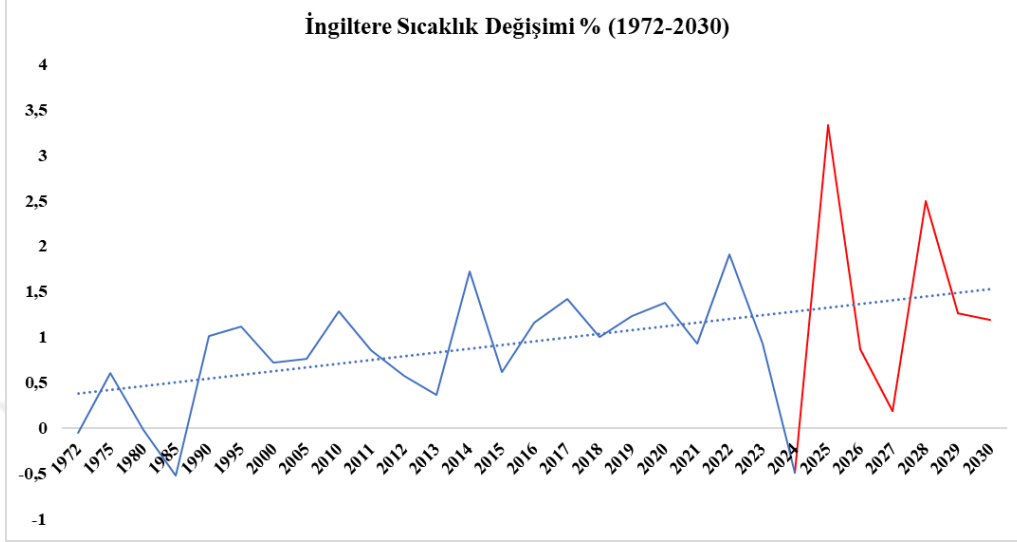
Tablo 67: İngiltere - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	8	8	2	0,87	0,0182
NARX	TrainLM	85-15	8	10	2	0,91	0,0130
**NARX	TrainLM	90-10	11	8	2	0,97	0,0026
NARX	TrainLM	90-10	9	10	2	0,96	0,0035

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 67’de ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90’ı eğitim seti ve %10’u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 8 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,97 olup hedeflenen değer 1’e çok yakındır.

MSE değeri ise 0,0026 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 11'de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar İngiltere'de sıcaklık meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 42'de tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 42: İngiltere Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 42'de 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar İngiltere'de en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2022'dir. 2022'de ülkede hem yenilenemeyen enerji tüketimi hem de kişi başı GSYİH'de azalış yaşanmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; İngiltere'de 2030'a kadar sıcaklıktaki artışın sürekli olacağı gözlemlenmektedir. Tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, İngiltere'de en yüksek sıcaklık değişimi 2025'te gerçekleşecektir. 2030'a kadar sıcaklık değişimi ise ortalama 1,19 olacaktır.

İngiltere'nin Kyoto Protokolü'nde %8 emisyon azaltma taahhüdü bulunmaktadır. İkinci bölümde açıklandığı üzere İngiltere'de, yenilenemeyen enerji tüketimi 1972'den günümüze %41 azalmış, yenilenebilir enerji tüketimi ise artmıştır. Ek 6'da gösterildiği üzere İngiltere'de kişi başı CO₂ emisyonları, 1972'den günümüze %58 azalmıştır. Bu doğrultuda İngiltere, sera gazı salınımını günümüze kadar kademeli olarak düşürmüştür. 2023'te İngiltere'deki sıcaklık değişimi ise 1,48 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar İngiltere'de sıcaklık değişiminin 1,19 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

- Meksika Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller

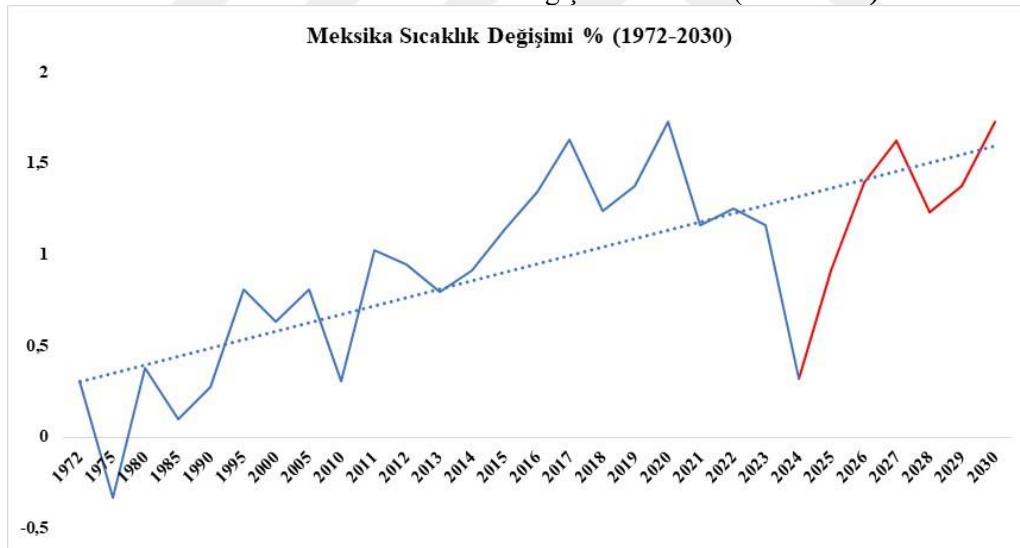
seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 68'de Meksika için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 68: Meksika - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	8	8	2	0,88	0,0167
NARX	TrainLM	85-15	7	10	2	0,84	0,0218
NARX	TrainLM	90-10	10	8	2	0,94	0,0056
**NARX	TrainLM	90-10	13	10	2	0,97	0,0028

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 68'de ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 8 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,97 olup hedeflenen değer 1'e yakındır. MSE değeri ise 0,0028 olup hedeflenen değer 0'a yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 13'te elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Meksika'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 43'te tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 43: Meksika Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 43'te 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar Meksika'da en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2020'dir. 2020'de ülkede nüfus bir önceki yıl göre %1, doğalgaz tüketimi %1, toplam nüfus içindeki kentsel nüfus %1 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Meksika'da 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin sürekli olarak artacağı gözlemlenmektedir. Tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, 2030'da

Meksika’da en yüksek sıcaklık değişimi gerçekleşecektir. Kyoto Protokolü’nde sera gazı azaltım hedefi bulunmayan ve karbon vergisi uygulaması uygulayan Meksika’da, bu varsayımlar altında 2030’a kadar sıcaklık değişimi ortalama 1,73 olacaktır.

İkinci bölümde açıklandığı üzere Meksika’da, yenilenemeyen enerji tüketimi 1972’den günümüze %289 artmıştır. Ek 6’da gösterildiği üzere Meksika’da kişi başı CO₂ emisyonları, 1972’den günümüze %59 artmıştır. Ek 5’te yer alan Tablo 85 incelendiğinde; Meksika’da ormanlık alanda, yıllar içerisinde azalış olduğu gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda Meksika’da, sera gazı salınımı 1972’den günümüze %75 artış göstermiştir. 2023’te Meksika’daki sıcaklık değişimi ise 1,68 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030’a kadar Meksika’da sıcaklık değişiminin 1,73 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

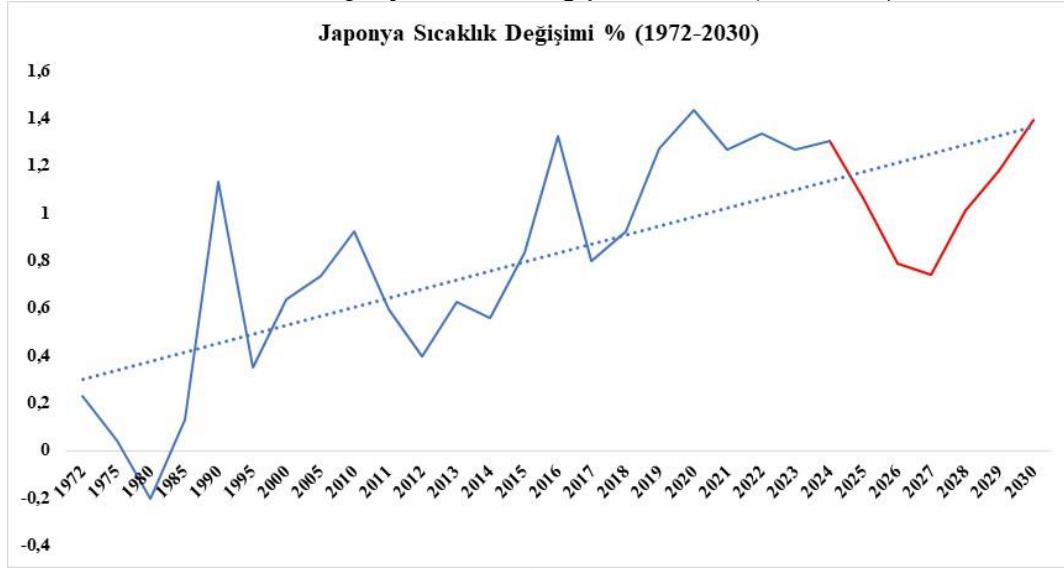
- Japonya Örnelemi: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030’a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 69’da Japonya için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 69: Japonya - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	11	8	2	0,89	0,0146
NARX	TrainLM	80-15	10	10	2	0,90	0,0128
**NARX	TrainLM	90-10	11	8	2	0,96	0,0023
NARX	TrainLM	90-10	8	10	2	0,84	0,0201

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 69’da ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90’ı eğitim seti ve %10’u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 8 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,96 olup hedeflenen değer 1’e çok yakındır. Ortalama hata kare (MSE) değeri ise 0,0023 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 11’de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030’a kadar Japonya’da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 44’te tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 44: Japonya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 44'te 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar Japonya'da en yüksek sıcaklık artışı 2020'de gerçekleşmiştir. 2020'de pandemiden kaynaklı tüm değişkenlerde azalış yaşanmasına rağmen sıcaklıkta meydana gelen artış iklim değişikliği ile ilişkilendirilmektedir.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Japonya'da 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin sürekli olarak artacağı gözlemlenmektedir. Tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, Japonya'da en yüksek sıcaklık değişimi 2030'da gerçekleşecektir. Kyoto Protokolü'nde %6 sera gazı azaltım hedefi bulunan ve karbon vergisi uygulaması uygulayan Japonya'da, bu varsayımlar altında 2030'a kadar ortalama sıcaklık değişimi ise 1,39 olacaktır.

İkinci bölümde açıklandığı üzere Japonya'da, yenilenemeyen enerji tüketimi 1972'den günümüze %35 azalmıştır. Ancak Japonya, G20 ülkeleri içerisinde ortalama en fazla yenilenemeyen enerji kullanan 3. ülke konumundadır. Ek 6'da gösterildiği üzere Japonya'da kişi başı CO₂ emisyonları, 1972'den günümüze %7 artmıştır. Güncel verilere göre 125 milyon nüfusa sahip olan ülkede, nüfusun %92'si kentsel alanda yaşamaktadır. 1972'den günümüze nüfus %117 artmıştır. 2023'te Japonya'daki sıcaklık değişimi ise 1,85 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Japonya'da sıcaklık değişiminin 1,39 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

- Rusya Örnelemi: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller

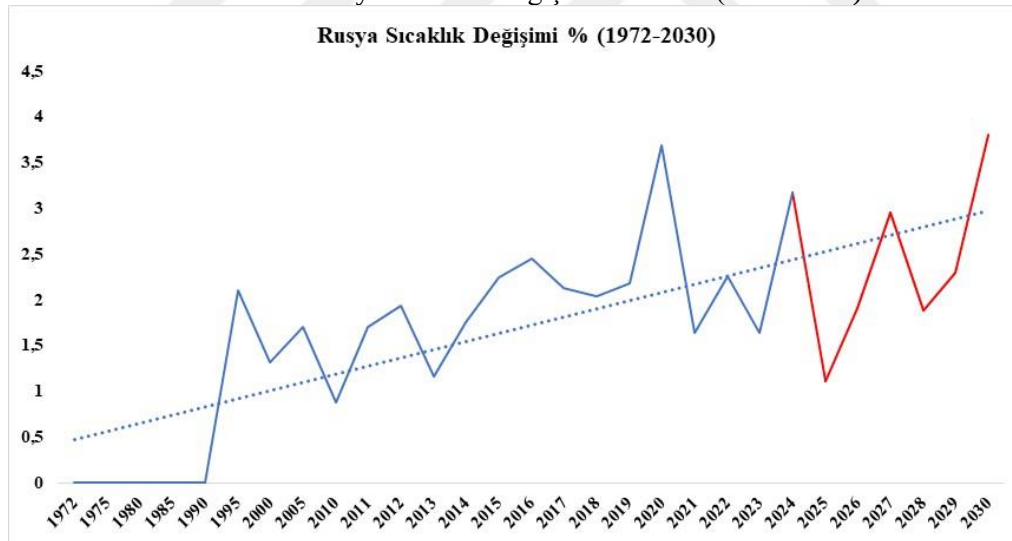
seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1990-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 70'te Rusya için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 70: Rusya - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	8	8	2	0,90	0,0154
NARX	TrainLM	85-15	8	10	2	0,86	0,0180
NARX	TrainLM	90-10	8	8	2	0,90	0,0127
**NARX	TrainLM	90-10	24	10	2	0,99	0,0035

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 70'te ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %80'i eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,99 olup hedeflenen değer 1'e çok yakındır. MSE değeri ise 0,0035 olup hedeflenen değer 0'a yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 24'te elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Rusya'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 45'te tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 45: Rusya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1990-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 45'te 1990- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Günümüze kadar Rusya'da en yüksek sıcaklık artışı 2020'de gerçekleşmiştir. 2020'de pandemiden kaynaklı tüm değişkenlerde azalış yaşanmasına rağmen sıcaklıkta meydana gelen artış iklim değişikliği ile ilişkilendirilmektedir.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Rusya'da 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin sürekli olarak artacağı gözlemlenmektedir. Kyoto Protokolü'nde sera gazı azaltım hedefi bulunmayan

ülkede, tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, en yüksek sıcaklık değişimi 2030'da gerçekleşecektir. 2030'a kadar ortalama sıcaklık değişimi ise 3,81 olacaktır.

Hem yenilenemeyen enerji tüketimi hem de kişi başı CO₂ emisyonu, 1985'ten günümüze azalmasına rağmen Rusya; G20 ülkeleri içerisinde ortalama en fazla yenilenemeyen enerji kullanan 4. ülke konumundadır. Ülkede ağırlıklı olarak petrol ve doğal gaz tüketilmektedir. Yenilenebilir enerji tüketimi ise kısıtlı olup, G20 ülkeleri içinde düşük bir orana sahiptir. Veriler, ülkede kişi başına düşen enerji tüketiminin giderek arttığını göstermektedir. Ek 7 ve Ek 9'da gösterildiği üzere Rusya, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla metan gazı ve azot protoksit gazı salınımı yapan ülkeler arasında yer almaktadır. 2023'te Rusya'daki sıcaklık değişimi ise 2,53 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Rusya'da sıcaklık değişiminin 3,81 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

Mevcut veriler göz önünde bulundurulduğunda, İklim Değişikliği Performans Endeksi (Climate Change Performance Index – CCPI) raporları, Rusya'da devam eden Ukrayna Savaşı nedeniyle, Rusya'nın iklim eylemlerini doğrulamanın zor olduğunu belirtmektedir (Climate Change Performance Index, <https://ccpi.org/> Erişim: 08.02.2024).

- **Güney Kore Örnelemi:** Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 71'de Güney Kore için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

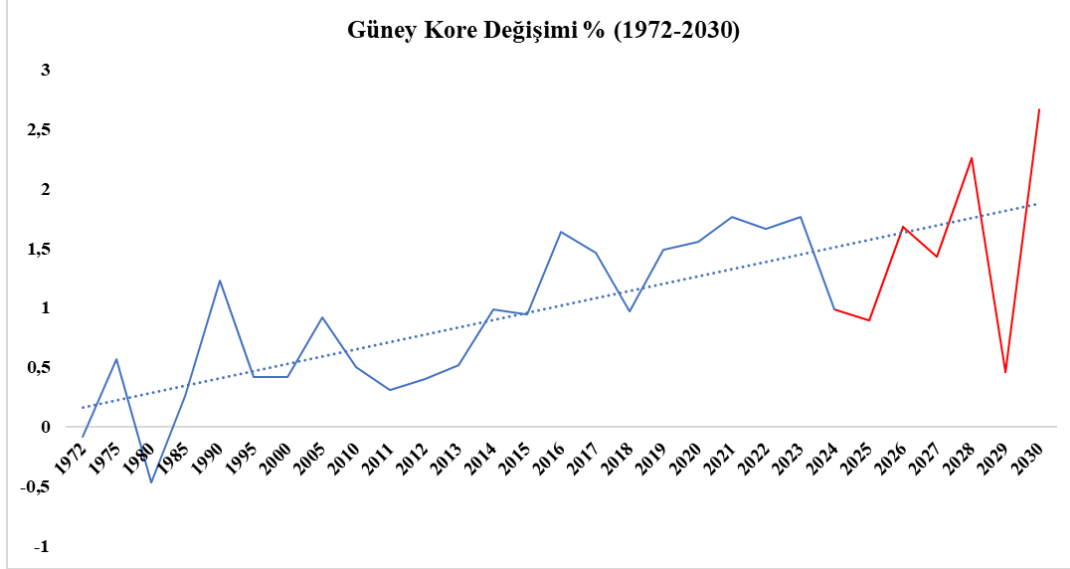
Tablo 71: Güney Kore - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	10	8	2	0,83	0,0205
NARX	TrainLM	85-15	10	10	2	0,83	0,0195
NARX	TrainLM	90-10	12	8	2	0,80	0,0107
**NARX	TrainLM	90-10	11	10	2	0,86	0,0013

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 71'de ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,86 olup hedeflenen değer 1'e yakındır. MSE değeri ise 0,0013 olup hedeflenen değer 0'a yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 11'de

elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Güney Kore'de sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 46'da tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 46: Güney Kore Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 46'da 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Grafik 46 incelendiğinde, Güney Kore'de en yüksek sıcaklık artışının yaşandığı yıl 2021'dir. 2021'de ülkede toplam yenilenemeyen enerji tüketimi bir önceki yıla göre %7 ve CO₂ emisyonu bir önceki yıla göre %2 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Güney Kore'de 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin sürekli olarak pozitif yönde artacağı gözlemlenmektedir. YSA analizine göre son 7 yıl değerlendirildiğinde Güney Kore'de en yüksek artışın 2030'da gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. 2030'a kadar ortalama sıcaklık değişimi ise 2,66 olacaktır.

İkinci bölümde açıklandığı üzere Güney Kore'de yenilenemeyen enerji tüketimi, 1972'den günümüze %1153, kişi başı CO₂ emisyonları ise %177 artmıştır. Ek 5'te yer alan Tablo 85 incelendiğinde; Güney Kore'de ormanlık alanda, yıllar içerisinde azalış olduğu gözlemlenmektedir. Kentsel nüfusun toplam nüfus içindeki payı ise %86 artmıştır. Bu doğrultuda ülkede, sera gazı emisyonları 1972'den günümüze %158 artmıştır. 2023'te Güney Kore'deki sıcaklık değişimi ise 2,03 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Güney Kore'de sıcaklık değişiminin 2,66 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

- Suudi Arabistan Örnelemi: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren

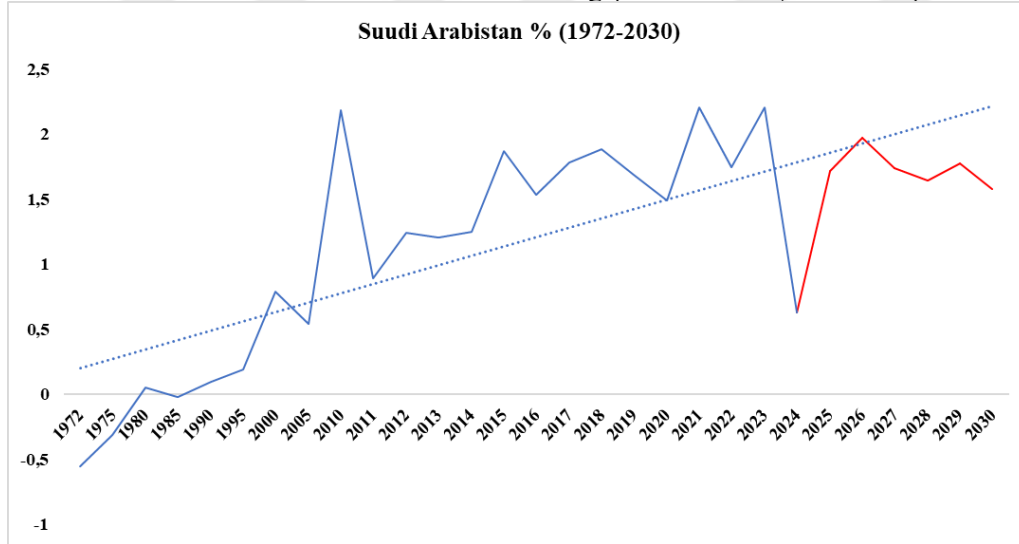
modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 72'de Suudi Arabistan için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 72: Suudi Arabistan - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	12	8	2	0,91	0,0117
NARX	TrainLM	85-15	11	10	2	0,92	0,0091
NARX	TrainLM	90-10	20	8	2	0,91	0,0107
**NARX	TrainLM	90-10	12	10	2	0,98	0,0059

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 72'de ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %80'i eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,98 olup hedeflenen değer 1'e çok yakındır. MSE değeri ise 0,0059 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 12'de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Suudi Arabistan'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 47'de tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 47: Suudi Arabistan Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 47'de 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Grafik 47 incelendiğinde, Suudi Arabistan'da en yüksek sıcaklık artışının yaşandığı yıl 2021'dir. 2021'de ülkede toplam yenilenemeyen enerji tüketimi bir önceki yıla göre %3 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Suudi Arabistan'da 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin sürekli olarak pozitif yönde artacağı gözlemlenmektedir. Kyoto Protokolü'nde sera gazı

azaltım hedefi olmayan Suudi Arabistan'da, YSA analizine göre son 7 yıl değerlendirildiğinde, en yüksek artışın 2026'da gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. 2030'a kadar ortalama sıcaklık değişimi ise 1,57 olacaktır.

Ek 6'da gösterildiği üzere Suudi Arabistan G20 ülkeleri içinde, 1972-2022 yılları arası ortalama kişi başı CO₂ emisyonları en fazla olan 4. ülke konumundadır. Ülkede yenilenemeyen enerji tüketimi 1972'den günümüze %630 artmıştır. Aynı zamanda çalışmanın incelendiği dönem aralığında, kişi başı CO₂ emisyonu en fazla artan ülkeler arasındadır. 2023'te Suudi Arabistan'daki sıcaklık değişimi ise 1,83 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Suudi Arabistan'da sıcaklık değişiminin 1,57 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

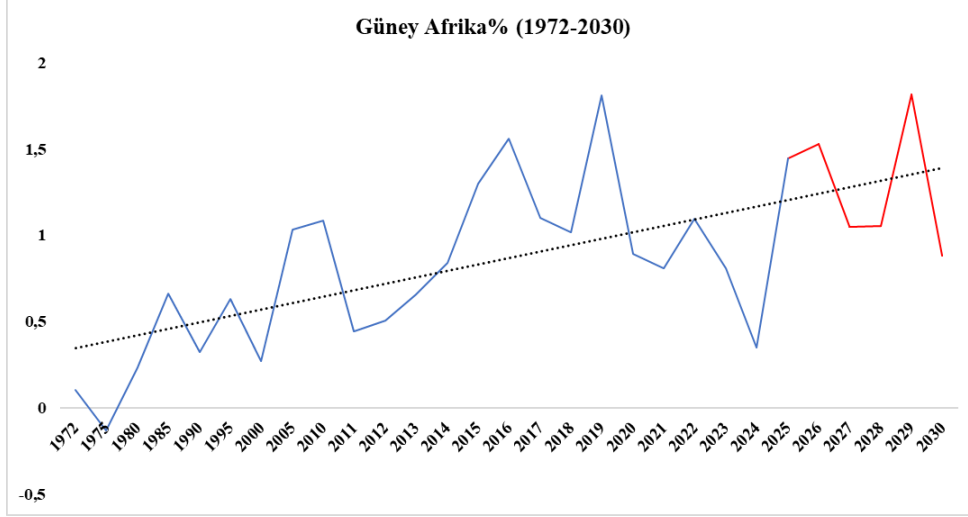
- Güney Afrika Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 73'te Güney Afrika için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 73: Güney Afrika - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	9	8	2	0,83	0,0134
NARX	TrainLM	85-15	6	10	2	0,84	0,0127
NARX	TrainLM	90-10	11	8	2	0,90	0,0085
**NARX	TrainLM	90-10	11	10	2	0,91	0,0017

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 73'te ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,91 olup hedeflenen değer 1'e yakındır. MSE değeri ise 0,0017 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 11'de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Güney Afrika'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 48'de tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 48: Güney Afrika Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 48’de 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Güney Afrika’da en yüksek sıcaklık artışının yaşandığı yıl 2019’dur. 2019’da ülkede toplam yenilenemeyen enerji tüketimi bir önceki yıla göre aynı seviyede kalmış ancak kentsel arazi alanı %1 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz Grafik 48 incelendiğinde; Güney Afrika’da 2030’a kadar sıcaklıktaki değişimin düzensiz olacağı gözlemlenmektedir. Grafik 48 incelendiğinde, Kyoto Protokolü’nde sera gazı azaltım hedefi olmayan Güney Afrika’da, YSA analizine göre son 7 yıl değerlendirildiğinde yüksek artışın 2029’da gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. 2030’a kadar ortalama sıcaklık değişimi ise 0,88 olacaktır.

İkinci bölümde açıklandığı üzere Güney Afrika’da, yenilenemeyen enerji tüketimi 1972’den günümüze %139, kişi başı CO₂ emisyonları ise %135 artmıştır. Kentsel nüfusun toplam nüfus içindeki payı ise %43 artmıştır. 2023’te Güney Afrika’daki sıcaklık değişimi ise 1,12 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030’a kadar Güney Afrika’da sıcaklık değişiminin 0,88 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

Gelişme sürecini tamamlamayan ülkeler arasında olan Güney Afrika’da yüksek düzeyde yoksulluk ve işsizlik bulunmaktadır (World Bank, 2022d: 1). Bu duruma bağlı olarak ülkede ekonomi faaliyetlerinde büyük ölçüde yenilemeyen enerji (özellikle kömür tüketimi) kullanılması, iklim değişikliğinin temel nedeni kabul edilmektedir.

- Amerika Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller

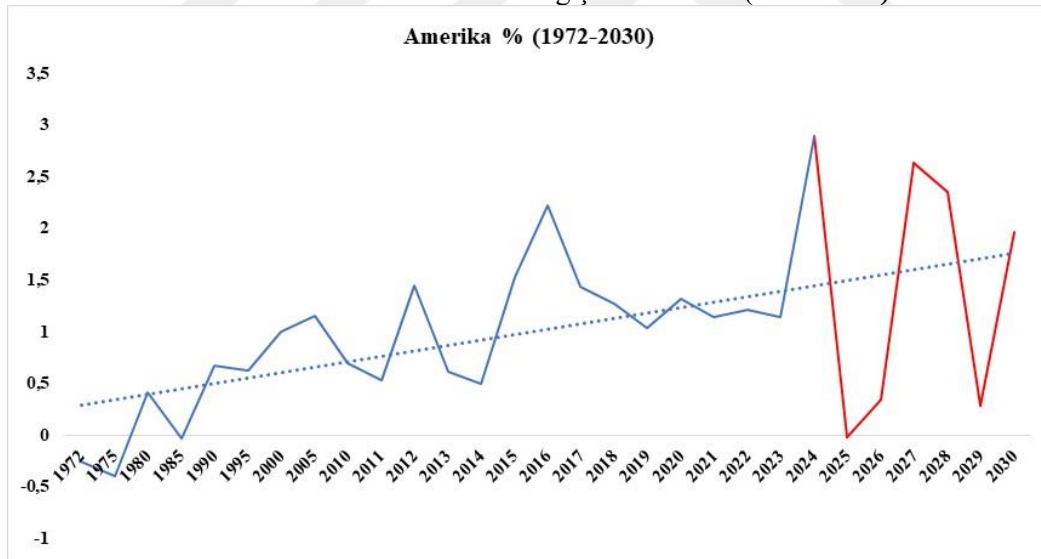
seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 74'te Amerika için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 74: Amerika - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	8	8	2	0,84	0,0138
NARX	TrainLM	85-15	6	10	2	0,89	0,0089
**NARX	TrainLM	90-10	14	8	2	0,96	0,0038
NARX	TrainLM	90-10	11	10	2	0,90	0,0085

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 74'te ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 8 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,96 olup hedeflenen değer 1'e yakındır. MSE değeri ise 0,0038 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 11'de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Amerika'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 49'da tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 49: Amerika Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 49'da 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Grafik 49 incelendiğinde, Amerika'da en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2016'dır. 2016'da ülkede toplam yenilenemeyen enerji tüketimi bir önceki yıla göre %1, nüfus bir önceki yıla göre %1 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Amerika'da 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin düzensiz olacağı gözlemlenmektedir. YSA analizine göre son 7 yıl değerlendirildiğinde, en yüksek

artışın 2027 yılında gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Kyoto Protokolü'nü ret eden Amerika'da, bu varsayımlar altında 2030'a kadar sıcaklık değişimi ortalama 1,97 olacaktır.

İkinci bölümde verilerle açıklandığı üzere Amerika, G20 ülkeleri arasında en fazla sera gazı salınımı yapan ve en fazla yenilenemeyen enerji tüketen 2. ülke konumunda yer almaktadır. Ek 6'da gösterildiği üzere Amerika G20 ülkeleri içinde, 1972-2022 yılları arası ortalama kişi başı CO₂ emisyonları en fazla olan ülke konumundadır. Ek 7'de yer alan Tablo 87'de gösterildiği üzere Amerika, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla metan gazı salınımı yapan 2. ülke konumundadır. Ülkede metan gazı salınımı sürekli olarak artmaktadır. Ek 9 Tablo 90'da gösterildiği üzere Amerika, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla azot protoksit gazı salınımı yapan 2. ülke konumundadır. Ülkede azot protoksit gazı salınımı yıllar içinde sürekli artmaktadır. Güncel verilere göre 333 milyon nüfusa sahip ülkede, kentsel nüfusun toplam nüfusa oranı %83'tür. Ek 10 Tablo 91'de yer aldığı üzere ABD G20 ülkeleri arasında, son 30 yılda ortalama tarımda kimyasal kullanan 1. ülke konumunda yer almaktadır. 2023'te Amerika'daki sıcaklık değişimi ise 1,21 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Amerika'da sıcaklık değişiminin 1,97 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

Sanayileşmiş ülkelerin başında gelen Amerika'nın; mevcut yenilenemeyen enerji tüketim oranı, nüfusu, ekonomik faaliyetleri, kentleşme oranı göz önünde bulundurulduğunda, global iklim değişikliğine en çok negatif etki eden ülkelerden biri olduğu ön plana çıkarmaktadır. Bu nedenle Amerika'nın izlediği politikalar, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynamaktadır.

- Kanada Örnelemi: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 75'te Kanada için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

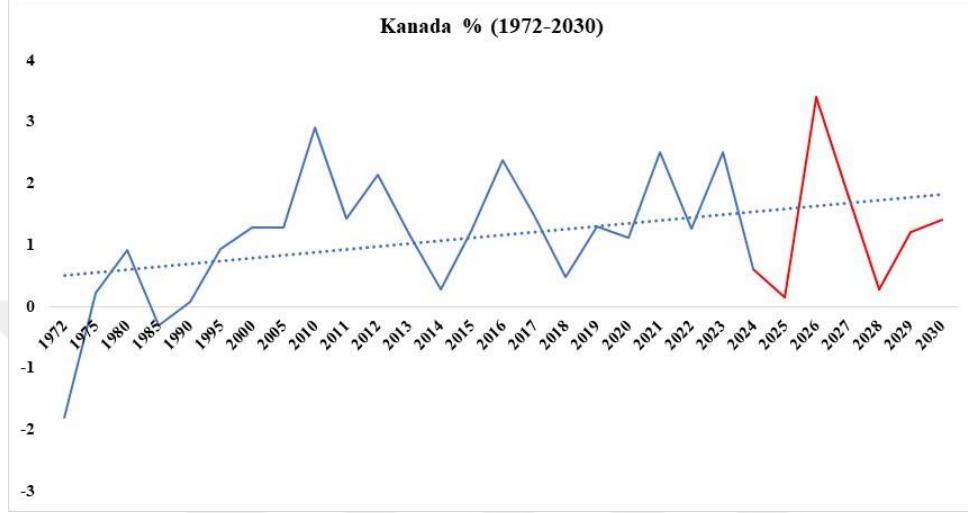
Tablo 75: Kanada - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	11	8	2	0,80	0,0120
NARX	TrainLM	85-15	9	10	2	0,88	0,0099
**NARX	TrainLM	90-10	10	8	2	0,95	0,0031
NARX	TrainLM	90-10	11	10	2	0,91	0,0055

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 75'te ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim seti

ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 8 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R^2) 0,95 olup hedeflenen değer 1'e yakındır. MSE değeri ise 0,0031 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 10'da elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Kanada'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 50'de tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 50: Kanada Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 50'de 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Grafik 50 incelendiğinde, Kanada'da en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2010'dur. 2010'da ülkede toplam yenilenemeyen enerji tüketimi bir önceki yıla göre %3, kişi başı GSYİH bir önceki yıla göre %5 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Kanada'da 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin düzensiz olacağı gözlemlenmektedir. Tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, 2026'da en yüksek sıcaklık değişimi gerçekleşecektir. Kyoto Protokolü'nde sera gazı emisyonunu %6 azaltma taahhüdü bulunan ve karbon vergisi uygulayan Kanada'da, 2030'a kadar sıcaklık değişimi ise 1,42 olacaktır.

İkinci bölümde verilerle açıklandığı üzere Kanada, G20 ülkeleri içerisinde, son 50 yılda ortalama en fazla sera gazı salınımı yapan 9. ülke konumunda yer almaktadır. Ek 6'da gösterildiği üzere Kanada G20 ülkeleri içinde, 1972-2022 yılları arası ortalama kişi başı CO₂ emisyonları en fazla olan 3. ülke konumundadır. Ek 7'de yer alan Tablo 87'de gösterildiği üzere Kanada, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla metan gazı salınımı yapan 9. ülke konumundadır. Ülkede metan gazı salınımı sürekli olarak artmaktadır. Ek 10 Tablo 91'de yer aldığı üzere, ülkede tarımda kimyasal kullanım oranı son 30 yılda %214 artmıştır. 2023'te Kanada'daki sıcaklık değişimi ise 2,36 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Kanada'da sıcaklık değişiminin 1,42 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

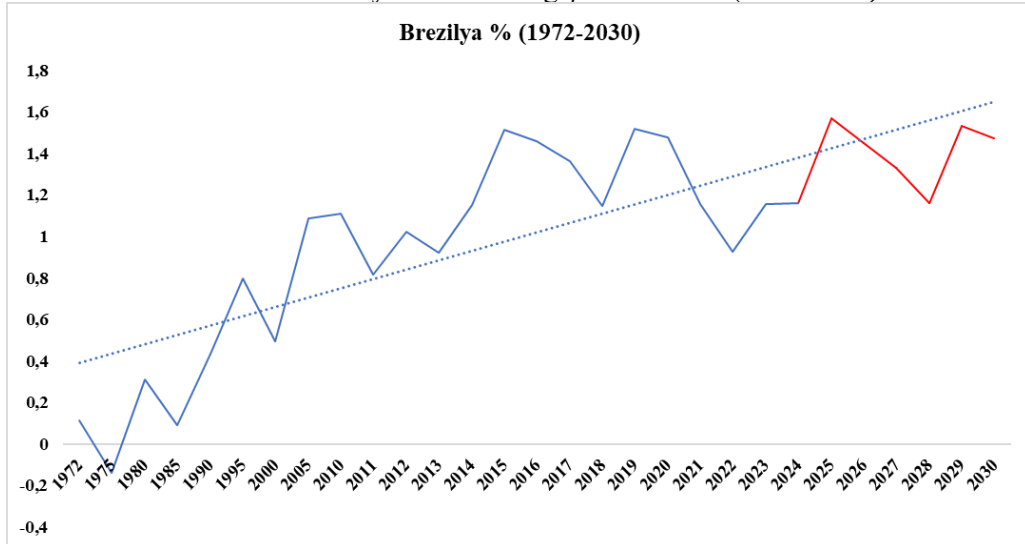
- Brezilya Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 76'da Brezilya için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 76: Brezilya - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	8	8	2	0,91	0,0129
NARX	TrainLM	85-15	8	10	2	0,95	0,0086
NARX	TrainLM	90-10	9	8	2	0,89	0,0192
**NARX	TrainLM	90-10	12	10	2	0,97	0,0034

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 76'da ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim seti ve %10'u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,97 olup hedeflenen değer 1'e çok yakındır. MSE değeri ise 0,0034 olup hedeflenen değer 0'a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 12'de elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030'a kadar Brezilya'da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 51'de tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 51: Brezilya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 51'de 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Grafik 51 incelendiğinde, Brezilya'da en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2019'dur. 2019'da ülkede toplam yenilenemeyen enerji tüketimi

bir önceki yıla göre aynı seviyede kalırken, kişi başı GSYİH bir önceki yıla göre %0,5, nüfus bir önceki yıla göre %1 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Brezilya'da 2030'a kadar sıcaklıktaki değişimin düzensiz olacağı gözlemlenmektedir. Tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, 2029'da Brezilya'da en yüksek sıcaklık değişimi gerçekleşecektir. Kyoto Protokolü'nde sera gazı azaltım taahhüdü verilemeyen ve karbon vergisi uygulamasına dahil olmayan Brezilya'da, 2030'a kadar ortalama sıcaklık değişimi ise 1,47 olacaktır.

İkinci bölümde verilerle açıklandığı üzere Brezilya G20 ülkeleri içerisinde, son 50 yılda ortalama en fazla sera gazı salınımı yapan 6. ülke konumunda yer almaktadır. Ek 7 Tablo 87'de gösterildiği üzere Brezilya, G20 ülkeleri içinde ortalama en fazla metan gazı salınımı yapan 5. Ülke konumundadır. Ülkede metan gazı salınımı sürekli olarak artmaktadır. Ek 4 Tablo 83'te yer verildiği üzere, 215 milyon nüfusa sahip olan Brezilya, G20 ülkeleri arasında en kalabalık 5. ülke konumundadır. Ek 5'te yer alan Tablo 85 incelendiğinde; yıllar içerisinde Brezilya'da ormanlık alanda ciddi bir azalış olduğu gözlemlenmektedir. Ek 10 Tablo 91'de yer aldığı üzere, ülkede tarımda kimyasal kullanım oranı son 30 yılda %1307 artmıştır. İklim değişikliğine neden olan faktörler göz önünde bulundurulduğunda, bu orandaki yükseliş öne çıkmaktadır. 2023'te Brezilya'daki sıcaklık değişimi ise 1,65 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Brezilya'da sıcaklık değişiminin 1,47 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

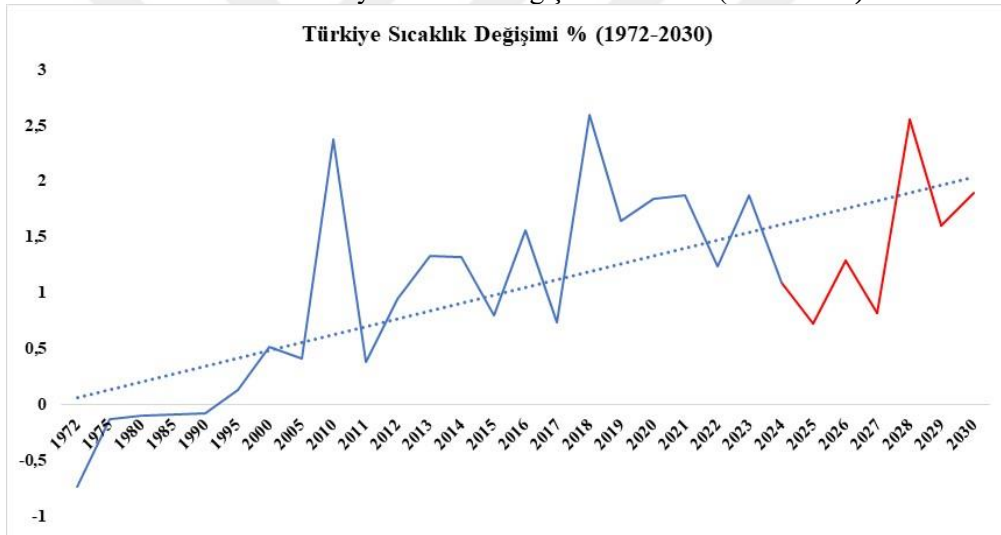
Ülkede ağırlıklı olarak yenilenemeyen enerji tüketilmesi, nüfusun yoğun olması sera gazı emisyonuna neden olan etmenlerdir. Orman kaybı büyük ölçüde ülkenin geçim kaynağı olan tarıma dayanmaktadır. Tarımsal arazilerin artması ve yanlış arazi kullanımı, iklim değişikliğini olumsuz etkileyen bir diğer faktördür. Gelişmekte olan ülkelerden biri olan Brezilya'da, iklim değişikliği ülkenin ekonomik büyümesi ve devam eden sosyal gelişimi için önemli bir tehdit unsuru oluşturmaktadır. Aşırı sıcaklıklar, yükselen denizlerin yanı sıra ülke genelinde önemli su kıtlığı ve şiddetli yağışların yaşandığı farklı bölgelerdeki karmaşık zorluklar, savunmasız gruplar, kentsel altyapı, ekonomi ve ülkenin ekosistemleri üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır (World Bank, 2021: 4).

- Türkiye Örnelemi: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test-eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 77'de Türkiye için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 77: Türkiye - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	85-15	10	8	2	0,89	0,0124
NARX	TrainLM	85-15	9	10	2	0,87	0,0122
NARX	TrainLM	90-10	26	8	2	0,93	0,0054
**NARX	TrainLM	90-10	10	10	2	0,98	0,0016

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 77’de ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90’ı eğitim seti ve %10’u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 10 nöronlu olmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R²) 0,98 olup hedeflenen değer 1’e çok yakındır. MSE değeri ise 0,0016 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 10’da elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030’a kadar Türkiye’de sıcaklık meydana gelecek değişim NARX ile tahmine edilmiştir. Grafik 52’de tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 52: Türkiye Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)

Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 52’de 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. Türkiye’de en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2018’dir. 2018’de ülkede toplam yenilenemeyen enerji tüketimi bir önceki yıla göre %2, kişi başı GSYİH bir önceki yıla göre %2 nüfus bir önceki yıla göre %1 artmıştır.

NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; Türkiye’de 2030’a kadar sıcaklıktaki değişimin düzensiz olacağı tahmin edilmektedir. YSA ile tahmin edilen 7 yıl değerlendirildiğinde, 2029’da Türkiye’de en yüksek sıcaklık değişimi gerçekleşecektir. Kyoto Protokolü’nde sera gazı azaltım taahhüdü verilemeyen ve karbon vergisi uygulamasına dahil olmayan Türkiye’de, bu varsayımlar altında YSA analizine göre 2030’a kadar sıcaklık değişimi ise 1,9 olacaktır.

Ek 7 ve Ek 9'da gösterildiği üzere Türkiye'de, metan gazı ve azot protoksit salınımı geçmişten günümüze sürekli olarak artmaktadır. Ek 6'da gösterildiği üzere Türkiye'de 1972'den günümüze kişi başı CO₂ emisyonları %233 artmıştır. Ek 4 Tablo 83'te yer verildiği üzere, 85 milyon nüfusa sahip olan Türkiye, G20 ülkeleri arasında en kalabalık 10. ülke konumundadır. Bu doğrultuda ülkede sera gazı emisyonu sürekli olarak artmıştır. Ek 10 Tablo 91'de yer aldığı üzere, ülkede tarımda kimyasal kullanım oranı son 30 yılda %77 artmıştır. 2023'te Türkiye'deki sıcaklık değişimi ise 2,06 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Türkiye'de sıcaklık değişiminin 1,90 olarak hesaplanması makul görülmektedir.

Türkiye'de iklim değişikliğinin etkileri son yıllarda etkisini sıkça göstermektedir. Sel, sıcak hava dalgaları, kuraklık, kontrol edilemeyen yangınlar, heyelanlar ve ekstrem fırtına olayları ülkeyi artan sıklıkta ve yoğunlukta etkilemiştir (World Bank, 2022b: 7). Türkiye, Ekim 2021'de Paris İklim Anlaşması'nı onaylamış ve 2053 yılına kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşma taahhüdü vermiştir. Karbon vergi uygulaması olmayan ülkede, mevcut veriler değerlendirildiğinde, gerekli aksiyonlar alınmadığı sürece iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin devam edeceği düşünülmektedir.

Çalışmada G20 ülkelerinin her biri için YSA ile sıcaklıktaki değişim tahmin edildikten sonra, küresel düzeyde sıcaklıkta meydana gelecek değişim tespit edilmeye çalışılmıştır. Dünya için 1972-2022 yıllarını kapsayan yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bağımlı değişken sıcaklıktaki değişim, bağımsız değişkenler ise; kişi başı GSYİH, nüfus, kişi başı yenileyemeyen enerji tüketimi, kentsel alan, kişi başı CO₂ emisyonu ve GSYİH içinde ticaretin hacmi olarak belirlenmiştir. Analizde önce veri seti normalize edilmiş, analizden sonra tahmin edilen değerler için denormalizasyon işlemi yapılmıştır.

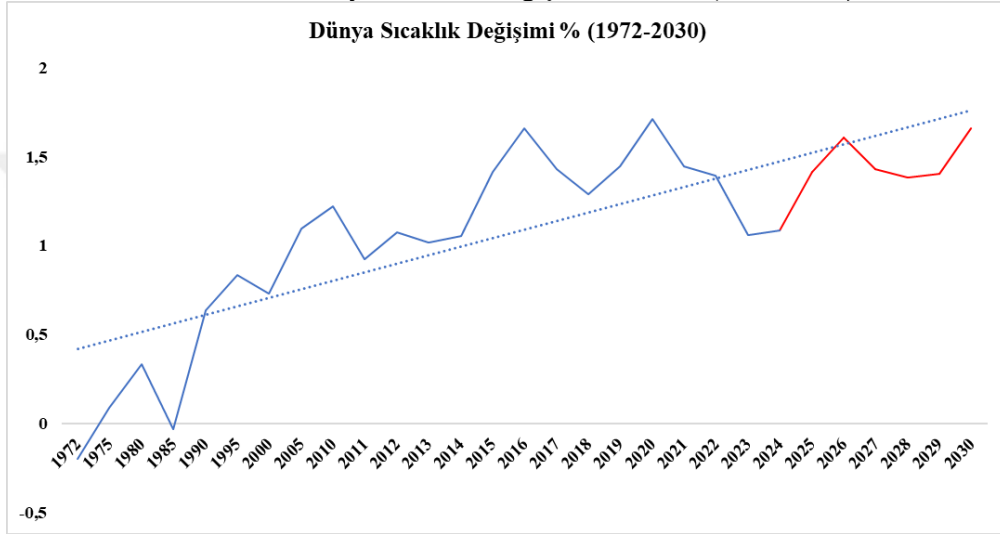
- Dünya Örnekleme: Uygulamada NARX tahmin modelleri için gecikme sayısı, gizli katman sayısı, veri setinin test ve eğitim ayrılması (split), eğitim algoritmaları farklı kombinasyon ile hesaplanmış ve değerlendirilerek oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için eğitim, belirlenen hata hedefine ulaşıldığına kadar devam etmiştir. Sonuçta en yüksek eğitim ve test performansını veren modeller seçilmiştir. Modelde veri setinin oluşturulması bölümünde açıklanan, 1972-2022 dönemlerine ait veriler kullanılarak 2030'a kadar sıcaklık değişiminin nasıl olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 78'de Dünya için farklı özelliklerin seçilerek oluşturulan kombinasyonların analiz sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 78: Dünya - NARX Modeli Performans Sonuçları

Model	Öğrenme Algoritması	Split	Epoch	Hidden Layer	Delay Layer	R ²	MSE
NARX	TrainLM	70-15-15	9	8	2	0,95	0,0061
NARX	TrainLM	70-15-15	9	10	2	0,94	0,0073
NARX	TrainLM	80-10-10	8	8	2	0,93	0,0083
**NARX	TrainLM	80-10-10	9	10	2	0,96	0,0050

Birden fazla özellik seçilerek oluşturulan kombinasyonlarının test edildiği analizde, Tablo 78’de ** ile gösterilen anlamlılığı en yüksek model ile analize devam edilmiştir. Veri setinin %90’ı eğitim seti ve %10’u test seti olarak ayrılmıştır. Gizli katman 9 nörondan oluşmaktadır ve gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin belirlilik katsayısı (R^2) 96 olup hedeflenen değer 1’e çok yakındır. Ortalama hata kare (MSE) değeri ise 0,0050 olup hedeflenen değer 0’a çok yakındır. En iyi doğrulama performansının epoch 9’da elde edildiği görülmektedir. Yapılan seçimler sonrası 2030’a kadar Dünya’da sıcaklıkta meydana gelecek değişim NARX ile tahmin edilmiştir. Grafik 53’te tahmin sonuçları yer almaktadır.

Grafik 53: Dünya Sıcaklık Değişimi Tahmini (1972-2030)



Kaynak: YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar grafik hâline getirilmiştir.

Grafik 53’te 1972- 2022 sıcaklık değişimi değerleri gerçek veriler olup, 2023-2030 arası veriler NARX model ile hesaplanan tahmin değerlerini göstermektedir. NARX ile tahmin edilen analiz incelendiğinde; dünyada 2030’a kadar sıcaklıktaki değişimin düzenli olarak artacağı gözlemlenmektedir. Grafik 53 incelendiğinde, dünyada en yüksek sıcaklık artışının olduğu yıl 2020’dir. 2020’de dünyada pandemiden kaynaklı ekonomik faaliyetlerin düşmesi, CO₂ emisyonlarının azalmasını sağlamasına rağmen sıcaklığın yine de arttığı gözlemlenmektedir. YSA ile analiz edilen tahmin sonuçlarına göre dünyada, 2030’a kadar ortalama sıcaklık değişimi 1,66 santigrat derece olacaktır.

İkinci ve Ek bölümünde yer alan verilerle açıklandığı üzere; dünyada 1972’den günümüze, iklim değişikliğine yol açan tüm faktörlerde artış yaşanmıştır. 1972’den günümüze yenilenemeyen enerji tüketimi %73, atmosferde metan gazı %24, azot protoksit %33, kişi başı CO₂ emisyonu %7 artmıştır. Toplam nüfus %107 artarken, toplam nüfus içindeki kentsel nüfus oranı %54 artmıştır. En nihayetinde net sera gazı emisyonu ise %75,6 artmıştır. Bununla birlikte dünyada, iklim değişikliği nedeniyle meydana gelen doğal afetlerde hayatını kaybeden insan sayısı %299 artarken, diğer canlı türlerindeki kayıpların daha fazla olduğu düşünülmekte ancak resmî bir kayıt bulunmamaktadır. 2023’te dünyadaki sıcaklık değişimi ise 1,77 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, YSA

tahmin sonucuna göre, 2030'a kadar Dünyadaki sıcaklık değişiminin 1,66 olarak hesaplanması makul görülmektedir. Özet olarak değerlendirildiğinde, dünya için tahmin edilen değerin BM hedefinin 1,5 santigrat derece hedefinin üzerinde bulunulması, son yayınlanan BM raporlarını destekleyici niteliktedir.

Çalışmada her bir ülke için YSA analizi ile tahmin edilen, 2030'a kadar ortalama sıcaklık değişimi ve analizde kullanılan değişkenlerin özeti Tablo 79'da gösterilmektedir.

Tablo 79: Özet Yapay Sinir Ağları Analizi

Ülke	R2	2030 Sıcaklık Değişimi	Kişi Başı CO2/ton	Nüfus (milyon)	Kişi Başı GSYİH Artışı (%)	Yenilenemeyen Enerji Tüketimi (Exjalous)	Kentsel Nüfus %	Karbon Vergisi
Rusya	0,97	3,81	9,36	143	%1,1	22,89	%72	0
İtalya	0,95	2,90	5,94	58	%1,6	6,52	%68	0
Almanya	0,87	2,80	9,85	81	%1,5	13,91	%75	0
G. Kore	0,93	2,66	8,44	45	%4,1	7,18	%72	1
Fransa	0,95	2,61	5,54	61	%1,3	9,34	%77	0
Amerika	0,97	1,97	17,10	278	%1,6	85,59	%78	0
Türkiye	0,94	1,9	3,34	63	%4,2	3,54	%62	0
Çin	0,96	1,86	4,78	1.205	%6,5	72,73	%39	1
Meksika	0,95	1,73	3,17	96	%1,1	5,71	%73	1
Endonezya	0,95	1,60	1,49	209	%3,8	4,33	%40	0
S. Arabistan	0,96	1,57	11,84	22	%0,7	5,95	%76	0
Brezilya	0,98	1,47	1,81	168	%1,7	8,23	%77	0
Avustralya	0,94	1,41	15,14	20	%1,5	4,41	%85	0
Kanada	0,96	1,41	15,12	31	%0,9	11,94	%79	1
Japonya	0,97	1,39	8,34	122	%2,1	18,24	%83	1
Arjantin	0,95	1,31	3,52	36	%-0,2	2,52	%88	1
İngiltere	0,98	1,19	7,40	61	%1,3	8,56	%80	1
G. Afrika	0,98	0,88	7,17	44	%0,1	3,93	%57	1
Hindistan	0,95	0,76	1,11	1.040	%4,1	16,87	%28	0
Dünya	0,96	1,66	4,30	6.074	%1,7	418,42	%47	

Not: Gerçekleşen değerler analizde kullanılan verilerin 1972-2022 ortalama göstergesidir.

Özet YSA analizinin sonuçlarının yer verildiği Tablo 79 incelendiğinde, modelin bağımsız değişkenleri ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin gücünü açıklayan R² değerlerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Tahmin edilen sıcaklık değişimi değerlendirildiğinde; tüm ülkelerde ve dünyada 2030'a kadar ortalama sıcaklığın artacağı gözlemlenmektedir. En yüksek ortalama sıcaklık değişiminin sırasıyla; Rusya, İtalya, Almanya, Güney Kore ve Fransa'da meydana geleceği tahmin edilmektedir. G20 ülkeleri için tahmin edilen 2030 sıcaklık değişiminin ortalaması; 1,85 santigrat derecedir. Dünyadaki ortalama sıcaklık değişiminin ise 1,66 santigrat derece olması beklenmektedir. G20 ülkeleri için tahmin edilen sıcaklık değişiminin, dünya için tahminlenen ortalama değerden yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

Özetle değerlendirildiğinde; IPCC'nin yayınladığı güncel İklim Değişikliği Raporu'na göre, bu çalışmada tahmin edildiği gibi, sıcaklık 2030'da 1,5 santigrat derece hedefini aşacaktır (IPCC, 2023: 10). Yayınlanan son rapor, sera gazı azaltımına devam edilse bile, sıcaklıkta eşik değerin artık aşıldığı

yönündedir. Bugüne kadar alınan önlemlerin yetersiz kaldığı, radikal kararların alınması gerekliliği vurgulanmaktadır. Çünkü iklim değişikliğinin bugüne kadar etkileri göz önünde bulundurulduğunda; iklim değişikliğinin artık çevresel bir sorun olmaktan çıkıp, küresel düzeyde sosyo-politik sorun olarak kabul edilmesi gerekliliğini öne çıkarmaktadır. Özellikle sanayileşmiş ülkelerin, kendi ekonomik faaliyetlerindeki büyüklük hacmine bağlı olarak yaydıkları sera gazları, tüm atmosfere dağılmaktadır. Bununla birlikte gelişmekte olan ülkelerin, kalkınma süreçlerinde kaçınılmaz olarak temiz olmayan enerji kullanmaları bir diğer temel sorundur. Her ülkenin kalkınma sürecinde, çevreyi ve gelecek nesilleri gözeterek, ortak sorumluluk ilkesi çerçevesinde, uyumlu politikalar üretmesi gerekmektedir.



SONUÇ

İnsanlık tarihi boyunca sürüp giden doğal bir olgu olmasına karşın iklim değişikliği, Sanayi Devrimi'nden bu yana, insan faaliyetlerinden kaynaklanan bir sorun hâline gelmiştir. Sanayileşme süreci ile hızlanan; fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımındaki değişiklikler, şehirleşme, ormansızlaşma gibi çeşitli insan faaliyetleri, iklim değişikliğinin temel nedeni olan, atmosferde bulunan sera gazı emisyonlarını artırmaktadır. İklim değişikliği, bilim insanları, akademisyenler, politika yapımcılarının büyük bir kısmının 21. yüzyılda doğa ve insanlığın karşı karşıya olduğu “en büyük tehdit” olarak görülmektedir. İklim değişikliği çölleşmeye, biyolojik çeşitlilik kaybına, gıda güvensizliğine, su kıtlığına, çevre kirliliği ile birlikte insan sağlığının bozulmasına ve genel toplumsal güvensizliğe yol açarak gelecek nesillerin de hayatını etkileyen bir dizi soruna neden olmaktadır. İklim koşulları değiştikçe aşırı sıcaklar, fırtınalar, seller, kuraklıklar ve kontrol edilemeyen yangınlar gibi iklim olayları ve doğal afetler daha sık ve yoğunlaşarak gerçekleşmektedir. Çevre sorunlarının yanı sıra özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki sosyo-ekonomik yükleri artırmakta, devam eden sosyal eşitsizlikleri daha da kötüleştirmektedir.

Aynı zamanda iklim değişikliğine neden olan sera gazı salınımı faaliyeti nerede gerçekleşirse gerçekleşsin, hızlıca atmosfere yayılmakta ve küreseli etkilemektedir. İklim değişikliğinin etkileri ve bu etkilerin dönüşünün kolay olmayışı ve/veya olmayışı, uluslararası çapta iş birliğini zorunlu kılmaktadır. Bu alanda yapılan ilk uluslararası iş birliği 1972 BM Stockholm Konferansı olup, günümüze kadar düzenli olarak iklim değişikliği zirveleri devam etmektedir.

İklim değişikliğinin doğal ekosistemler üzerindeki etkileri, açıklandığı üzere oldukça karmaşık ve yıkıcıdır. Bu nedenle bilim insanları, akademisyenler, politika yapımcıları bu etkilerin nerede, ne zaman ve hangi büyüklükte meydana geleceğini tahmin etmek için çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Paris İklim Anlaşması ile taahhüt edilen ve İklim Değişikliği Paneli tarafından tanımlanan küresel ısınmanın, çevresel sürdürülebilirliği sürdürmek için sanayi öncesi ısınma seviyesinin 1,5 santigrat derece üzerinde sabitlenmesi gerektiği konusunda fikir birliği bulunmaktadır. Bu hususta belirlenen hedefin gerçekleşmesi için politikalar üretilmekte ve ülkelerin bu konuda iş birliği yapması beklenmektedir.

Çalışma boyunca verilerle açıklandığı üzere, G20 ülkeleri küresel kaynak kullanımının yaklaşık %75'inden ve küresel sera gazı emisyonlarının %80'inden sorumludur. Küresel ekonominin yaklaşık %84'ünü kontrol eden G20 ülkeleri, kalkınma ve büyümenin itici gücü kabul edilmektedir. Bununla birlikte, G20 ülkelerindeki çeşitlilik ve farklı kalkınma yolları; sürdürülemez üretim ve tüketim kalıpları, dünyanın karşı karşıya olduğu çevre sorunlarının çoğundan da büyük ölçüde sorumlu olmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Dolayısıyla G20 ülkelerinin, ekonomik faaliyetlerde kullandığı enerji, kimyasal, yöntemler ve diğer unsurlar küresel iklim değişikliğinde kilit bir rol oynamaktadır. Bu

nedenlerle bu çalışmada G20 ülkeleri örneklem olarak incelenmiş ve BM'nin Paris İklim Anlaşması'nda mutabık kaldığı, 2030 sıcaklık değişim hedefine ulaşılabilirliği G20 özelinde test edilmiştir.

Çalışmada, iklim değişikliğinin çıktısı kabul edilen sıcaklıkta meydana gelecek değişimin 2030'daki seyri G20 ülkeleri için, son dönemlerde iklim değişikliği tespitinde sıkça tercih edilen Yapay Sinir Ağları modeli ile analiz edilmiştir. Başlangıçta analizde kullanılması düşünülen 1 bağımlı değişken ve 10 bağımsız değişken için önce regresyon analizi yapılmıştır. Ancak modelin anlamlılığını azaltan arazi örtüsü değiştirme değişkeni modelden çıkarılmıştır. Finalde modelin bağımlı (çıktı) değişkeni; iklim değişikliği göstergesi olan sıcaklıktaki değişimdir. Modelin bağımsız (girdi) değişkenleri ise; kişi başı CO₂, nüfus, GSYİH değişimi, petrol tüketimi, kömür tüketimi, doğalgaz tüketimi, nükleer enerji tüketimi, karbon vergisi uygulaması ve kentsel nüfustur. Çalışmada her bir ülke için 9 girdi değişkeni (459 değişken) ve 1 çıktı (51 değişken) değişkeni, toplamda 510 değişken kullanılmıştır. Çalışmada iklim değişikliği ile ilgili yapılan uluslararası organizasyonlar referans alınarak, analizin 1972-2030 dönemlerini kapsamı kararlaştırılmıştır. 1972-2022 gerçekleşen veriler üzerinden 2030'a kadar G20 ülkelerindeki sıcaklık değişimi tahminlenmiştir.

Çalışmada önce YSA modelinin başarı performansı test edilmiştir. YSA modeli ile tahmin edilen değerler, gerçekleşen değerler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların doğruluğu test edilmiş ve YSA yönteminin hava sıcaklığı değişiminin tahmininde oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Ardından çalışmada, 2030'a kadar sıcaklıkta meydana gelecek değişim G20 ülkeleri ve dünya için tahmin edilmiştir. Yapay Sinir Ağları ile yapılan sıcaklık değişimi tahminlerinde; Hindistan, Arjantin, Çin, Almanya, Endonezya, İtalya, Avustralya, İngiltere, Meksika, Japonya, Rusya, Güney Kore, Suudi Arabistan, Güney Afrika, Amerika, Brezilya ve Türkiye'de 2030'a kadar ortalama sıcaklığın sürekli artacağı bulgusuna ulaşılmıştır. Fransa ve Kanada'da ise sıcaklıkta meydana gelecek değişimin düzensiz olacağı tahminlenmiştir. Endonezya, Çin, Almanya, Güney Kore, Amerika, Fransa, İtalya, Meksika, Suudi Arabistan, Rusya ve Türkiye'de sıcaklık değişimin hedeflenen değerin üzerine çıkacağı tahminlenmiştir. G20 ülkeleri için küresel sıcaklık değişimi ise ortalama 1,85 bulunmuştur. Tahmin edilen sonuçlara göre G20 ülkelerinde ortalama sıcaklık değişimi hedeflenen değerin üzerinde gerçekleşecektir. Dünya'nın 2030'a kadar ortalama sıcaklık değişimi ise 1,66 olarak tahmin edilmiştir. Tahmin edilen sonuçlara göre dünyada ortalama sıcaklık değişimi hedeflenen değerin üzerinde gerçekleşecektir. Sonuç olarak tahmin edilen değerler incelendiğinde; G20 ülkelerinin sıcaklık değişiminin dünya ortalamasından yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum çalışmanın, dünyadaki iklim değişikliğinin, temel nedeni olan gelişmiş ülkeler olduğu hipotezini destekleyici niteliktedir.

Özetle değerlendirildiğinde; çalışmada hem G20 ülkelerinde hem de küresel çapta, BM'nin 2030 hedefi olan 1,5 santigrat derece sınırının aşılabacağı tahmin edilmektedir. Bu durum; bu zamana kadar iklim değişikliğini sınırlamak için yapılan eylemlerin yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. Nitekim çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümlerinde yer verildiği üzere; dünyada toplam yenilenemeyen enerji

tüketimi, sera gazı salınımına neden olan gazların atmosferde salınımı, tarımda kullanılan kimyasallar, kentsel nüfus oranı ve ormansızlaşma gibi faktörler sürekli artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak doğal afetler, çevre kirliliğine bağlı ölüm oranları ve en nihayetinde sıcaklıktaki değişim artmaya devam etmektedir.

Bu noktada uygulanması gereken politikalar değerlendirildiğinde başta; iklim değişikliğinin küresel bir sorun olduğu göz önünde bulundurularak, tüm ülkelerin hızlıca ve kararlı bir iş birliği içerisinde hareket etmesi gerekliliği vurgulanmalıdır. İklim değişikliği ile mücadele küresel bir sorun olduğu için, etkili iklim eylemi ancak siyasi taahhüt, uyumlaştırılmış çok düzeyli yönetim, kurumsal çerçeve, yasa, politika ve stratejiler ile finans ve teknolojinin entegre edilmesiyle mümkün olacaktır. Bu noktada gönüllülük esasından ziyade, küresel çapta yaptırımların gündeme gelmesi, iklim değişikliğinin seyri için daha etkin olacaktır. Tüm ülkelerin yeşil sürdürülebilir politikalar izleyerek kalkınma faaliyetlerini inşa etmeleri önem arz etmektedir. Ülkeler, kısa vadeli kazanımlar ve ekonomik büyüme yerine, uzun vadeli sürdürülebilir büyüme odaklı politikalar üretmelidir. Bu yönde üretim ve tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesi ve tüm ekonomik faaliyet sürecinin geneline yayılması gerekmektedir. İklim değişikliği projeksiyonlarının daha sıkı yapılması ve sonuçlarının kamuoyu ile paylaşılarak sosyal sorumluluk bilincinin oluşturulması sağlanmalıdır. Ayrıca sürdürülebilir doğal sermayenin daha iyi yönetilmesi için doğal afetlerin sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu amaçla doğal afetlere karşı düzenli önleyici tedbirlerin geliştirilmesi ve doğal afetler için acil durum planları oluşturulmalıdır.

Ekonomik faaliyetleri nedeniyle iklim değişikliğine en çok etki eden gelişmiş ülkelerin, iklim değişikliği ile mücadelede iş birliği önemlidir. Çalışmada söz konusu G20 ülkelerinin küresel ekonomi içerisindeki yüksek hacmi, uygulanacak politikalarda ağırlığını öne çıkarmaktadır. G20 ülkeleri, etkili bir iklim değişikliği eylemi gerçekleştirerek sera gazı emisyonlarını azaltmada öncü rol oynamalıdır. Temiz enerji teknolojisini geliştirilmesini, yaygınlaştırılmasını, uygulanmasını, iklim finansmanına erişimi ve halkın bilinçlendirilmesini kolaylaştırmalıdır. Ancak çalışmada incelenen dönem aralığı boyunca birçok G20 ülkesinde iklim değişikliğine neden olan sera gazı salınımının hızla arttığı ve uyguladıkları politikaların yetersiz olduğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle G20 ülkelerinin, uluslararası anlaşmalar ile taahhüt ettiği sorumlulukları bir an önce yerine getirmesi ve taahhütte bulunmayan ülkelerin de sorumluluk alması önem arz etmektedir. Gelişmiş ülkeler iklim değişikliği ile mücadelede, belirlenen fon kurumlarıyla parasal destek olmaya devam etmekle birlikte, temiz enerji teknolojisini yayılmasını hızlandırarak, gelişmekte olan (savunmasız) ülkelerin uyum sağlamasına yardımcı olmalıdır. Tüm bunlarla birlikte ülkeler uzun vadede çevreye zarar vermeyen, sürdürülebilir politikalar geliştirmelidir. Birçok ülkede uygulanmayan karbon vergisi politika aracının efektif bir şekilde kullanılmasının iklim değişikliği ile mücadelede önemli olacağı düşünülmektedir. Karbon vergisi

uygulamasına geçilmesi ve uygulanacak tarifelerin sera gazı salınımını caydırıcı oranda ayarlanması gerekmektedir.

Ancak ülkeler için yapılan tahmin çalışmalarında belirtildiği üzere, bu durum bazı ülkelerin kalkınma çıkarları ile ters düşmektedir. İklim değişikliği ile mücadelede, ulusal çıkar tanımlamaları ve ekonomik menfaatler baskın gelmektedir. İklim değişikliğinin verdiği tahribat ve gelecek nesiller göz önünde bulundurulduğunda; çalışmada ele alınmayan ülkeler de dahil olmak üzere küresel bir iş birliği sağlanmadan, mevcut politikaların yetersiz kaldığı gözlemlenmektedir. Tüm ülkelerin kalkınma hedeflerini gerçekleştirirken, çevreyi gözetken politikalar ile dengeyi sağlayabilmeleri gerekmektedir.



REFERANSLAR

- Abdullahi, J., Elkiran, G. (2017), “Prediction of the Future Impact of Climate Change on Reference Evapotranspiration in Cyprus Using Artificial Neural Network”, *Procedia Computer Science*, 120, 276–283.
- Aggarwal, C. (2018), *Neural Networks and Deep Learning*, Switzerland: Springer International Publishing.
- Akbulut, İ., Özcan, B. (2020), “Hava Kirliliği Tahmini: Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Yöntemleriyle Bir Karşılaştırma”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 12-22.
- Ali, W., vd. (2021), “Design of Nonlinear Autoregressive Exogenous Model Based Intelligence Computing for Efficient State Estimation of Underwater Passive Target”, *Journal of Entropy*, (23), 1-28.
- Altwater, E. (2007), *Coming to Terms with Nature. Conference Series: Earth and Environmental Science*, Doi:10.1088/1755-1315/961/1/012003.
- Ambec, S., vd. (2010), “The Porter Hypothesis at 20: Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness?”, *Scientific Series*.
- Arne, H. (2023), “Growth and Sustainability in Post-Keynesian Perspective: Some Notes”, *Zentrum für Ökonomische und Soziologische Studien Discussion Paper*, No: 102.
- Aydemir, K.P. (2022), “Hanehalkı Karbon Ayak İzinin Yavaş Kent Ölçeğinde İrdelenmesi; Bolu - Mudurnu Örneği”, *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, 8(59):1975-1986.
- Azid, A. vd. (2014), “Prediction of the Level of Air Pollution Using Principal Component Analysis and Artificial Neural Network Techniques: a Case Study in Malaysia”, *Water, Air, & Soil Pollution Journal*, 225(8). Doi: 10.1007/s11270-014-2063-1.
- Babani, L., Jadhav, S.& Chaudhari, B. (2016), “Scaled Conjugate Gradient Based Adaptive ANN Control for SVM-DTC Induction Motor Drive”, 12th IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations (AIAI), Sep 2016.
- Bach, W. (1981), “Fossil Fuel Resources and Their Impacts on Environment and Climate”, *Journal of Hydrogen Energy*, (6), 185-201.

- Backhaus, J. G. (1980), "The Pareto Principle", *Analysis & Kritik Journal*, 146-171.
- Backhaus, J. G. (2012), *Handbook of the History of Economic Thought*, New York: Springer International Publishing.
- Bailey, R.E., Hatton, T.J.& Inwood, K. (2018), "Atmospheric Pollution, Health, and Height in Late Nineteenth Century Britain", *Cambridge University Press*, 78(4), 1210-1247.
- Balmori, A. (2009), "Electromagnetic Pollution From Phone Masts. Effects on Wildlife", *Pathophysiology Journal, Elsevier* (16), 191-199.
- Bank, D., Koenigstein, N.& Giryes, R. (2021), "Autoencoders", *Journal of Computer Science*, 1-22.
- Barancsuk, J. (2015), "The Appearance of the Scitovsky Paradox in the Coase Theorem", *Journal of Marketing & Menedzsment*, 49(3), 80–91.
- Basheer, I.A., Hajmeer, M. (2000), "Artificial Neural Networks: Fundamentals, Computing, Design, and Application", *Journal of Microbiological Methods*, 1(1), 3-31.
- Beder, S. (2006), *Environmental Principles And Policies An Interdisciplinary Approach*, Australia: A UNSW Press.
- Bekiroğlu, O. (2011), Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi, II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, https://www.emo.org.tr/ekler/49c17cab08ed10e_ek.pdf (Erişim: 21.01.2024).
- Bell, K. (2015), "Can the Capitalist Economic System Deliver Environmental Justice?", *Environmental Research Letter Journal*. Doi: 10.1088/1748-9326/10/12/125017.
- Bergmann, A., Colombo, S.& Hanley, N. (2007), "Rural Versus Urban Preferences for Renewable Energy Developments", *Ecological Economics Journal*, (65), 616-625.
- Berr, E. (2009), "Post Keynesian Economics and Sustainable Development", *International Journal of Political Economy*, 38(3), 22-38.
- Berr, E. (2017), *Post Keynesian Economics and Sustainable Development*, Routledge Handbook of Ecological Economics (Edit. L. Spash). London: Routledge.
- Bevilacqua, V., Intini F.& Kühtz, S. (2008), "A Model of Artificial Neural Network for the Analysis of Climate Change", The 29th Annual International Symposium on Forecasting, 22–25. <http://hdl.handle.net/11563/9566>.

- Boulding, K. (1966), *The Economics of the Coming Spaceship Earth* (Edit. H. Jarrett) Environmental Quality In A Growing Economy. Resources For The Future/Johns Hopkins University Press, 3–14.
- Boussaada, Z. vd. (2018), “A Nonlinear Autoregressive Exogenous (NARX) Neural Network Model for the Prediction of the Daily Direct Solar Radiation”, *Journal of Energies*, (11), 1-21.
- Boznar, M., Lesjak, M.& Mlakar, P. (1993), “A Neural Network-Based Method for Short-Term Predictions of Ambient SO₂ Concentrations in Highly Polluted Industrial Areas of Complex Terrain”, *Journal of Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 27(2), 221–230.
- British Petroleum Energy. (2022), <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (Erişim: 20.09.2022).
- Cartwright, H.M. (2008), *Artificial Neural Networks in Biology and Chemistry*. (ed. David Livingstone). United Kingdom: Humana Press.
- Climate Change Performance Index, <https://ccpi.org/> (Erişim: 08.02.2024).
- Chelani, A. B., Chalapati Rao, C., Phadke, K., & Hasan, M. (2002), “Prediction of Sulphur Dioxide Concentration Using Artificial Neural Networks”, *Environmental Modelling & Software Journal*, 17(2), 159–166.
- Chen, J. (2020), “Marine Oil Spill Pollution Causes and Governance: A Case Study of Sanchi Tanker Collision and Explosion”, *Journal of Cleaner Production*, (273), 1-40.
- Chikobvu, D., Chinhamu, K. (2013), “Random Walk Or Mean Reversion? Empirical Evidence From The Crude Oil Market”, *Journal Of The Turkish Statistical Association*. (6), 1-9.
- Chollet, F. (2017), *Deep Learning with Python*, New York: Manning Publications.
- Chudakov, M. (2015), The Future of Nuclear Energy”, *Harvard College Review of Environment & Society Journal*, (2), 12-15.
- Clark, B., Foster, J. (2001), “William Stanley Jevons and the Coal Question”, *Organization & Environment*, 14 (1), 93-98.
- Coase, R. H. (1960), “The Problem of Social Cost”, *Journal of Law and Economics*, (3), 1-44.
- Cohen, L.B. (1996), *Çok Geç Olmadan*, (Çev. M. Göktepel), Ankara: TÜBİTAK Yayınları.

- Coleman, J. (2003), "The Grounds of Welfare", *The Yale Law Journal*, (112), 1511-1543.
- Copeland, B., Taylor, S. (2003), "Trade, Growth And The Environment", *National Bureau of Economic Research Working Paper*, 9823.
- Cowling, E.B. (1990), "Acid Rain and Other Airborne Pollutants: Their Human Causes and Consequences", *Population and Development Review*, (16), 205-220.
- Dastres, R., Soori, M. (2021), "Artificial Neural Network Systems", *International Journal of Imaging and Robotics*, 21 (2), 13-25.
- Delashmit W.H., Manry, M.T. (2005), "Recent Developments in Multilayer Perceptron Neural Networks", Proceedings of the seventh Annual Memphis Area Engineering and Science Conference, MAESC.
- Deryugina, T., Moore, F.& Tol, R. (2021), "Environmental applications of the Coase Theorem", *Environmental Science & Policy*, (120), 81–88.
- Devillers, J. (2008), "Artificial Neural Network Modeling in Environmental Toxicology", *Methods in Molecular Biology Journal*, (458), 61-79.
- Diengdoh, V., vd. (2023), "Landscape Functional Connectivity for Butterflies Under Different Scenarios of Land-use, Land-cover, and Climate Change in Australia", *Biological Conservation Journal*, (277).
- Dilmen, B. vd., (2022), "Yangın ve Doğal Afet Sigortası Priminin Box-Jenkins Modelleri ve Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi", *Journal of Statisticians: Statistics and Actuarial Sciences*, (15), 60-71.
- Dinda, S. (2004), "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey", *Ecological Economics Journal*, (49), 431–455.
- Dodds, F. (1997), *The Way Forward: Beyond Agenda 21*, London: Earthscan Publications Ltd.
- Dong, D.J., Eyster, H. (2015), "The Future of Nuclear Energy", *Harvard College Review of Environment & Society Journal*, (2).
- Dumitru, C., Maria, V. (2013), "Advantages and Disadvantages of Using Neural Networks for Predictions." (Ed. D.Epure). *Economic Sciences Series*, Ovidius University Publishing: 444-449.

Doytch, N., Uctum, M. (2011), “Globalization and the Environmental Spillovers of sectoral FDI.”

Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review> (Erişim: 31.07.2023).

Engels, F. (1880), *Socialism: Utopian and Scientific*.
https://www.marxists.org/archive/marx/works/download/Engels_Socialism_Utopian_and_Scientific.pdf (Erişim: 09.10.2022).

Er, M.J., vd. (2002), “Face Recognition with Radial Basis Function (RBF) Neural Networks”, *Ieee Transactions on Neural Networks* 13(3), 697-710.

European Commission. (2001), *Environmental Taxes – A Statistical Guide*.
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5854253/KS-39-01-077-EN.PDF.pdf/5c97b328-6539-4290-9bca-97dea7b882bd?t=1414780347000> (Erişim: 10.03.2024).

European Commission. (2005), *Health and Electromagnetic Fields Report*.
https://ec.europa.eu/health/archive/ph_determinants/environment/emf/brochure_en.pdf.
(Erişim: 28.08.2022).

European Commission (2023), *Emissions Database for Global Atmospheric Research*,
https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023#data_download (Erişim: 02.12.2023).

European Union. (2012), *Handbook On Renewable Energy Sources Report*.

Fontana, G., Sawyer, M. (2016), “Towards Post-Keynesian Ecological Macroeconomics”, *Ecological Economics*, (121), 186-195.

Food and Agriculture Organization of the United Nation. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database, <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (Erişim: 29.01.2024).

Foroumandi, E., Nourani, V.& Sharghi, E. (2021), “Climate Change or Regional Human Impacts? Remote Sensing Tools, Artificial Neural Networks, and Wavelet Approaches Aim to Solve the Problem”, *Hydrology Research*, 52(1), 176-195.

Foster, J.B. (2002), *Savunmasız Gezegen: Çevrenin Kısa Ekonomik Tarihi*, (Çev. H. Ünder), Ankara: Epos Yayınları.

Froyen, R.T. (2013), *Macroeconomics Theories and Policies* (10. Baskı). England: Pearson Education.

- Georgescu-Roegen, N. (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, London: Harvard University Press.
- Gill, F.L. (2018), “Article The Critical Review Of The Pollution Haven Hypothesis”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 166-174.
- Gilpin, A. (1976), *Dictionary of Environmental Terms*, London: University of Queensland Press.
- Gilpin, A. (1999), *Environmental Economics: a Critical Overview*, New York: John Wiley Publishing.
- Global Forest Watch. (2022), <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/> (Erişim: 09.10.2022).
- Goodfellow, I., Bengio, Y.& Courville, A. (2017), *Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning Series)*, London: MIT Press.
- Gopal, S., Woodcock, C. (1996), “Remote Sensing of Forest Change Using Artificial Neural Networks”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(2), 398–404.
- Goswami, D.Y., Kreith, F. (2016), *Energy Efficiency and Renewable Energy Handbook*, New York. Taylor & Francis Group Press.
- Green, J. (2022), “Greening Keynes? Productivist lineages of the Green New Deal”, *The Anthropocene Review*, 9(3), 324-343.
- Grossman, G.M., Krueger, A.B. (1991), “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”, *National Bureau of Economic Research Working Paper*, No: 3914.
- Gupta, N. (2013), “Artificial Neural Network”, *Network and Complex Systems*. 3(1), 24-29.
- Gültepe, Y. (2019), “Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 8-15.
- Güneş, A.M. (2015), *Çevre Hukuku*, İstanbul: On İki Levha Yayıncılık.
- Hagan, M. vd. (2014), *Neural Network Design* (2. Baskı), USA: Martin Hagan Publisher.
- Haites, E., Pichs, R. (Ed.) (2018), *Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change*, New York: Cambridge University Press.
- Halkos, G. (2011), “The Evolution of Environmental Thinking in Economics”, *Munich Personal Repech Archive Paper*, No: 35580.

- Haykin, S. (2009), *Neural Networks and Learning Machines* (3. Baskı), New Jersey: Pearson Education Ltd.
- Harcourt, G.C. (2008), *The Structure of Post-Keynesian Economics*, London: Macmillan.
- Harris, J. (2013), “Green Keynesianism: Beyond Standard Growth Paradigms”, *Global Development and Environment Institute Working Paper*, No:13-02.
- Harris, J., Rocah, B. (2018), *Environmental and Natural Resource Economics A Contemporary Approach* (4. Baskı), New York: Taylor & Francis Group.
- He, B., vd. (2019), “Product Carbon Footprint Across Sustainable Supply Chain”, *Journal of Cleaner Production*, (241), 1-20.
- Heimer, M. (1998), “The UN Environment Programme: Thinking Globally, Retreating Locally”, *Yale Human Rights & Development Law Journal*, (1), 129-136.
- Heine, D. Norregaard, J.& Parry, I. (2012), “Environmental Tax Reform: Principles from Theory and Practice to Date”, IMF Working Paper 12/180.
- Hicks, J. (1939), *Value and Capital*, Oxford: Oxford University Press.
- Higgs, H. (1897), *The Physiocrats. Six Lectures on the French Économistes of the 18th Century*, United Kingdom: Oxford University Press.
- Hilaiwah, A.S. vd. (2021), “Live to Learn: Learning Rules-Based Artificial Neural Network”, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 21(1), 558-565.
- Holt, R. (2005), “Post-Keynesian Economics and Sustainable Development”, *International Journal of Environment, Workplace and Employment*, 1(2): 174-186.
- Holt, P., Pressman S.& Spash, C. (2009), *Post Keynesian and Ecological Economics: Confronting*, UK: Edward Elgar Publishing.
- Hu, Y., Hwang, J. (2002), *Handbook of Neural Network Signal Processing*, New York: CRC Press.
- Hunt, E., Lautzenheiser, M. (2011), *History of Economic Thought A Critical Perspective* (3. Baskı), New York: M.E. Sharpe, Inc.
- Humphreys, D. (2013), *The Handbook of Global Climate and Environment Policy*, (ed. David Held). New Jersey: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

- Huppel, G. (2001), “Environmental Policy Instruments in a New Era”, *WZB Discussion Paper*.
- Hussain, S., Yuen, R. & Lee, E. (2019), “Energy Modeling with Nonlinear-Autoregressive Exogenous Neural Network”, *Édition Diffusion Presse Sciences*, Doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2019111030>.
- Huwe, V., Rehm, M. (2022), “The Ecological Crisis and Post-Keynesian Economics – Bridging the Gap?”, *European Journal of Economics and Economic Policies: Intervention*, 19(3), 397-414.
- Institute for Health Metrics and Evaluation. (2021), *Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study*, United States: Institute for Health Metrics and Evaluation.
- International Energy Agency. (2021), Key World Energy Statistics Report.
- International Labor Organization. (2022), How to Work in the Green Economy? Report.
- International Money Fund. Climate Change Indicators Dashboard. <https://climatedata.imf.org/> (Erişim: 02.04.2022).
- International Money Fund. (2022), A Comprehensive Package of Macroeconomic Policy Measures for Implementing China’s Climate Mitigation Strategy Report.
- International Money Fund. (2023a), A Framework for Climate Change Mitigation in India Report.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, New York: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2009), Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Report. <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/> (Erişim: 12.07.2022).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014), AR5 Synthesis Report- Climate Change Report.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018), Policies, Instruments and Co-operative Arrangements Reports. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg3-chapter13-2.pdf> (Erişim: 20.03.2024).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019), *Global Warming of 1.5°C*.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022a), Climate Change 2022: Impacts, Adaption and Vulnerability Report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf (Erişim: 28.04.2022).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022b), Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change Report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf (Erişim: 28.02.2023).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022c), In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability - IPCC Sixth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/> (Erişim: 02.02.2024).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023), Climate Change 2023 Synthesis Report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf (Erişim: 03.12.2023).
- International Renewable Energy Agency. (2017), Geothermal Power Technology Brief Report.
- International Renewable Energy Agency. (2022), Renewable Statistic 2022 Report. https://irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2022.pdf (Erişim: 19.08.2022).
- Işık, D., şimşek, ř. (2019), “Yapay Sinir Ağları ile Kentsel İklim Simülasyonu”, TMMOB 6. Coğrafî Bilgi Sistemleri Kongresi, 23-25 Ekim 2019, Ankara. <https://cbskongresi.org/wp-content/uploads/2020/01/TO4-5.pdf> (Erişim: 10.04.2023).
- İklimin (2018), <https://www.iklimin.org/wp-content/uploads/2018/01/Household-Carbon-Footprint-Awareness-Survey-Report.pdf> (Erişim: 16.01.2024).
- Jacobson, M.Z. (2019), *Evaluation of Nuclear Power as a Proposed Solution to Global Warming, Air Pollution, and Energy Security*, New York: Cambridge University Press.
- Jacobson, M.Z. (2020), *Evaluation of Coal and Natural Gas With Carbon Capture as Proposed Solutions to Global Warming, Air Pollution, and Energy Security*, New York: Cambridge University Press.

- Jain, A., Mao, J.& Mohiuddin, M. (1996), “Artificial Neural Networks: a Tutorial”, *Computer Journal*, (29), 31-44.
- Javadinejad, S., Dara, R.& Jafary, F. (2020), “How Groundwater Level Can Predict Under the Effect of Climate Change by Using Artificial Neural Networks of NARX”, *Journal of Resources Environment and Information Engineering*, 2 (1): 90-99.
- Jayaram, D. (2021), “Unprecedented Environmental Impacts of Chemical and Biological Warfare: A Critical Appraisal.” <https://www.idsa.in/cbwmagazine/environmental-impacts-of-chemical-and-biological-warfare> (Erişim: 26.01.2024).
- Jena, P., Managi, S.& Majhi, B. (2021), “Forecasting the CO2 Emissions at the Global Level: A Multilayer Artificial Neural Network Modelling”, *Journal of Energies*, (14), 1-23.
- Jevons, W. S. (1865), *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of our Coal Mines*, London: Macmillan and Co.s.
- Jevons, W. S., Jevons H. S. (1871), *The Theory Political Economy* (5. Baskı), London: Macmillan and Co.s.
- Johnson, S. (2012), *UNEP The First 40 Years* (Ed. Jonathan Clayton). Nairobi: Publishing Section Services.
- Kaldor, N. (1939), “Welfare Propositions of Economics and Interpersonal Comparisons of Utility”, *The Economic Journal*, (49), 549-552.
- Kaminski, W., Skrzypski, J.& Strumillo, P. (1999), *Forecasting of Air Pollution in Urban Areas by Means of Artificial Neural Networks*, United Kingdom: Wit Press.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2000), *Principles of Neural Science* (4. Baskı), New York: McGraw-Hill Medical.
- Kaplan, Y., Saray, U.& Azkeskin, E. (2014), “Hava Kirliliğine Neden Olan PM10 ve SO2 Maddesinin Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Tahmininin Yapılması ve Hata Oranının Hesaplanması”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 1-6.
- Keynes, J.M. (1930), “The Future, Essays in Persuasion.” *The Nation and Athenæum*. https://www.economicsnetwork.ac.uk/archive/keynes_persuasion/Economic_Possibilities_for_our_Grandchildren.htm (Erişim: 02.04.2024).

- Keynes, J.M. (1933), “National Self-Sufficiency”, *The Yale Review*, 20(4), 1-7.
- Keynes, J.M. (1936), *The General Theory of Employment, Interest and Money*, London: Macmillan and Co.s.
- Kitt, J. (1994), “Waste Exports to The Developing World: A Global Response,” *Georgetown International Environmental Law Review* (7), 485–512.
- Knox, J.H. (2018), Framework Principles on Human Rights and the Environment Report. <https://www.ohchr.org/sites/default/files/FrameworkPrinciplesUserFriendlyVersion.pdf> (Erişim: 14.08.2023).
- Kotan, B., Erener, A. (2023), “PM10, SO2 Hava Kirleticilerinin Çoklu Doğrusal Regresyon ve Yapay Sinir Ağları ile Sezonel Tahmini”, *Geomatik Dergisi*, 8(2), 163-179.
- Krenker, A., Beşter, J.& Kos, A. (2011), *Artificial Neural Networks - Methodological Advances and Biomedical Applications*. (Edit. Kenzi Suzuki). Tokyo: Intech Open.
- Kriesel, D. (2009), *A Brief Introduction to Neural Networks*. https://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks_ (Erişim: 3.2.2023).
- Krose, B., Smagt, V.D. (1996), *An Introduction To Neural Networks* (8. Baskı), Amsterdam: The Universtiy of Amsterdam Publishing.
- Kukreja, H. (2016), “An Introduction To Artificial Neural Network”, *International Journal of Advance Research & Innovative Ideas in Education*, 1(5), 27-30.
- Kula, E. (1998), *History of Environmental Economic Thought*, London: Routledge.
- Kuznets, S. (1955), Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, 45 (1), 1-28. (<http://piketty.pse.ens.fr/files/Kuznets1955.pdf> Erişim: 09.05.2021).
- Lalucq, A. (2013), “Economists and Ecology: From the Physiocrats to Stiglitz” (Çev. Cadenza Academic Translations), *Journal L'Économie Politique*, 58(2), 35-52.
- Lee, D., Derrible, S.& Pereira, F. (2018), “Comparison of Four Types of Artificial Neural Network and a Multinomial Logit Model for Travel Mode Choice Modeling”, *Sage Journal*, (49), 1-12.
- Lefebvre, H. (1968), *Dialectical Materialism*, London: University of Minnesota Press.
- Legiędź, T. (2023), “The Ecological Boundaries of Green Keynesianism”, *International Journal of Public Administration, Management and Economic Development*, 8(2), 1-12.

- Leskovec, J., Rajaraman, A. & Ullman, J. (2019), *Mining of Massive Datasets*, USA: Stanford University Press.
- Li, Y., Ma, W. (2010), “Applications of Artificial Neural Networks in Financial Economics: A Survey”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, DOI: 10.1109/ISCID.2010.70.
- Lin, C., vd. (2018), “A Global Perspective on Sulfur Oxide Controls in Coal-Fired Power Plants and Cardiovascular Disease”, *Scientific Reports* 8 (1), 1-10.
- Lindsey, R. (2009), “Climate and Earth’s Energy Budget”, *National Aeronautics and Space Administration Earth Observatory*, <https://earthobservatory.nasa.gov/> (Erişim: 12.04.2022).
- Liu, Z., Peng, C., Xiang, W., Tian, D., Deng, X., & Zhao, M. (2010), “Application of Artificial Neural Networks in Global Climate Change and Ecological Research: An Overview”, *Chinese Science Bulletin*, 55(34), 3853–3863.
- Liu, T., Wu, Y. & Chau, C. (2023), “An Overview of Carbon Emission Mitigation in the Food Industry: Efforts, Challenges, and Opportunities”, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Journal*, (11), 1-21.
- Logeswari, G., Bose, S. & Anitha, T. (2023), “An Intrusion Detection System for SDN Using Machine Learning”, *Journal of Intelligent Automation & Soft Computing*, 35(1), 867-880.
- Lopez, A., Lopez, O.A. & Crossa, J. (2022), *Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction*. (Ed. F. Eeuwijk), Switzerland: Springer International Publishing.
- Maleki, H. vd. (2019), “Air Pollution Prediction by Using an Artificial Neural Network Model”, *Clean Technologies and Environmental Policy Journal*, 21(6), 1341–1352.
- Malthus, T. (1798), *An Essay on the Principle of Population* (8. Baskı), London: Reeves and Turner.
- Manry, M., Chandrasekaran, H. & Hsieh, C. (2002), *Handbook of Neural Network Signal Processing*, New York: CRC Press.
- Maqsood, J., vd. (2022), “Application of Artificial Neural Networks to Project Reference Evapotranspiration Under Climate Change Scenarios”, *Water Resources Management Journal* (36), 835–851.
- Maradin, D. (2020), “Advantages and Disadvantages of Renewable Energy Sources Utilization”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(3), 176-183.

- Mariano, J.B. and Rovere, E.L. (2008), “Environmental Impacts of the Oil Industry”, *Petroleum Engineer Journal* (185), 1-6.
- Marshall, A. (1890), *Principles of Economics* (8. Baskı), London: Macmillan and Co.s.
- Marshall, A. (1919), *Industry and Trade*, London: Macmillan.
- Marx, K. (1848), *The Communist Manifesto*.
<https://www.marxists.org/archive/marx/works/download/pdf/Manifesto.pdf> (Erişim: 22.10.2022).
- Matouq, M. vd (2013), “The Climate Change Implication on Jordan: A Case Study Using GIS and Artificial Neural Networks for Weather Forecasting”, *Journal of Taibah University for Science*, 7(2), 44–55.
- Maunder, W.J. (1992), *Dictionary of Global Climate Change*, New York: University College London Press Limited.
- McCulloch, W., Piitts, W. (1943), “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”, *Bulletin of Mathematical Biology*, (52), 99-115.
- Members, C. (1988), “Climatic Changes of the Last 18,000 Years: Observations and Model Simulations”, *Science*, 241(4869): 1043-1052.
- Mill, J.S. (1874), *Three Essays on Religion: Nature, the Utility of Religion and Theism*, England: Pearson Education.
- Mill, J.S. (1885), *Principles Of Political Economy*, New York: D. Appleton and Company.
- Minx, J., vd. (2013), “Carbon Footprints of Cities and Other Human Settlements in the UK”, *Journal of Environmental Research Letters*, (8), 1-11.
- Moghanlo, S. Vd. (2021), “Using Artificial Neural Networks to Model the Impacts of Climate Change on Dust Phenomenon in the Zanzan Region, North-west Iran”, *Urban Climate Journal*, (35), 1-13.
- Moller, M. F. (1993), “A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning”, *Neural Networks*, 6(4), 525–533.
- Murphy, K. (2012), *Machine Learning A Probabilistic Perspective*, London: MIT Press.

- Musto, M. (2008), *Karl Marx's Grundrisse*, New York: Routledge Publish.
- Nacar, S. (2023), "İklim Değişikliğinin Maksimum ve Minimum Sıcaklıklar Üzerindeki Olası Etkilerinin Belirlenmesi", *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 12(1), 141-156.
- National Aeronautics and Space Administration. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> (Erişim: 21.08.2023).
- National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.climate.gov/> (Erişim: 02.04.2022).
- Nica, A., Popescu, A.& Ibanescu, D. (2019), "Human Influence On The Climate System", *Current Trends In Natural Sciences Journal*, 8(15), 209-215.
- Nielsen, M. (2013), *Neural Networks and Deep Learning*. <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/> (Erişim: 12.03.2023).
- Oates, W., Baumol, W. (1975), "The Instruments for Environmental Policy", *National Bureau of Economic Research Working Paper*, 95-154.
- Obunadike, C., vd. (2023), "Application of Regularized Logistic Regression and Artificial Neural Network model for Ozone Classification across El Paso County, Texas United States", Doi: [10.13140/RG.2.2.35028.88967](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35028.88967). (Erişim: 10.04.2023).
- O'Hara, P.A. (1999), *Encyclopedia of Political Economy*, London: Taylor & Francis Group.
- O'Sullivan, M., Overland, I.& Sandalow, D. (2017), The Geopolitics of Renewable Energy. Harvard Kennedy School Working Paper, file:///C:/Users/saydin/Downloads/RWP17-027_OSullivan.pdf (Erişim: 10.08.2022).
- Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://data.oecd.org/> (Erişim: 11.08.2021).
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2002), Voluntary Approaches to Environmental Protection: Lessons from the Mining and Forestry Sectors. <https://www.oecd.org/env/1819792.pdf> (Erişim: 16.03.2024).
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2007a), Handbook For Appraisal Of Environmental Projects Financed From Public Funds. <https://www.oecd.org/env/outreach/38786197.pdf> (Erişim: 19.03.2024).

- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2007b), OECD Contribution to the United Nations Commission on Sustainable Development 15: Energy for Sustainable Development. <https://www.oecd.org/green/growth/38509686.pdf>. (Erişim: 10.08.2022).
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2008), An OECD Framework for Effective and Efficient Environmental Policies. <https://www.oecd.org/env/tools-evaluation/41644480.pdf> (Erişim: 16.04.2024).
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2011), Environmental Taxation A Guide for Policy Makers. <https://www.oecd.org/env/tools-evaluation/48164926.pdf> (Erişim: 01.03.2024).
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2012), Inclusive Green Growth: for the Future We Want Report.
- Öztemel, E. (2017), *Yapay Sinir Ağları*, İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Öztürk C. A., Tiftikçigil, B. (2022), “Türkiye’de Sektörel Seragazı Salımının Ekonomik Büyümeye Etkisi”, *Journal of Life Economics*. 9(4): 241-253.
- Pabuçcu, H., Bayramoğlu, T. (2016), “Yapay Sinir Ağları İle Co2 Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği”, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 762-778.
- Panayotou, T. (1993), “Empirical Tests And Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages Of Economic Development”, *International Labour Organization Paper*. 2 (22).
- Panayotou, T. (1994), “Economic Instruments For Environmental Management And Sustainable Development”, United Nations Environment Programme Paper. <https://core.ac.uk/download/pdf/48031478.pdf> (Erişim: 15.03.2024).
- Pandey, D., Agrawal, M. (2011), “Carbon Footprint: Current Methods of Estimation”, *Environmental Monitoring and Assessment Journal*, (178), 135-160.
- Paruelo, J., Tomasel, F. (1997), “Prediction of Functional Characteristics of Ecosystems: A Comparison of Artificial Neural Networks and Regression Models”, *International Journal on Ecological Modelling and Systems Ecology*, (98), 173-186.
- Pearce, D. (2002), “An Intellectual History of Environmental Economics”, *Annual Review of Environment and Resources* (27), 57-81.

- Perman, R. vd. (2003), *Natural Resource and Environmental Economics* (3. Baskı), England: Pearson Education Limited.
- Peter, J., Bird, N. (1982), “Neoclassical and Post Keynesian Environmental Economics”, *Journal of Post Keynesian Economics*, 4(4), 586-593.
- Peters, G. (2010). “Carbon Footprints and Embodied Carbon at Multiple Scales”, *Current Opinion in Environmental Sustainability Journal*, (2), 245-250.
- Pfeiffer, M., Pfeil, T. (2018). “Deep Learning With Spiking Neurons: Opportunities and Challenges”, *Frontiers in Neuroscience Journal*, (12), 1-18.
- Pflugmann, F. De Blasio, N. (2020), “Geopolitical and Market Implications of Renewable Hydrogen: New Dependencies in a Low-Carbon Energy World.” Harvard Kennedy School Reports, <https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/37372510/Geopolitical%20and%20Market%20Implications%20of%20Renewable%20Hydrogen.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Erişim: 10.08.2022).
- Pigou, M.A. (1920), *The Economics of Welfare* (4. Baskı), London: MacMillan and Co.s.
- Plesis, S. (2012), *Economic Perspectives: Ruiterbosch Essays* (ed. Bruggemans ve Loots). United States: Sun Press.
- Plott, C. R. (1966), “Externalities and Corrective Taxes”, *Economica*, 33(129), 84- 87.
- Pollitt, H. (2019), “The Contribution of post-Keynesian Economics to Climate Policy and Meeting Global Decarbonisation Targets”, <https://www.postkeynesian.net/> (Erişim: 1.07.2024).
- Ponulak, F., Kasinski, A. (2011), “Introduction to Spiking Neural Networks: Information Processing, Learning and Applications”, *Acta Neurobiologiae Experimentalis Journal*, (71), 409-433.
- Porter, M. (1991), “America’s Green Strategy”, *Scientific American Journal*, 264: 168.
- Porter, M., Linde, C. (1995), “Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship”, *Journal of Economic Perspectives* 9 (4): 97–118.
- Princeton University. (1991), *Energy in Developing Countries, Glossary of Energy Units*, Washington: Princeton Press.

- Priya, S. (2021), "The Case for a Green Economy", *International Socioeconomics Laboratory Journal*, 1(4), 1-15.
- Quesnay, F. (1758), *Tableau Oeconomique*, London: MacMillan and Co.s.
- Raouf, M. (2012), *Crude Oil Emulsions: Composition Stability And Characterization*. Intech Open Books. http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Crude_Oil_Emulsions-Composition_Stability_and_Characterization.pdf (Erişim: 20.08.2022).
- Redlarski, G., vd. (2015), "The Influence of Electromagnetic Pollution on Living Organisms: Historical Trends and Forecasting Changes", *BioMed Research International Journal*, 1-18.
- Ricardo, D. (1817), *On the Principles of Political Economy and Taxation*, London: J.M. Creery Printer.
- Rio, P., Burguillo, M. (2007), "Assessing the Impact of Renewable Energy Deployment on Local Sustainability: Towards a Theoretical Framework", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 1325-1344.
- Roberts, J. (2011), *Environmental Policy* (2. Baskı), USA: Routledge Publish.
- Robock, A. (2000), "Volcanic Eruptions And Climate", *Reviews of Geophysics*, 38(2), 191-219.
- Rojas, R. (1996), *Neural Networks A Systematic Introduction*, Berlin: Springer International Publishing.
- Rothschild, E. (1992), "Adam Smith and Conservative Economics", *The Economic History Review*, 45(1), 74-96.
- Routledge Handbooks. (2012), *International Environmental Law*. (Ed. Shawkat Alam, S., Bhuiyan, J., Chowdhury, T.& Techera, E.). London: Routledge Publisher.
- Sackitey, G. (2022), "Do Environmental Taxes Affect Energy Consumption and Energy Intensity? An Empirical Analysis of OECD Countries", *Cogent Economics & Finance Journal*, (11), 1-41.
- Sánchez, P., Deza, V. (2015), "Environmental Policy Instruments and Eco-innovation: an Overview of Recent Studies", *Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 25(58), 64-80.
- Sandelin, B., Trautwein, H.& Wundrak, R. (2014), *A Short History of Economic Thought*, London: Routledge Publisher.

- Sapna, S., Tamilarasi, A.& Kumar, P. (2012), “Backpropagation Learning Algorithm Based on Levenberg Marquardt Algorithm”, *Computer Science & Information Technology*, 7, 393-398.
- Scitovsky, T. (1954), “Two Concepts of External Economies”, *Journal of Political Economy*, 62(2).
- Shehab, M., vd. (2022), *Artificial Neural Networks for Engineering Applications: A Review*. (ed. Ammar Elsheikh, Mohamed Elasyed Abd Elaziz). United States of America: Elsevier Inc.
- Silva, I.N., vd. (2017), *Artificial Neural Networks A Practical Course*, Switzerland: Springer International Publishing.
- Silvestrini, S., Lavagna, M. (2022), “Deep Learning and Artificial Neural Networks for Spacecraft Dynamics, Navigation and Control”, *Drones Journal*, (6) 270.
- Sinanoğlu, O. (1978), *Fiziksel Kimya Terimleri Sözlüğü*, Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları.
- Smith, A. (1776), *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. (ed. R. H. Campbell& A. S.Skinner). United Kingdom: Oxford University Press.
- Solarin, S., Alana, L.& Lafuente, C. (2019), “Persistence in Carbon Footprint Emissions: an Overview of 92 Countries”, *Journal of Carbon Management*, 10(4), 405-415.
- Soto, M.V. (1996), “General Principles Of International Environmental Law”, *International Law Students Association Journal of International & Comparative Law*, 3(1). 193-212.
- Spash, C.L. (1999), “The Development of Environmental Thinking in Economics”, *Environmental Values Journals*, 8(4), 413-435.
- Spence, M. (2011), “Trade Liberalization and Environmental Protection.” *E-International Relations*, <https://www.e-ir.info/pdf/7637> (Erişim: 18.04.2024).
- Speth, J.G. (1988), *Environmental Pollution: A Long-Term Perspective*, Washington: National Geographic Society Publishing.
- Statista, <https://www.statista.com/statistics/603821/global-cumulative-sea-level-rise/> (Erişim: 21.08.2023).
- Stavins, R. N. (2001), “Experience with Market-Based Environmental Policy Instruments”, *Resources for the Future Discussion Paper*.

- Stavins, R. N. (2011), “Does Less and Costs More”, *Harvard University The Environmental Forum*, (28).
- Stearns, P.N. (2021), *The Industrial Revolution in World History* (5. Baskı), New York: Taylor& Francis Group.
- Stigler, G.J. (2012), “İktisat Biliminin Süreci ve İlerlemesi” (Çev. Ü. Çetin), *Liberal Düşünce Dergisi*, (65), 83-99.
- Strunk, B., Ederer, S.& Rezai, A. (2022), “The Role of Labor in a Socio-ecological Transition: Combining Post-Keynesian and Ecological Economics Perspectives”, *European Journal of Economics and Economic Policies: Intervention*, 19(1), 103-118.
- Sustainable Innovation Forum (2015), <https://www.cop21paris.org/about/cop21/> (Erişim: 11.10.2021).
- Svozil, D., Kvasnicka, V.& Pospichal, J. (1997), “Introduction to Multi-Layer Feed-Forward Neural Networks.” *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 39, 43-62.
- Şahin, G., Gökdemir, L.& Ayyıldız, F. (2019), “Türkiye Örneğinde Kirlilik Sığınağı Ve Kirlenme Hale Hipotezleri Üzerine Ampirik Bir Araştırma”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2 (33), 104-140.
- Şen, Z. (2004), *Yapay Sinir Ağları İlkeleri*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/iklim/> (Erişim: 02.10.2023).
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2002), <https://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa> (Erişim: 24.06.2021).
- T.C. İstatistik Kurumu (TÜİK). İstatistikler, Ulusal Hesaplar. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulusal-hesaplar-113&dil=1> (Erişim: 10.08.2021).
- T.C. İstatistik Kurumu (TÜİK). İstatistikler, Çevre ve Enerji. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=cevre-ve-enerji-103&dil=1> (Erişim: 10.08.2021).
- Tavanaei, A. Vd. (2019), “Deep Learning in Spiking Neural Networks”, *Journal of Neural Networks*, (111), 47-66.

- Taylor, M.S. (2004), “Unbundling the Pollution Haven Hypothesis”, *Advances in Economic Analysis & Policy Journal*, 4(2), 1-31.
- Tienhaara, K. (2018), *Green Keynesianism and the Global Financial Crisis*, London: Routledge.
- Thagard, P. (2005), *Mind: Introduction to Cognitive Science* (2. Baskı), London: MIT Press.
- The International Disaster Database. <https://public.emdat.be/data> (Erişim: 26.01.2024).
- Thomas, L. (2013), *Coal Geology* (2. Baskı), United Kingdom: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Thuiller, W. vd. (2005), “Climate Change Threats to Plant Diversity in Europe”, *The Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(23), 8245-8250.
- Tordoir, P. (2021), “Is Natural Gas the Next Coal? A Rramework for Utilities and Governments to Think About the Place of Natural Gas in the Energy Mix.” Harvard Mossavar-Rahmani Center for Business and Government Associate Working Paper Series. No:174.
- Tu, J. V. (1996), “Advantages and Disadvantages of Using Artificial Neural Networks Versus Logistic Regression for Predicting Medical Outcomes”, *Journal of Clinical Epidemiology*, 49(11), 1225–1231.
- Tufaner, F. Dabanlı, İ. & Özbeyaz, A. (2019), “Kuraklığın Yapay Sinir Ağları ile Analizi: Adıyaman Örneği”, *SUÇEV Uluslararası Su ve Çevre Kongresi 22-24 Mart, 2018*.
- Turgot, J., Robert, A. (1898), *Reflections On The Formation And The Distribution Of Riches*, London: Macmillan and Co.s.
- Turkenburg, W. (2012), *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Turner, C.W. (2001), *Energy Management Handbook*, United States of America: The Fairmont Press.
- Türker, L., Köksal, M. (2008), “Türkiye’nin Uzun Dönem Elektrik Talebi ve Buna Bağlı Co2 Emisyonunun Tahmini.” Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, (822-833), Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. (2021), Uzun Dönemli ve Sürdürülebilir Bir Enerji Stratejisi Olarak Nükleer Enerji. https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/nukleer_enerji.pdf (Erişim: 25.09.2022).
- Twidell, J., Weir, A.D. (1986), *Renewable Energy Resources*, London: Taylor& Francis Group.

- U.S. Department of Energy (2019), The Ultimate Fast Facts Guide to Nuclear Energy Report.<https://www.energy.gov/sites/default/files/2019/01/f58/Ulimate%20Fast%20Facts%20Guide-PRINT.pdf> (Erişim: 25.09.2022).
- Unadkat, S., Ciocoiu, M.& Medsker, L. (2001), *Recurrent Neural Networks: Design and Applications*. (Ed. L. Medsker ve L. Jain). New York: CRC Press.
- United Nations. (1972a), “Report Of The United Nations Conference On The Human Environment, Stockholm 546 June 1972.” <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/NL7/300/05/IMG/NL730005.pdf?OpenElement> (Erişim: 10.11.2021).
- United Nations. (1972b), 2112th Plenary Meeting Report. <http://undocs.org/en/A/PV.2112> (Erişim: 02.01.2022).
- United Nations. (1987), Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Report <https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html> (Erişim: 26.06.2021).
- United Nations. (1989), Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer (with annex). Concluded at Montreal on 16 September 1987 Report.
- United Nations. (1997), *Glossary of Environment Statistics, Studies in Methods*, Series F. New York: United Nations Publish.
- United Nations. (2010), Report of the Conference of the Parties on its Fifteenth Session, Held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009 Report.
- United Nations. (2012), The Future We Want Report.
- United Nations. (2021), “The Sustainable Development Goals Report.” <https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2021.pdf> (Erişim: 16.02.2022).
- United Nations. (2022), Annual Report 2022. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNClimateChange_AnnualReport_2022.pdf (Erişim: 03.06.2023).

United Nations Environment Programme. (1992), The Rio Declaration On Environment And Development Report.

United Nations Environment Programme. (2000), Evolving Choices for Renewable Energy Technology and Policy Report.

United Nations Environment Programme. (2006), Division of Early Warning and Assessment Report. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/281/Evaluation_of_the_UNEP_Division_of_Early_Warning_and_Assessment.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Erişim: 18.02.2024).

United Nations Environment Programme. (2011), Towards a Green Economy Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication Report.

United Nations Environment Programme. (2014), A Guidance Manual For Green Economy Indicators Report.

United Nations Environment Programme. (2015), Global Waste Management Outlook Report.

United Nations Environment Programme. (2016), Handbook Of Sustainable Building Policies. <https://c2e2.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/3/2016/08/unep-handbook-of-sustainable-building-policies.pdf> (Erişim: 22.03.2024).

United Nations Environment Programme. (2018), Towards a Pollution-Free Planet Report. <https://www.unep.org/resources/report/towards-pollution-free-planet-background-report> (Erişim: 03.04.2022).

United Nations Environment Programme. (2019), *Energy Efficiency and Renewable Energy Laws*. Nairobi: UNEP Publishing.

United Nations Environment Programme. (2021), From Pollution To Solution A Global Assessment Of Marine Litter And Plastic Pollution Report.

United Nations Environment Programme. (2022), Delivering on the vision of the 1972 Stockholm Declaration and achieving the 2030 Agenda for Sustainable Development Report.

United Nations Environment Programme. (2024), <https://www.unep.org/who-we-are/about-us> (Erişim: 28.06.2024).

- United Nations Framework Convention on Climate Change. (1998), “Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change.” <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (Erişim: 08.08.2023).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2009), Fact Sheet: Copenhagen – Background Information Report.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2010), Draft decision -/CP.16 Report. https://unfccc.int/files/meetings/cop_16/application/pdf/cop16_lca.pdf (Erişim: 18.03.2024).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2011), “Fact Sheet: Climate Change Science- The Status Of Climate Change Science Today.” https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_science.pdf (Erişim: 05.04.2022).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015a), “Paris Agreement Report.” https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. (Erişim: 18.07.2023).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015b), “Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015.” <https://unfccc.int/documents/9097> (Erişim: 18.07.2023).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2021), “Decision Glasgow Climate Pact.” https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26_auv_2f_cover_decision.pdf (Erişim: 26.07.2023).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2022), Sharm el-Sheikh Implementation Plan. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop27_auv_2_cover%20decision.pdf (Erişim: 22.11.2023).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2023), Summary of Global Climate Action at COP 28. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Summary_GCA_COP28.pdf (Erişim: 15.12.2023).
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015), Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030 Report https://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf (Erişim: 12.01.2024).

- Vaggi, G. (2018), *The Foundations of Political Economy and Social Reform: Economy and Social Reform* (ed. R. Kuroki ve Y. Ando), New York: Routledge Publish.
- Vassilev, S.V. (2015), “Advantages and Disadvantages of Composition and Properties of Biomass 5 in Comparison with Coal: An Overview”, *Fuel Journal*, (158), 330-350.
- Vezmar, S. Vd. (2014), “Positive and Negative Impacts of Renewable Energy Sources”, *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, 5(2), 15-23.
- Viotti, P., Liuti, G., & Di Genova, P. (2002), “Atmospheric Urban Pollution: Applications of an Artificial Neural Network (ANN) to the City of Perugia”, *Ecological Modelling*, 148(1), 27–46.
- Wackernagel, M., Rees, W. (1996), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, Canada: New Society Publishers,
- Wallerstein, I. (2002), *Modern Dünya Sistemi*. (I. Cilt). İstanbul: Bakış Yayınları.
- Walczak ve Cerpa, (2003). *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (3. Baskı), (ed. Robert A. Meyers). Cambridge: Academic Press.
- Wang, S., Wang, S. (2015), “Impacts of Wind Energy on Environment: A Review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (49) 437–443.
- Wiedmann, T., Minx, J. (2007), *A Definition of ‘Carbon Footprint*, United Kingdom: ISA UK Research & Consulting Publishing.
- Wolfson, R. (2012), *Emerging Nuclear Technologies*, US: Federation of American Scientists.
- Wood, N., Lawlor, R.& Freear, J. (2024). “Rationing and Climate Change Mitigation”, *Ethics, Policy & Environment*, 27(1), 1-29.
- World Bank. (2016), *The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action*, Washington: The World Bank Group Publishing.
- World Bank. (2021), Climate Risk Country Profile: Brazil. https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-07/15915-WB_Brazil%20Country%20Profile-WEB.pdf (Erişim: 02.12.2023).

- World Bank. (2022a), Country Climate and Development Report Argentina. <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/f8806192-1a48-5d12-a2af-252fbf268c95/content> (Erişim: 25.11.2023).
- World Bank (2022b), 2022. Türkiye Country Climate and Development Report. CCDR Series. <http://hdl.handle.net/10986/37521> (Erişim: 25.11.2023).
- World Bank (2022c), 2022. Indonesia Country Climate and Development Report. CCDR Series. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/39750> (Erişim: 25.11.2023).
- World Bank (2022d), South Africa Country Climate and Development Report. CCDR Series. <http://hdl.handle.net/10986/38216> (Erişim: 28.11.2023).
- World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.METH.KT.CE> (Erişim: 14.03.2022).
- World Energy Assessment. (2000), *Energy And The Challenge Of Sustainability*. New York: United Nations Development Programme Publishing.
- World Energy Council. (2004), *Renewable Energy Projects Handbook*. London: World Energy Council.
- World Energy Council. (2013), *World Energy Resources: Geothermal Report*.
- World Resources Institute, <https://www.wri.org/initiatives/global-forest-watch> (Erişim: 23.02.2024).
- World Health Organization. (2002), *Establishing A Dialogue On Risks From Electromagnetic Fields Report*.
- World Health Organization. (2016), *Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease Report*.
- World Health Organization. (2018), *Environmental Noise Guidelines for the European Region Report*.
- World Health Organization. (2022), *World Health Statistics 2022: Monitoring Health for the Sustainable Development Goals Report*.
- World Health Organization & United Nations Environment Programme. (1997), *Water Pollution Control- A Guide to the Use of Water Quality Management Principles Report*. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/33367?show=full> (Erişim: 20.03.2022).

- World Meteorological Organization (1979), Proceedings of the World Climate Conference. A Conference of Experts on Climate and Mankind. No.537.
- World Trade Organization (2004), The Role of Export Taxes in the Field of Primary. https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/discussion_papers4_e.pdf (Erişim: 07.04.2024).
- World Trade Organization (2023), Trade Policy Tools for Climate Action. https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/tptforclimataction_e.pdf (Erişim: 22.03.2024).
- Xu, Y., He, M. (2018), “Improved Artificial Neural Network Based on Intelligent Optimization Algorithm”, *Journal of Neural Network World*, 28(4), 345–360.
- Yadav, N., Yadav, A.& Kumar, M. (2015), *An Introduction to Neural Network Methods for Differential Equations*. (Edit. Janusz Kacprzyk). London: Springer International Publishing.
- Yahya, B.M., Şeker, D.Z. (2019), “Designing Weather Forecasting Model Using Computational Intelligence Tools”, *Applied Artificial Intelligence Journal*, 33(2), 137-151.
- Yegnanarayana, B. (2005), *Artificial Neural Networks*, New Delhi: Prentice-Hall of India Dob& Mnm.
- Zayed, M.E. vd. (2022), *Artificial Neural Networks for Renewable Energy Systems and Real-World Applications*. (ed. Ammar Elsheikh, Mohamed Elasyed Abd Elaziz), United Kingdom: Elsevier Inc.
- Zecchin, C., vd, (2015), *Jump Neural Network for Real-Time Prediction of Glucose Concentration*. (ed. Hugh Cartwright), United Kingdom: Humana Press.
- Zhang, H.L. vd. (2013), “Concentrated Solar Power Plants: Review and Design Methodology”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (22), 466- 481.
- Žičkienė, S. (2007), “Cooperation in Environmental Governance – a New Tool for Environment Protection Progress”, *Engineering Economics Journal*, 3(53), 42-50.
- Zurada, J. (1992), *Introduction to Artificial Neural System*, United States of America: West Publishing Company.

EKLER

Ek 1: UNEP'e üye olan ülkeler Tablo 80'de gösterilmektedir

Tablo 80: UNEP'e Üye Ülkeler

UNEP'E ÜYE ÜLKELER							
1	Antigua ve Barbuda	16	Hırvatistan	31	Japonya	46	Romanya
2	Arjantin	17	Küba	32	Kazakistan	47	Rusya Federasyonu
3	Avustralya	18	Çek Cumhuriyeti	33	Kenya	48	Suudi Arabistan
4	Bahamalar	19	Fiji	34	Lesotho	49	Sırbistan
5	Bangladeş	20	Finlandiya	35	Malezya	50	Somali
6	Beyaz Rusya	21	Fransa	36	Mali	51	İspanya
7	Belçika	22	Gabon	37	Moritanya	52	İsviçre
8	Benin	23	Almanya	38	Mauritius	53	Trinidad ve Tobago
9	Brezilya	24	Gine	39	Meksika	54	Tunus
10	Kanada	25	Macaristan	40	Monako	55	Tuvalu
11	Orta Afrika Cumhuriyeti	26	Hindistan	41	Mozambik	56	Tanzanya
12	Çin Halk Cumhuriyeti	27	Endonezya	42	Hollanda	57	ABD
13	Kolombiya	28	İran	43	Nijer	58	Uruguay
14	Kongo	29	İsrail	44	Pakistan	59	Zambiya
15	Kosta Rika	30	İtalya	45	Kore		

Kaynak: United Nations Environment Programme, <https://www.unep.org/topics/disasters-and-conflicts/where-we-work-country-presence> 'den alınan bilgiler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 06.04.2023).

Ek 2: Kyoto Protokolünü imzalayan ülkeler kronolojik olarak Tablo 81’ de gösterilmektedir.

Tablo 81: Kyoto Protokolünü İmzalayan Ülkeler

Ülke	Onaylama Yılı	Ülke	Onaylama Yılı	Ülke	Onaylama Yılı	Ülke	Onaylama Yılı	Ülke	Onaylama Yılı
1 Antigua ve Barbuda	1998	20 Azerbaycan	2000	39 Malta	2001	58 Danimarka	2002	77 Malezya	2002
2 Fiji	1998	21 Barbados	2000	40 Mauritius	2001	59 Cibuti	2002	78 Mali	2002
3 Maldivler	1998	22 Ekvador	2000	41 Nauru	2001	60 Dominik Cumhuriyeti	2002	79 Fas	2002
4 Tuvalu	1998	23 El Salvador	2000	42 Romanya	2001	61 Estonya	2002	80 Hollanda	2002
5 Bahamalar	1999	24 Ekvator Ginesi	2000	43 Senegal	2001	62 Finlandiya	2002	81 Yeni Zelanda [v]	2002
6 Bolivya	1999	25 Gine	2000	44 Uruguay	2001	63 Fransa	2002	82 Norveç	2002
7 Kıbrıs	1999	26 Honduras	2000	45 Vanuatu	2001	64 Almanya	2002	83 Papua Yeni Gine	2002
8 Gürcistan	1999	27 Kiribati	2000	46 Avusturya	2002	65 Yunanistan	2002	84 Peru	2002
9 Guatemala	1999	28 Lesoto	2000	47 Belçika	2002	66 Grenada	2002	85 Polonya	2002
10 Jamaika	1999	29 Meksika	2000	48 Benin	2002	67 Macaristan	2002	86 Portekiz	2002
11 Moğolistan	1999	30 Samoa	2000	49 Butan	2002	68 İzlanda	2002	87 Seyşeller	2002
12 Nikaragua	1999	31 Arjantin	2001	50 Brezilya	2002	69 Hindistan	2002	88 Slovakya	2002
13 Niue	1999	32 Bangladeş	2001	51 Bulgaristan	2002	70 İrlanda	2002	89 Slovenya	2002
14 Palau	1999	33 Burundi	2001	52 Kamboçya	2002	71 İtalya	2002	90 Güney Afrika	2002
15 Panama	1999	34 Kolombiya	2001	53 Kamerun	2002	72 Japonya	2002	91 İspanya	2002
16 Paraguay	1999	35 Cook Adaları	2001	54 Şili	2002	73 Güney Kore	2002	92 Sri Lanka	2002
17 Trinidad ve Tobago	1999	36 Çek Cumhuriyeti	2001	55 Çin	2002	74 Letonya	2002	93 İsveç	2002
18 Türkmenistan	1999	37 Gambiya	2001	56 Kosta Rika	2002	75 Liberya	2002	94 Tanzanya	2002
19 Özbekistan	1999	38 Malawi	2001	57 Küba	2002	76 Lüksemburg	2002	95 Tayland	2002
96 Uganda	2002	115 Solomon Adaları	2003	134 Burkina Faso	2005	153 Birleşik Arap Emirlikleri	2005	172 Hırvatistan	2007
97 Birleşik Krallık	2002	116 İsviçre	2003	135 Kongo Demokratik Cumhuriyeti	2005	154 Venezuela	2005	173 Karadağ	2007
98 Vietnam	2002	117 Tunus	2003	136 Dominika	2005	155 Bahreyn	2006	174 Sırbistan	2007
99 Ermenistan	2003	118 Endonezya	2004	137 Mısır	2005	156 Yeşil Burun Adaları	2006	175 Orta Afrika Cumhuriyeti	2008
100 Belize	2003	119 İsrail	2004	138 Eritre	2005	157 Gabon	2006	176 Komorlar	2008
101 Botswana	2003	120 Lihtenştayn	2004	139 Etiyopya	2005	158 Lübnan	2006	177 Saint Kitts ve Nevis	2008
102 Gana	2003	121 Nijer	2004	140 Gine-Bissau	2005	159 Libya	2006	178 Sao Tome ve Principe	2008
103 Guyana	2003	122 Nijerya	2004	141 Haiti	2005	160 Monako	2006	179 Doğu Timor	2008
104 Ürdün	2003	123 Kuzey Makedonya	2004	142 İran	2005	161 Sierra Leone	2006	180 Tonga	2008
105 Kırgızistan	2003	124 Rusya	2004	143 Kenya	2005	162 Singapur	2006	181 Brunei	2009
106 Laos	2003	125 Ruanda	2004	144 Kuzey Kore	2005	163 Surinam	2006	182 Çad	2009
107 Litvanya	2003	126 Saint Vincent ve Grenadinler	2004	145 Kuveyt	2005	164 Svaziland	2006	183 Irak	2009
108 Madagaskar	2003	127 Sudan	2004	146 Moritanya	2005	165 Suriye	2006	184 Kazakistan	2009
109 Marshall Adaları	2003	128 Gine	2004	147 Mozambik	2005	166 Zambiya	2006	185 Tacikistan	2009
110 Moldova	2003	129 Ukrayna	2004	148 Nepal	2005	167 Angola	2007	186 hindi	2009
111 Myanmar	2003	130 Yemen	2004	149 Umman	2005	168 Avustralya	2007	187 Zimbabve	2009
112 Namibya	2003	131 Arnavutluk	2005	150 Pakistan	2005	169 Bosna Hersek	2007	188 San Marino	2010
113 Filipinler	2003	132 Cezayir	2005	151 Katar	2005	170 Kongo Cumhuriyeti	2007	189 Somali	2010
114 Aziz Lucia	2003	133 Belarus	2005	152 Suudi Arabistan	2005	171 Fildişi Sahili	2007	190 Afganistan	2013

Ek 3: Kopenhag Taraflar Konferansı’na katılan ülkeler Tablo 82’de gösterilmektedir.

Tablo 82: Kopenhag Taraflar Konferansı’na Katılan Ülkeler

1 Arnavutluk	20 Şili	39 Gabon	58 Lao Demokratik Halk Cumhuriyeti	77 Nepal	96 Sierra Leone
2 Cezayir	21 Çin	40 Gürcistan	59 Letonya	78 Hollanda	97 Singapur
3 Ermenistan	22 Kolombiya	41 Almanya	60 Lesoto	79 Yeni Zelanda	98 Slovakya
4 Avustralya	23 Kongo	42 Gana	61 Lihtenştayn	80 Norveç	99 Slovenya
5 Avusturya	24 Kosta Rika	43 Yunanistan	62 Litvanya	81 Palau	100 Güney Afrika
6 Bahamalar	25 Fildişi Sahili	44 Guatemala	63 Lüksemburg	82 Panama	101 İspanya
7 Bangladeş	26 Hırvatistan	45 Gine	64 Madagaskar	83 Papua Yeni Gine	102 İsveç
8 Beyaz Rusya	27 Kıbrıs	46 Guyana	65 Malavi	84 Peru	103 İsviçre
9 Belçika	28 Çek Cumhuriyeti	47 Macaristan	66 Maldivler	85 Polonya	104 Makedonya
10 Benin	29 Demokratik Kongo	48 İzlanda	67 Mali	86 Portekiz	105 Tonga
11 Bhutan	30 Danimarka	49 Hindistan	68 Malta	87 Kore	106 Trinidad ve Tobago
12 Bosna Hersek	31 Cibuti	50 Endonezya	69 Marshall Adaları	88 Moldova	107 Tunus
13 Botswana	32 Eritre	51 İrlanda	70 Moritanya	89 Romanya	108 Birleşik Arap Emirlikleri
14 Brezilya	33 Estonya	52 İsrail	71 Meksika	90 Rusya	109 İrlanda
15 Bulgaristan	34 Etiyopya	53 İtalya	72 Monako	91 Ruanda	110 Tanzanya
16 Burkina Faso	35 Avrupa Birliği	54 Japonya	73 Moğolistan	92 Samoa	111 ABD
17 Kamboçya	36 Fiji	55 Ürdün	74 Karadağ	93 San Marino	112 Uruguay
18 Kanada	37 Finlandiya	56 Kazakistan	75 Fas	94 Senegal	113 Zambiya
19 Orta Afrika Cumhuriyeti	38 Fransa	57 Kiribati	76 Nabimya	95 Sırbistan	

Kaynak: United Nations. (2010). Report of the Conference of the Parties on its Fifteenth Session, Held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009 Report ‘dan alınan bilgiler tablo hâline getirilmiştir

Ek 4: Analizde kullanılan ve iklim değişikliğine neden olan 2. ve esas olan faktör insan nüfusu, G20 ülkeleri için Tablo 83'te milyon cinsinden gösterilmektedir.

Tablo 83: G20 Ülkeleri Toplam Nüfus (milyon) – (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	862	916	981	1.051	1.135	1.205	1.263	1.304	1.338	1.380	1.411	1.412	1.412	1.205
Hindistan	583	624	697	780	870	964	1.060	1.155	1.241	1.323	1.396	1.408	1.417	1.040
ABD	210	216	227	238	250	266	282	296	309	321	332	332	333	278
Endonezya	122	131	148	166	182	198	214	229	244	259	272	274	276	209
Brezilya	101	109	122	137	151	164	176	187	196	205	213	214	215	168
Rusya	132	134	139	144	148	148	147	144	143	144	144	143	144	143
Japonya	107	112	117	121	123	125	127	128	128	127	126	126	125	122
Meksika	54	59	68	75	82	90	98	105	113	120	126	127	128	96
Almanya	79	79	78	78	79	82	82	82	82	82	83	83	84	81
Türkiye	37	40	44	49	54	59	64	69	73	80	84	85	85	63
İngiltere	56	56	56	57	57	58	59	60	63	65	67	67	67	61
Fransa	53	54	55	57	58	60	61	63	65	67	68	68	68	61
İtalya	54	55	56	57	57	57	57	58	59	61	59	59	59	58
Güney Kore	34	35	38	41	43	45	47	48	50	51	52	52	52	45
Güney Afrika	24	26	29	34	40	44	47	49	52	56	59	59	60	44
Arjantin	25	26	28	30	33	35	37	39	41	43	45	46	46	36
Kanada	22	23	25	26	28	29	31	32	34	36	38	38	39	31
Suudi Arabistan	7	8	10	13	16	19	22	24	29	33	36	36	36	22
Avustralya	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	26	26	20
AB	391	398	408	414	420	426	429	436	442	445	448	447	448	427
G20 Toplam	2.573	2.716	2.934	3.167	3.423	3.666	3.891	4.092	4.281	4.475	4.637	4.655	4.672	3.783
Dünya	3.844	4.070	4.442	4.850	5.293	5.727	6.144	6.553	6.970	7.405	7.821	7.888	7.951	6.074
G20/ Dünya	67%	67%	66%	65%	65%	64%	63%	62%	61%	60%	59%	59%	59%	63%

Kaynak: World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2021&start=1972> ‘ den alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 27.06.2023).

Analizde kullanılan, toplam nüfus içinde kentsel nüfus oranı G20 ülkeleri için Tablo 84'te gösterilmektedir.

Tablo 84: Toplam Nüfus İçinde Kentsel Nüfus % – G20 Ülkeleri (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Arjantin	79,74	80,97	82,89	85,04	86,98	88,16	89,14	90,03	90,85	91,50	92,11	92,23	92,35	87,85
Avustralya	84,32	84,79	85,55	85,58	85,43	84,90	84,24	84,58	85,18	85,70	86,24	86,36	86,49	85,34
Japonya	73,45	75,72	76,18	76,71	77,34	78,02	78,65	85,98	90,81	91,38	91,78	91,87	91,96	83,06
İngiltere	77,20	77,68	78,48	78,39	78,14	78,35	78,65	79,92	81,30	82,63	83,90	84,15	84,40	80,25
Kanada	75,97	75,61	75,66	76,35	76,58	77,68	79,48	80,12	80,94	81,26	81,56	81,65	81,75	78,82
ABD	73,62	73,65	73,74	74,49	75,30	77,26	79,06	79,93	80,77	81,671	82,66	82,87	83,08	78,32
Brezilya	57,88	60,79	65,47	69,86	73,92	77,61	81,19	82,83	84,34	85,77	87,07	87,32	87,56	77,05
Fransa	71,86	72,93	73,28	73,65	74,06	74,91	75,87	77,13	78,37	79,66	80,98	81,24	81,51	76,57
Suudi Arabistan	52,71	58,35	65,86	72,65	76,58	78,67	79,85	80,98	82,08	83,18	84,29	84,51	84,73	75,73
Almanya	72,39	72,56	72,84	72,71	73,12	73,92	74,97	75,98	76,97	77,20	77,45	77,54	77,65	75,02
Meksika	60,53	62,76	66,34	68,95	71,42	73,37	74,72	76,31	77,82	79,29	80,73	81,02	81,30	73,43
Rusya	64,08	66,43	69,75	71,92	73,39	73,37	73,35	73,46	73,69	74,05	74,75	74,93	75,13	72,18
Güney Kore	43,69	48,03	56,72	64,88	73,84	78,24	79,62	81,35	81,94	81,63	81,41	81,41	81,43	71,86
İtalya	65,04	65,64	66,64	66,83	66,73	66,92	67,22	67,74	68,33	69,57	71,04	71,35	71,66	68,05
Türkiye	39,60	41,59	43,78	52,45	59,20	62,12	64,74	67,84	70,83	73,61	76,11	76,57	77,02	61,96
Güney Afrika	47,93	48,11	48,43	49,37	52,04	54,49	56,89	59,54	62,22	64,83	67,35	67,85	68,34	57,49
Endonezya	17,78	19,32	22,10	26,09	30,58	36,08	42,00	45,94	49,91	53,31	56,64	57,29	57,93	39,61
Çin	17,18	17,40	19,36	22,87	26,44	30,96	35,88	42,52	49,23	55,50	61,43	62,51	63,56	38,83
Hindistan	20,32	21,33	23,10	24,35	25,55	26,61	27,67	29,24	30,93	32,78	34,93	35,39	35,87	28,31
AB	64,88	65,98	67,59	68,48	69,37	70,13	70,83	71,90	72,97	73,91	74,96	75,20	75,45	70,89
Dünya	36,92	37,65	39,33	41,19	43,00	44,82	46,66	49,09	51,58	53,83	56,06	56,48	56,90	47,19

Kaynak: World Bank, United Nations Population

Division, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> ‘ den alınan veriler tablo hâline getirilmiştir

Ek 5: G20 ülkelerinin toplam arazilerinde ormanlık alan % olarak Tablo 85 ‘de gösterilmektedir.

Tablo 85: G20 Ülkeleri Toplam Ormanlık Alan % (1990-2021)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Ortalama
Japonya	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68,4
Güney Kore	68	68	67	66	66	65	65	65	65	65	64	64	65,6
Brezilya	70	68	66	64	61	60	60	60	60	60	59	59	62,3
Rusya		49	49	50	50	50	50	50	50	50	50	50	49,7
Kanada	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	38,8
Meksika	36	36	35	35	34	34	34	34	34	34	34	34	34,5
Amerika	33	33	33	33	34	34	34	34	34	34	34	34	33,6
Almanya	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	32,6
İtalya	26	27	28	29	31	31	32	32	32	32	32	33	30,4
Fransa	26	27	28	29	30	31	31	31	31	31	32	32	29,9
Türkiye	26	26	26	27	27	28	28	28	28	29	29	29	27,6
Hindistan	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	23,5
Endonezya	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	23,5
Çin	17	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23	24	21,3
Avustralya	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17,3
Güney Afrika	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14,3
İngiltere	11	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	12,7
Arjantin	13	13	12	12	11	11	11	11	11	10	10	10	11,2
Suudi Arabistan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
AB Birliği	36	37	38	39	39	40	40	40	40	40	40	40	38,9

Kaynak: World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.ZS> den alınan veriler tablo hâline getirilmiştir (Erişim: 06.02.2024).

Ek 6: G20 ülkeleri CO₂ emisyonları kişi başına metrik ton cinsinden Tablo 86’da gösterilmektedir.

Tablo 86: G20 Ülkeleri CO₂ Emisyonları Kişi Başına Metrik Ton (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
ABD	21,57	20,17	20,18	18,93	19,20	19,03	20,29	19,27	17,28	15,36	12,90	13,76	13,64	17,10
Avustralya	11,07	12,85	13,96	13,94	15,21	15,85	17,59	18,05	17,78	15,88	14,36	14,02	14,51	15,14
Kanada	16,11	16,30	17,22	15,24	14,78	14,97	16,41	16,49	15,32	15,14	13,09	13,22	13,14	15,12
Suudi Arabistan	2,14	2,85	9,78	9,14	9,44	10,15	10,89	12,18	14,22	16,23	13,42	13,83	17,90	11,84
Almanya	12,72	12,37	13,39	12,93	11,84	10,54	9,97	9,68	9,45	8,93	7,13	7,50	7,21	9,85
Rusya	-	-	-	14,62	14,62	10,44	10,06	10,33	10,71	10,639	10,83	11,70	11,70	9,36
Güney Kore	1,64	2,20	3,30	3,82	5,41	7,92	8,99	9,50	11,12	11,41	10,56	10,75	10,59	8,44
Japonya	7,41	7,60	7,44	7,16	8,51	9,00	9,06	9,26	8,85	9,07	7,88	7,95	7,91	8,34
İngiltere	10,74	10,25	10,13	9,61	9,60	8,86	8,84	8,80	7,60	6,04	4,48	4,75	4,55	7,40
Güney Afrika	6,87	7,88	7,07	6,61	6,12	5,91	5,99	7,60	8,12	7,50	6,57	6,60	8,90	7,17
İtalya	5,64	5,72	6,30	6,04	6,87	7,06	7,38	7,85	6,55	5,47	4,61	5,24	5,03	5,94
Fransa	8,29	7,85	8,25	6,21	5,93	5,77	5,99	5,88	5,23	4,57	3,83	4,28	4,03	5,54
Çin	0,96	1,12	1,39	1,55	1,84	2,41	2,45	4,15	5,85	6,62	7,12	7,54	10,95	4,78
AB	-	-	-	4,59	4,59	4,54	4,65	5,14	5,53	5,59	5,27	5,58	5,58	4,31
Arjantin	3,40	3,27	3,34	2,88	2,87	3,07	3,45	3,63	3,98	4,17	3,28	3,48	3,55	3,52
Türkiye	1,32	1,49	1,61	1,90	2,34	2,58	3,13	3,16	3,66	4,08	4,39	4,76	4,40	3,34
Meksika	1,93	2,21	2,91	3,06	2,95	3,08	3,57	3,85	3,86	3,66	2,81	2,93	3,06	3,17
Brezilya	0,94	1,19	1,37	1,15	1,23	1,40	1,68	1,68	1,91	2,22	1,81	2,05	4,20	1,81
Endonezya	0,23	0,29	0,46	0,51	0,72	1,01	1,19	1,39	1,61	1,77	1,96	2,03	4,47	1,49
Hindistan	0,32	0,35	0,38	0,48	0,61	0,73	0,84	0,93	1,27	1,54	1,49	1,62	1,90	1,11

Kaynak: World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC> ve European Commission, Emissions Database for Global Atmospheric Research, https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023 veri tabanından alınan veriler tablo hâline getirilmiştir.

Not: 1972-2021 verileri World Bank’tan 2022 verisi ise European Commission’dan alınmıştır

Ek 7: G20 ülkelerine ait CH₄ verisi CO₂ eşdeğeri ile kilo ton cinsinden Tablo 87’de gösterilmektedir.

Tablo 87: Metan Gazı Emisyonları – G20 (1972-2022)

	1972	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	715.117	830.191	916.950	763.744	848.272	807.417	901.769	1.065.646	1.147.404	1.186.285	1.495.453	1.500.665	1.014.909
Amerika	873.222	880.411	845.513	672.858	681.622	641.918	628.706	652.866	701.609	748.241	688.194	690.653	725.484
Hindistan	519.864	585.295	645.387	528.078	555.230	594.663	620.080	658.933	678.829	697.655	564.055	568.996	601.422
Rusya	392.686	471.543	504.786	644.927	512.208	481.202	550.416	557.088	568.592	617.227	852.768	854.014	583.955
Brezilya	224.882	317.545	349.984	284.533	312.677	331.764	405.785	427.893	440.618	449.214	402.887	403.939	362.644
Endonezya	119.576	151.020	166.695	280.039	314.875	339.714	317.298	312.450	319.718	333.995	247.297	250.096	262.731
Avustralya	160.612	165.657	169.137	143.963	141.175	165.945	133.024	129.412	151.225	131.485	105.356	105.703	141.891
Meksika	81.221	114.108	131.627	100.576	110.072	116.969	128.239	132.475	143.502	143.481	137.216	138.657	123.179
Arjantin	113.874	121.757	121.406	111.947	115.661	119.811	131.958	119.295	124.872	131.036	121.600	122.535	121.313
İngiltere	151.412	150.225	136.963	111.252	116.511	109.899	89.375	64.549	51.485	50.416	48.884	48.607	94.132
Almanya	174.365	175.887	168.475	99.831	87.490	74.994	64.634	57.837	52.527	46.918	49.403	48.891	91.771
Kanada	85.994	87.756	88.481	68.724	78.919	84.876	91.472	86.175	93.503	100.143	102.600	103.383	89.336
Fransa	109.608	106.015	101.537	70.641	70.647	72.950	69.350	67.693	62.911	58.451	55.838	55.692	75.111
Suudi Arabistan	35.163	63.263	36.138	62.742	74.149	79.675	90.468	86.848	100.911	102.631	46.226	46.984	68.766
Güney Afrika	39.124	52.534	61.406	59.433	62.941	60.593	66.518	71.524	73.430	72.213	56.499	57.114	61.111
İtalya	63.106	65.471	65.869	48.748	48.336	50.672	49.372	48.517	44.435	43.889	41.053	40.811	50.856
Türkiye	37.209	42.748	40.506	38.201	36.963	38.774	38.448	42.380	42.513	50.445	58.051	58.578	43.735
Japonya	69.955	62.627	62.071	36.979	36.867	33.317	31.415	29.737	27.896	25.783	29.799	29.613	39.672
Güney Kore	23.558	30.135	36.276	24.244	25.127	24.330	23.747	23.804	22.740	21.990	30.137	29.993	26.340

Kaynak: 1972-1985 verileri Our World in Data, <https://ourworldindata.org/grapher/methane-emissions?tab=table&time=1972..1985> ‘den alınmıştır (Erişim: 05.02.2024).

1990-2020’ye ait veriler World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.METH.KT.CE> ‘den alınmıştır (Erişim: 03.12.2023).

2021 ve 2022’ye ait veriler Global Methane Initiative (GMI), <https://www.globalmethane.org/methane-emissions-data.aspx> veri setinden alınmıştır (Erişim: 03.12.2023).

Ek 8: G20 ülkelerinde hava kirliliğine bağlı ölen kişi sayısı 1990-2021 dönemleri için Tablo 88’de, su kirliliğine bağlı ölüm oranları ise 1990-2019 dönemleri için Tablo 89’da gösterilmektedir.

Tablo 88: G20 Ülkelerinde Hava Kirliliğine Bağlı Ölüm Sayısı (1990-2021)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	Ortalama
Çin	2.272.445	2.379.164	2.491.933	2.609.874	2.471.803	2.413.473	2.160.757	2.349.332	2.367.210
Hindistan	1.322.653	1.447.882	1.454.636	1.588.211	1.749.119	2.041.951	1.995.287	2.087.016	1.831.680
Endonezya	195.850	206.053	219.369	244.437	250.359	220.523	203.933	221.663	218.399
Rusya	216.112	266.981	254.941	200.110	162.969	117.092	89.455	93.885	151.047
ABD	145.210	150.440	146.839	127.913	89.586	76.657	70.965	63.587	95.103
Brezilya	85.878	82.299	78.014	76.283	76.782	65.819	66.781	67.681	72.348
Türkiye	44.489	42.792	39.001	36.965	49.522	58.486	56.820	60.371	52.207
Almanya	95.579	83.600	67.332	56.264	52.551	41.813	30.802	31.602	50.318
Meksika	45.127	48.750	45.869	44.508	45.429	51.886	49.734	50.073	48.569
Japonya	39.694	41.603	42.146	43.326	39.833	51.244	49.961	52.082	47.245
İtalya	57.955	56.069	54.189	48.917	42.635	39.862	33.745	33.210	42.322
Güney Afrika	26.301	28.654	36.461	39.720	40.010	37.823	35.087	34.080	35.195
İngiltere	61.812	57.679	47.364	35.894	25.979	20.657	17.400	17.100	30.057
Güney Kore	18.229	18.463	20.233	19.540	18.178	23.221	25.316	27.021	22.359
Fransa	32.531	30.806	27.915	24.449	21.919	18.116	14.531	14.554	20.824
Arjantin	21.503	20.663	19.576	18.315	16.479	18.509	18.018	16.051	18.742
S. Arabistan	10.187	11.213	13.109	15.108	16.871	18.858	20.241	21.750	17.269
Kanada	8.666	9.166	8.686	8.258	5.715	4.975	4.501	3.976	5.958
Avustralya	3.167	2.930	2.804	2.338	2.700	2.576	3.349	4.399	3.226
Avrupa Birliği	934.665	1,005,420	908.657	778.330	653.511	530.051	422.511	432.241	545.924
G20 Ortalama	281.903	262.379	298.954	300.938	291.598	292.680	268.460	284.084	283.800
Dünya	7.340.636	7.791.072	7.903.576	8.099.054	8.021.934	8.210.059	7.722.168	8.079.996	7.969.734
G20/Dünya	4%	3%	4%	4%	4%	4%	3%	4%	3,6%

Kaynak: Institute for Health Metrics and Evaluation, Global Burden of Disease, <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool> (Erişim: 25.06.2024).

Tablo 89: G20 Ülkelerinde Su Kirliliğine Bağlı Ölüm Oranları (1990-2021)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	Ortalama
Hindistan	14,5%	13,4%	12,1%	10,5%	9,3%	7,3%	2,7%	2,1%	9%
Endonezya	8,1%	6,5%	5,3%	4,6%	4,1%	3,6%	3,4%	3,5%	5%
Güney Afrika	4,9%	4,1%	2,9%	2,3%	2,3%	2,1%	2,2%	2,2%	3%
Çin	6,7%	4,2%	2,4%	1,1%	0,5%	0,3%	0,2%	0,2%	2%
Brezilya	2,3%	1,7%	1,1%	0,8%	0,5%	0,4%	1,3%	1,2%	1%
Meksika	2,6%	1,4%	0,8%	0,5%	0,4%	0,4%	0,2%	0,2%	1%
Türkiye	1,5%	1,4%	1,1%	0,4%	0,2%	0,1%	0,6%	0,6%	1%
S. Arabistan	1,6%	0,9%	0,5%	0,4%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	1%
Arjantin	0,3%	0,2%	0,9%	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%	0,4%	0%
Güney Kore	0,8%	0,4%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0%
Rusya	0,6%	0,7%	0,5%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0%
Japonya	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0%
Kanada	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0%
Avustralya	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0%
ABD	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0%
Fransa	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0%
Almanya	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0%
İtalya	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0%
İngiltere	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0%
Avrupa Birliği	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0%
G20 Ortalama	2,2%	1,8%	1,4%	1,1%	1,0%	0,8%	0,6%	0,6%	1%
Dünya	4,5%	3,8%	3,3%	2,8%	2,7%	1,5%	1,2%	1,7%	3%
G20/Dünya	50%	47%	43%	40%	36%	52%	50%	33%	38%

Kaynak: Institute for Health Metrics and Evaluation, Global Burden of Disease, <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool> (Erişim: 25.06.2024).

Ek 9: G20 ülkelerine ait Azot Protoksit'in CO₂ eşdeğeri ile kilo ton cinsinden Tablo 90'da gösterilmektedir.

Tablo 90: N₂O Emisyonu G20 (bin metrik ton) (1972-2022)

	1972	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2020	2021	2022	Ortalama
Çin	142.767	159.156	218.506	235.740	295.991	358.414	375.671	427.565	488.417	536.920	459.978	422.550	420.422
ABD	276.621	281.625	276.911	258.690	238.778	254.818	249.284	255.242	256.187	258.002	259.986	251.862	253.185
Hindistan	83.190	93.317	105.536	127.282	144.668	165.729	179.574	201.224	238.635	279.004	272.905	287.213	211.677
Brezilya	63.690	73.796	90.869	93.388	106.201	119.982	123.867	155.052	166.104	191.103	179.779	193.941	148.870
Rusya	113.548	127.473	134.616	138.952	108.556	68.360	55.551	54.650	57.052	69.231	76.502	82.492	69.986
Avustralya	69.478	67.326	79.215	80.731	76.885	74.304	98.387	62.237	54.166	49.332	73.861	61.815	69.882
Endonezya	21.360	21.448	26.165	32.685	39.289	44.521	45.144	50.495	57.756	75.596	96.918	75.590	58.531
Meksika	22.646	26.172	30.417	35.079	37.766	36.707	38.140	38.931	39.618	43.291	113.991	117.557	49.778
Almanya	72.300	73.488	74.529	71.475	67.168	64.602	45.450	46.243	39.312	33.815	34.171	34.033	47.252
Fransa	62.633	65.632	66.036	69.028	61.680	61.874	49.476	43.884	39.053	36.203	36.749	34.581	46.989
Kanada	31.005	33.853	39.287	39.023	43.131	46.575	38.507	42.871	40.412	47.080	43.585	44.577	43.166
Arjantin	32.248	33.785	33.664	33.286	35.100	36.238	38.832	42.939	41.008	51.061	44.528	48.943	41.387
İngiltere	51.853	62.315	61.554	61.959	59.039	47.767	36.942	32.844	29.847	27.697	28.620	29.075	37.537
Türkiye	19.559	21.311	25.304	24.213	26.793	25.120	26.521	25.378	26.265	38.132	56.799	59.473	32.144
Japonya	25.908	25.547	25.809	30.274	28.075	28.881	25.292	21.887	20.203	18.498	18.548	19.328	23.055
İtalya	25.978	25.124	26.130	25.380	26.479	25.891	26.733	25.760	16.875	15.990	14.941	15.886	21.810
Güney Afrika	15.063	16.443	18.138	16.646	19.000	19.053	19.667	18.977	19.656	17.993	19.228	21.051	19.082
Güney Kore	4.386	5.556	5.842	7.273	7.725	11.844	15.013	19.374	9.257	10.097	12.288	13.898	12.228
Suudi Arabistan	1.262	1.640	3.244	4.869	5.149	4.844	5.721	6.341	6.689	8.249	9.922	11.358	6.702

Kaynak: 1990-2020 arası veriler World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.NOXE.KT.CE> 'den alınan veriler grafik hâline getirilmiştir (Erişim: 23.04.2024).

Not: 1972, 1975, 1980, 1985, 2021 ve 2022 verisi Our World in Data, <https://ourworldindata.org/grapher/nitrous-oxide-emissions?tab=table> 'den alınmıştır (Erişim: 23.04.2024).

Ek 10: Tarımda kimyasal kullanımı seçili ülkeler (G20) için güncel verilere göre (1990-2021)

Tablo 91'de gösterilmektedir.

Tablo 91: G20 - Tarımda Kimyasal Kullanımı (1990-2021)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Ortalama
ABD	401	423	430	388	375	423	452	450	457	457	457	457	431
Brezilya	51	93	141	233	361	498	515	515	549	621	686	720	415
Çin	155	215	251	285	340	346	338	323	295	274	259	245	277
Endonezya	113	138	143	179	314	313	350	279	261	274	213	283	238
Arjantin	26	38	84	139	236	204	200	196	173	205	241	242	165
Fransa	98	84	98	78	62	67	72	71	85	54	65	70	75
İtalya	101	84	79	85	72	63	60	57	54	49	57	50	68
Kanada	30	32	40	36	61	75	91	98	88	79	93	93	68
Japonya	80	80	80	64	56	54	51	52	52	52	49	49	60
Rusya	26	26	30	37	44	51	71	80	75	77	91	97	59
Hindistan	75	61	45	35	40	57	59	63	60	62	62	62	57
Avustralya	18	26	33	34	42	51	63	60	63	63	63	63	48
Türkiye	30	27	33	40	39	39	50	54	60	51	54	53	44
Meksika	27	27	27	39	52	48	47	51	53	49	42	44	42
Almanya	31	30	35	36	41	48	47	48	45	45	48	49	42
Güney Afrika	17	18	27	30	34	38	36	39	39	39	42	43	33
İngiltere	30	34	33	31	17	18	19	19	19	19	15	15	22
Güney Kore	25	26	26	25	20	19	20	20	19	17	17	19	21
Suudi Arabistan	1	1	3	4	5	7	8	9	10	10	7	7	6

Kaynak: Food and Agriculture Organization Corporate Statistical, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP> 'den alınan veriler tablolaştırılmıştır (Erişim: 29.01.2024).

Not: Veriler ton cinsinden gösterilmektedir.

Ek 11: Çalışmada MATLAB’da kullanılan kodlar açıklamaları ile aşağıda yer almaktadır;

- **isnan:** Eksik veri tespiti
- **trainlm:** Veri setinin eğitiminde kullanılan Levenberg-Marquardt algoritma
- $N = \text{normalize}(x)$: Standardizasyon işlemi
- $\text{data_denormed} = (\text{data_zscore} * \text{data_standard_deviation}) + \text{data_mean}$: Standardizasyon işleminin terse alınması
- **std:** Standart sapma
- **mean:** Veri setinin ortalaması
- **min:** Veri setine ait minimum değer
- **max:** Veri setine ait maximum değer

