T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'NİN KARBONDİOKSİT EMİSYONU TAHMİNİNDE FARKLI GÖSTERGELERE DAYALI ALTERNATİF MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Merve ÇİMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Ebru AKKAYA

Ağustos, 2020

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'NİN KARBONDİOKSİT EMİSYONU TAHMİNİNDE FARKLI GÖSTERGELERE DAYALI ALTERNATİF MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Merve ÇİMEN tarafından hazırlanan tez çalışması 07.08.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ebru AKKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ebru AKKAYA, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Mehmet Sinan BİLGİLİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Emine ELMASLAR ÖZBAŞ, Üye
İstanbul Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Ebru AKKAYA sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Türkiye'nin Karbondioksit Emisyonu Tahmininde Farklı Göstergelere Dayalı Alternatif Modellerin Karşılaştırılması" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Merve ÇİMEN

İmza

Anneme, Babama ve Biricik Kardeşime

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden itibaren bana emeği geçen ve yüksek lisans tez çalışmasının yürütülmesinde bana yol gösteren, değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana farklı bakış açıları sunan ve her zaman beni sabırla dinleme zahmetini gösteren tez danışmanım, Sayın Doç. Dr. Ebru AKKAYA'ya sonsuz şükranlarımı arz ederim.

Tez çalışmam süresince faydalı katkılarından dolayı İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü Dr. Öğretim Görevlisi Serkan TÜRKELİ sevgili öğrencisi, aynı zamanda iş arkadaşım olan Alpkan ÇİÇEK'e ve üzerimde desteklerini her zaman hissettiğim TESODEV aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bana her zaman sabır gösteren, maddi ve manevi desteklerini benden hiç eksik etmeyen ve bugünlere gelmemi sağlayan, başta annem olmak üzere, babam ve kardeşime sonsuz şükranlarımı arz ederim.

Merve ÇİMEN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xiii
ÖZET xv
ABSTRACT xvii
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 5
1.2 Tezin Amacı 5
1.3 Hipotez 5
2 KÜRESEL VE TÜRKİYE ÖLÇEKLİ CO2 EMİSYONU 7
2.1 Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye Üzerindeki Etkiler 7
2.2 İklim Değişikliğine Sebep Olan Sera Gazları 12
2.2.1 Karbondioksit (CO_2) 15
2.2.2 Ozon (O_3) 16
2.2.3 Metan (CH_4) 16
2.2.4 Azot Oksitler (NO_x) 18
2.2.5 Halokarbonlar, Kloroflorokarbonlar, Perflorokarbonlar, Hidroflorokarbonlar ve Kükürt Heksaflorür 18
2.3 Türkiye'nin Kyoto Protokolündeki Yeri 18
2.4 Paris İklim Zirvesi 21
2.5 Türkiye'de Yıllara Göre Sera Gazı Emisyonları 23
2.6 Türkiye'de Sektörel Olarak CO2 Emisyonu Artışının Nedenleri 25
2.6.1 Enerji Sektörü 27
2.6.2 Konut Artışı 37
2.6.3 Tarım ve Hayvancılık 40
2.6.4 Yeşil Alan ve Ormanlar 42
2.7 Karbon Piyasası 40
3 MATERYAL METOT 42
3.1 Kullanılan Veri Seti 42
3.1.1 Nüfus 45
3.1.2 Gayri Safi Yurtiçi Hasıla 47
3.1.3 Elektrik ve Isı Üretimi 48
3.1.4 Elektrik Tüketimi 51
3.1.5 Gelir Seviyelerine göre CO2 Emisyonu 53

3.1.6 Konutlar, Ticari ve Kamu Hizmetinden Kaynaklanan CO2 Emisyonu.56
3.1.7 Ulaşımdan Kaynaklanan Yakıt Tüketimi 58
3.1.8 Toplam CO2 Emisyonu.....60
3.2 Girdi için Değişken Seçimleri.....59
3.3 Modelleme için Kullanılan Yöntemler..... 60
3.3.1 Çoklu Lineer Regresyon (MLR) Modeli.....62
3.3.2 Destek Vektör Makineleri Modeli.....64
3.3.3 Yapay Sinir Ağları Modeli.....66
3.3.4 Bayesian Ridge Modeli.....67
3.4 Projeksiyon (Gelecek Tahmin) Yöntemi.....65
4 TAHMİN MODELLERİNİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME 71
4.1 Veri Hazırlama.....71
4.1.1 Veri Seçimi.....76
4.1.2 Verilerin Normalizasyonu.....81
4.2 Modelleme Sonuçları 77
4.2.1 Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) Modelleme Sonuçları.....82
4.2.2 Destek Vektör Makineleri Modelleme Sonuçları.....85
4.2.3 Yapay Sinir Ağları Modelleme Sonuçları.....90
4.2.4 Bayesian Ridge Modelleme Sonuçları.....93
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 93
KAYNAKÇA 96
A MODELLEMEDE KULLANILAN KODLAR 101
B MODELLEMEDE TAHMİN EDİLEN VERİ SETİ 107
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 108

SİMGE LİSTESİ

F	Anlamlılık
N_2	Azot
N_2O	Azot Oksit
NOx	Azot Oksit Gazları
C	Düzenleyici Parametre
C_2H_6	Etan
GW	GigaWatt
p	Güven Aralığı
H_2	Hidrojen
CO_2	Karbondioksit
SS	Kareler Toplamı
MS	Kareler Ortalaması
α	Kayan Nokta Parametresi
CFC's	Kloroflorakarbonlar
kt	Kiloton
kw	Kilowatt
kWh	Kilowatt Saat
S	Kükürt
SF_6	Kükürtheksafloroitler
λ	Lambda
MW	Megawatt
MWt	Megawatt Saat
CH_4	Metan

ppb	Milyarda bir birim
ppm	Milyonda bir birim
Mt	Milyon ton
O_3	Ozon
PFC's	Perflorakarbonlar
°C	Santigrad Derece
df	Serbestlik Derecesi
Sm^3	Standart Metreküp
H_2O	Su Buharı
TWh	Terawatt Saat

KISALTMA LİSTESİ

AKAKDO	Arazi Kullanımı Arazi Kullanımı Değişikliği ve Ormancılık
ANOVA	Varyans Analizi
BM	Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DVM	Destek Vektör Makineleri
DVR	Destek Vektör Regresyon
EPA	Çevre Koruma Teşkilatı
Eşd	Eşdeğeri
GEPA	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
IEA	Uluslararası Enerji Teşkilatı
INDC	Kesin Katkılar için Ulusal Niyet Beyanları
IPPC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
LNG	Sıvılaştırılmış Doğalgaz
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MLP	Çoklu Katman Algılayıcı
MLR	Çoklu Lineer Regresyon
MSE	Ortalama Karesel Hata
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NNCAP	Uluslararası İklim Değişikliği Hareket Planı
OECD	İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı

OLR	En Küçük Kareler
PV	Fotovoltaik
reg	Regresyon
RMSE	Ortalama Karesel Hata Karekökü
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İdaresi Anonim Şirketi
Tol	Tolerans
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TUR	Türkiye
TÜFE	Tüketici Fiyat Endeksi
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Türkiye'nin uzun vadeli sıcaklık anomalileri [27] 12

Şekil 2.2 1000-2014 yılları arasında atmosferik karbondioksit konsantrasyonu [38] 15

Şekil 2.3 1000-2013 yılları arası kutup denizi buz alanı ve atmosferik karbondioksit konsantrasyonu [39] 17

Şekil 2.4 İnsan aktiviteleri sonucu atmosferdeki metan dağılımı [40] 17

Şekil 2.5 Türkiye'deki 1990-2018 yılları arasındaki sera gazı emisyonları [1] 25

Şekil 2.6 Türkiye'de 2018 yılı sektörel olarak co_2 gazı emisyonu 25

Şekil 2.7 Doğalgaz rezervlerinin dağılım grafiği [54] 27

Şekil 2.8 Dünya'daki petrol rezervleri dağılımı [58] 28

Şekil 2.9 Türkiye'de jeotermal enerji kaynakları ve uygulama alanları [54] 33

Şekil 2.10 Biyokütle kaynakları [66] 34

Şekil 2.11 Konut ve hizmet (bina) sektörü sera gazı emisyonları (1990-2015) [68] 36

Şekil 2.12 Bina sektöründe enerji tüketimi [68] 37

Şekil 2.13 Küresel ölçekte tarımsal sera gazı emisyonuna sebep olan kaynaklar [70] 39

Şekil 2.15 Türkiye'de geliştirilen Gönüllü Karbon Piyasası projeleri yıllık emisyon azaltım değerlerine göre sektörel dağılım oranları [75] 41

Şekil 3.1 Gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonu (1960-2014) [80] 54

Şekil 3.2 Çoklu Lineer Regresyon'un 3 boyutlu gösterimi [84] 61

Şekil 3.3 Doğrusal DVM regresyon grafikleri 62

Şekil 3.4 Doğrusal Olmayan DVM regresyon grafikleri 63

Şekil 3.5 Yapay sinir ağlarının yapısı 64

Şekil 3.6 Sinüsoidal dalga modelinde Bayesian Ridge grafiği [89] 65

Şekil 3.8 1960-2030 yılları arasındaki elektrik tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği 67

Şekil 3.9 1960-2030 yılları arasındaki konut ve benzeri yapılardan kaynaklanan CO_2 tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği 68

Şekil 3.101960-2030 yılları arasındaki ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği 69

Şekil 3.11 1960-2030 yılları arasındaki fosil yakıt kullanımından kaynaklanan CO_2 tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği 69

Şekil 3.12 1960-2030 yılları arasındaki toplam CO_2 gazı emisyonu verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği 70

Şekil 4.1 Türkiye'de 1960-2014 yılları arasında kullanılan veri setine göre logaritmik karşılaştırılması 77

Şekil 4.2 Çoklu Lineer Regresyon ile Türkiye'de 1960-2014 yılları arasındaki co2 gazı emisyonları (kt) 78

Şekil 4.3 Çoklu Lineer Regresyon ile Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonu tahmini (kt) 80

Şekil 4.4 Türkiye'de 1960-2015 yıllarında Doğrusal DVM metodu ile CO_2 emisyonu hesaplama 81

Şekil 4.5 Doğrusal DVM ile Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonları (kt) 82

Şekil 4.6 Türkiye'de 1960-2015 yıllarında Doğrusal Olmayan DVM metodu ile CO2 emisyonu hesaplama 83

Şekil 4.7 Doğrusal Olmayan DVM ile Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonları (kt) 85

Şekil 4.8 Yapay Sinir Ağları modelindeki katmanlar 86

Şekil 4.9 Yapay Sinir Ağları ile Türkiye'de 1960-2014 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonları (kt) 86

Şekil 4.10 Yapay Sinir Ağları ile Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonu tahmini (kt) 88

Şekil 4.11 Bayesian Ridge ile Türkiye'de 1960-2014 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonları (kt) 89

Şekil 4.12 Bayesian Ridge İle Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonu tahmini (kt) 90

Şekil 4.13 Bütün Modellerin 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyon tahmin sonuçları 91

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kıta düzeyinde iklim değişikliğinin sonuçları [24] 10

Tablo 2.2 Kyoto Protokülü'nde adı geçen sera gazları ve kaynakları [46] 20

Tablo 2.3 Kyoto Protokol'üne göre sera gazı emisyonlarının sektörel sınıflandırılması [47] 21

Tablo 2.4 Türkiye'nin Paris Anlaşması'ndaki hedefleri [49] 22

Tablo 2.5 Türkiye'nin 1990-2018 yılları arasındaki sera gazı emisyonları [1] 23

Tablo 2.6 Türkiye'nin karbon piyasalarında sektörlere göre projeleri [75] 41

Tablo 3.1 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası nüfus verileri [76] 43

Tablo 3.2 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası GSYH verileri [77] 45

Tablo 3.3 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası elektrik ve ısı üretimi verileri [78] . 47

Tablo 3.4 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası elektrik tüketimi verileri [79] 49

Tablo 3.5 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonu verileri (%) [80] 51

Tablo 3.6 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası konut binalarından ve ticari amaçlı kullanılan hizmet binalarından kaynaklanan CO_2 emisyonu verileri (%) [81] 55

Tablo 3.7 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası konut binalarından ve ticari amaçlı kullanılan hizmet binalarından kaynklanan CO_2 emisyonu verileri (%) [82] 56

Tablo 3.8 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası türkiye'deki toplam CO_2 gazı emisyonu verileri (kt) [76] 58

Tablo 4.1 8 adet veri için regresyon istatistikleri 72

Tablo 4.2 8 adet veri için anova testi 1 72

Tablo 4.3 8 adet veri için resgresyon sonucu 73

Tablo 4.4 6 adet veri için regresyon istatistikleri 74

Tablo 4.5 6 adet veri için ANOVA testi 2 74

Tablo 4.6 6 adet veri için regresyon sonucu 74

Tablo 4.7 5 adet veri için regresyon istatistikleri 75

Tablo 4.8 5 adet veri için ANOVA testi 3 75

Tablo 4.9 5 adet veri için regresyon sonucu 76

Tablo 4.10 Çoklu Lineer Regresyon ile 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini 78

Tablo 4.11 Doğrusal DVM kullanılarak 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini 81

Tablo 4.12 Doğrusal Olmayan DVM kullanılarak 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini 84

Tablo 4.13 Yapay Sinir Ağları 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini 87
Tablo 4.14 Bayesian Ridge ile 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini 89
Tablo 4.15 Model sonuçlarının hata analizleri..... 91
Tablo 4.16 Çoklu Lineer Regresyon ile Sürü Zekası çalışmalarının karşılaştırılması 92

ÖZET

Türkiye'nin Karbondioksit Emisyonu Tahmininde Farklı Göstergelere Dayalı Alternatif Modellerin Karşılaştırılması

Merve ÇİMEN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ebru AKKAYA

Küresel ısınma sera gazlarının da etkisiyle yeryüzünün ve denizlerin ısınması olarak bilinmektedir. Küresel ısınmanın en temel sebeplerinden olan sera gazlarından biri de karbondioksit (CO_2) gazıdır. Günümüzde sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle beraber CO_2 gazı salınımı artmaktadır. Fosil yakıt kullanımı, nüfus artışı, gelir seviyesinin artışı ve buna bağlı olarak enerji tüketimi ve ihtiyaçların artması, yeşil alanların azalması gibi etkenlerden dolayı CO_2 gazı emisyonu çok daha önemli bir seviyeye gelmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre ülkemizdeki 2018 yılında sera gazı emisyonu 475.1 milyon ton civarındadır [1]. Gelişmişlik seviyesindeki artış ile birlikte sera gazı emisyonlarının da artması beklenmektedir. İleriye yönelik olarak alınması gereken tedbirlerin belirlenmesi ve kontrolün sağlanması amacıyla projeksiyonlar yapmak önem arz etmektedir. Bu çalışma ile Türkiye'de CO_2 gazı emisyonunun tahmininde farklı modellerin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Küresel bir sorun haline gelen CO_2 gazı emisyonu için yürütülen birçok çalışma literatürde mevcuttur. Yapılan çalışmaların bir kısmı tahmin modellemesine

dayalıdır ve gelecek yıllar için senaryolar içermektedir. Bu gelecek yıllarda Dünya çapında çevresel zararların önlenmesi, eğer önlenemiyorsa azaltılması amacıyla alınan önlemlerin başlangıcıdır. Konu hakkında elde edilen veri setlerinin özelliklerine göre tahmin metotları geliştirilmiştir. Bu çalışmada Türkiye'nin 2030 yılına kadar olan CO_2 gazı emisyonunu tahmin eden modellerin üretilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında destek vektör makineleri, Bayesian Ridge, lineer regresyon ve sinir ağları yöntemleri kullanılmıştır. Modellemede kullanılan veri setleri olarak, emisyonu etkileyebilecek GSYH, nüfus, konut ve ticari alanlardan kaynaklanan CO_2 emisyonu, ulaşımdan kaynaklanan yakıt tüketimi, elektrik ve ısı üretimi, elektrik tüketimi ve ülkelerin gelişmişlik seviyeleri değişkenleri kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, en başarılı model olarak bulunan çoklu lineer regresyona göre Türkiye'deki 2030 yılı CO_2 gazı emisyonu değeri yaklaşık olarak 546,476 kt olarak tahmin edilmiştir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular incelendiğinde, literatürde CO_2 gazı emisyonu tahmin modellemesiyle ilgili daha önceden çalışılmamış modeller kullanıldığı gözlenmiştir. Türkiye ölçekli olarak bakıldığında hem daha önceden kullanılmayan veriler, hem de daha önceden çalışılmamış modellerin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: CO_2 emisyonu, tahmin, modelleme, Türkiye

ABSTRACT

Comparing of Alternative Models Based on Different Indicators in the Prediction of Turkey's Carbon Dioxide Emission

Merve ÇİMEN

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr Ebru AKKAYA

Global warming is known as the warming of the earth and seas with the effect of greenhouse gases. One of the greenhouse gases, which is one of the main causes of global warming, is carbon dioxide (CO_2) gas. Today, with the development of industry and technology, CO_2 gas emission is increasing. CO_2 gas emission has reached a much more important level due to factors such as fossil fuel use, population increase, increase in income level and consequently increase in energy consumption and needs and decrease in green areas.

Turkey Statistical Institute data according to our country in 2018 is about 475.1 million tons of greenhouse gas emissions [1]. Greenhouse gas emissions are expected to increase with the increase in the level of development. It is important to make projections in order to determine the measures to be taken in the future and to ensure control. With this study to estimate the carbon dioxide gas emission in Turkey aimed to develop of different models.

There are many studies in the literature for CO_2 gas emission, which has become a global problem. Some of the studies conducted are based on forecast modeling and include scenarios for the coming years. This is the beginning of the measures taken

to prevent environmental damage, if not prevented, to reduce it in the coming years. Estimation methods have been developed according to the characteristics of the data sets obtained on the subject. In this study, the CO_2 gas produced in Turkey until 2030, aimed to estimate the emissions from our models. Support vector machines, Bayesian Ridge, linear regression and neural network methods were used in the study. As the data sets used in the modeling, variables such as GDP, population, CO_2 emission from residential and commercial areas, fuel consumption from transportation, electricity and heat generation, electricity consumption and development levels of countries are used as data sets. When the results are examined, found to be the most successful model of multiple linear regression according to the value of CO_2 gas emissions in Turkey in 2030 was estimated to be approximately 546.476 kt.

When the findings obtained as a result of this study were examined, it was observed that previously untested models were used in the literature regarding the estimation modeling of CO_2 gas emission. Considering the scale of Turkey and previously unused data, both are expected to contribute to the literature of previously studied models.

Keywords: CO_2 emission, forecast, modelling, Turkey

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Çevre ile ilgili gelişmeler, iyileştirmeler ve enerji tüketimleri, sera gazı emisyonu tahmin modellemesine olan ilginin artmasına sebep olmuştur. Sera gazlarının, çevre sorunlarının büyük bir kısmına katkıda bulunduğu kanıtlandığı için CO_2 emisyonlarının tahmini Dünya çapında önemli bir hale gelmiştir. CO_2 emisyonlarının tahminI, çevresel sorunların çözülmesi açısından önemli bir anahtar görevi görmektedir [2].

CO_2 gazı emisyonu küresel ölçekte de, en yaygın iklim değişikliği etkenlerindendir. Bu emisyon değeri atmosferde bulunan havayı ısıtıp, sıcaklığı yükselttiği için küresel ısınmaya ve dolayısıyla iklim değişikliğine sebebiyet vermektedir. Küresel olarak da problem haline gelen bu durum, farklı metotlar ile tahmin modellemesi yapılarak, geleceğe dair iyileştirme çalışmaları için pozitif bir etkidir. Son yıllarda bu konu ile ilgili modelleme çalışmaları artmıştır.

2006 yılında Say ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Türkiye'deki CO_2 gazı emisyonunun tahmin modellemesinde çoklu lineer regresyon metodunu kullanmışlardır. Bu amaçla 1970 ile 2002 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Kullanılan veri seti bileşenleri; gayri safi yurtiçi hasıla, nüfus ve toplam enerji tüketimidir. Sonuçlar, gerçek değerlerle karşılaştırıldığında tahmin modellemesi yapılan yıllara göre çok daha fazla çıkmıştır [3].

2010 yılında Kone ve Buke'nin yaptığı bir çalışmada, küresel ölçekte CO_2 emisyonunun tahmin modellemesi regresyon analizi kullanılarak yapılmıştır. 1971 ile 2007 yılları arasındaki CO_2 emisyonu verileri ile analizler tamamlanmıştır. R^2 değerleri 0.94'ün altında olan veriler modellemeye dahil edilmemiştir. 25 ülke küresel ölçek için baz alınmıştır. Hindistan, Güney Kore, İran İslam Cumhuriyeti, Meksika, Avustralya, Endonezya, Suudi Arabistan, Brezilya, Güney Afrika, Tayvan, Türkiye ve Dünya toplamı 11 ülkede istatistiksel olarak anlamlı eğilimler

belirlenmiştir. Modelde çıkan sonuçlarının, ABD Enerji Bakanlığı'nın Uluslararası Enerji Görünümü 2009'da yayınladığı model sonuçları ile aynı aralıkta kaldığı belirlenmiştir [4].

2010 yılında Murad ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Malezya'daki CO_2 gazı emisyonunun tahmin modellemesini lineer regresyon metodu ile yapılmışLardır. Modellemede 1990 ile 2004 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, tarımsal faaliyetler ve CO_2 emisyonu arasındaki ilişkinin ortaya konmasıdır. Sonuç olarak ülkedeki tarımsal faaliyetler ile CO_2 emisyonu arasında doğrudan ve pozitif bir ilişki olduğu ortaya konmuştur [5].

2010 yılında Radojevic ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Sırbistan'daki CO_2 emisyonunun tahmin modellemesi yapay sinir ağları kullanılarak yapılmıştır. 1999 ile 2007 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada 4 adet veri seti kullanılmıştır ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı, gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), gayri safi enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu parametreleri kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde modelin öngördüğü değerler ile gerçek değerler arasında %10 oranından daha az hata oranı tespit edilmiştir [6].

2011 yılında Pau ve Tsai'nin yaptığı bir çalışmada Brezilya'da CO_2 emisyonunun tahmin modellemesi gri model kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada CO_2 emisyonu, enerji tüketimi ve GSYİH olmak üzere 3 adet veri seti kullanılmıştır. Çalışma için 1980-2007 yılları arasındaki veriler modele dahil edilmiş ve 10 yıllık tahmin modellemesi yapılmıştır. Hata analizi yapıldığında, bağıl hata %3'ten düşük olarak belirlenmiştir [7].

2012 yılında Liu ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Çin'deki CO_2 emisyonunun tahmin modellemesi yapay sinir ağları kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, GSYİH, ihracat, TÜFE (tüketici fiyat endeksi) verileri, taşınmaz varlıklara yatırım ve nüfus olmak üzere 1990 ile 2010 yılları arasındaki verileri kapsayan 5 adet veri seti kullanılmış ve 2020 yılına kadar olan CO_2 emisyonu için tahminler yapılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda, bağıl hata %1 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar ile beraber GSYİH'nin CO_2 gazı emisyonunu arttırdığı için, bu yönde çalışmalar başlatılmıştır [8].

2013 yılında Feng ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Çin'in Pekin şehrindeki CO_2 gazı emisyonunun tahmin modellemesi için sistem dinamiğine dayalı bir bilgisayar simülasyon modeli, yani Pekin-STELLA modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada sosyoekonomik, tarımsal, endüstriyel, hizmet, konut ve ulaşımdan kaynaklı CO_2 gazı emisyonuna sebep olabilecek parametreler kullanılmıştır. Kullanılan modelde 2005-2030 yılları arasındaki tahmin verileri değerlendirilmiştir. 2030'daki toplam CO_2 emisyonu tahmin verileri 2005 yılına göre 0.43 kat daha yüksek, 169.67 milyon ton CO_2 eşdeğerine (Mt CO_2-eşd.) ulaşılacağı tahmin edilmiştir [9].

2013 yılında Yılmaz ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Türkiye'deki CO_2 gazı emisyonunun tahmin modellemesi gri yöntem adı verilen bir metot kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, geçmiş yıllara ait CO_2 gazı emisyonu verileri kullanılarak gelecek yılların tahmini yapılmıştır. 1995 ile 2009 yılları arasındaki verilerle 2020 yılına kadar tahmin edilen CO_2 gazı emisyonu hesaplanmıştır. 2020 yılı için tahmin edilen değer 340 milyon tonCO_2 eşdeğeri olarak hesaplanmıştır [10].

2013 yılında Hajji ve Lewis küresel ölçekteki CO_2 gazı emisyonunun tahmin modellemesi için çoklu lineer regresyon (MLR) metodu ile yapmışlardır. Bu çalışmada üretim hızı, faaliyet süresi, toplam yakıt kullanımı ve hafriyat faaliyetlerinden kaynaklanan toplam kirletici emisyonlarını tahmin etmek için kullanılabilecek NONROAD modeliyle birleştirerek bir araç geliştirmişlerdir. Modelin çalışma sisteminin başarılı olduğu ifade edilmiş ve R^2 değeri 0.8934'dir. [11].

2015 yılında Saleh ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada küresel ölçekte CO_2 emisyonunun tahmin modellemesi destek vektör makineleri kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri seti elektrik tüketimi ve kömür yanması sonucu açığa çıkan CO_2 gazı emisyonu hesaplanmıştır. Bu çalışmada veri setinin %90'ı eğitim amaçlı, %10'u da test amaçlı kullanılmıştır. Modelin başarılı bir şekilde çıktı verdiği tespit edilmiştir. RMSE hata değeri 0.004'tür [12].

2016 yılında Pabuççu ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, Türkiye'deki CO_2 emisyonunun tahmin modellemesi yapay sinir ağları kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri seti 5 er yıllık aralarla hesaplanmış ve nüfus, GSYH, enerji

üretimi ve tüketimi, ulaşım için enerji kullanımı, sera gazı salınım parametreleri kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda 2030 yılındaki CO_2 gazı emisyonu 1,244.13 Mt CO_2 eşdeğeri olarak hesaplanmıştır [13].

2019 yılında Hosseini ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada İran'daki CO_2 gazı emisyonunun tahmin modellemesi zaman serileri ve regresyon analizi kullanılarak yapılmıştır. 1970 ile 2014 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Kullanılan veri seti içersinde gayri safi yurtiçi hasıla, nüfus, CO_2 gazı emisyonu, kişi başına düşen enerji kullanımı ve fosil yakıtlardan enerji tüketimi verileri yer almaktadır. Yapılan çalışmada nüfus ve GSYH'nin CO_2 gazı emisyonunu doğrudan etkilediği belirtilmiştir [14].

Yapılan literatür çalışması sonucunda, CO_2 gazı emisyonu tahmin modellemesinde en yaygın kullanılan yöntemler; zaman serileri, regresyon analizi, lineer regresyon, gri yöntem, bilgisayar simülasyon modeli, yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon olarak belirlenmiştir. Kullanılacak olan her model için veri setleri veya veri adedi önemlidir.

Literatürdeki makaleler incelendiğinde, CO_2 gazı emisyonunu en çok etkileyen parametrenin enerji tüketimi, ikincisinin GSYİH olduğu ve üçüncü parametrenin yakıt tüketimi olduğu belirlenmiştir. Bu üç parametrenin birbiriyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. Nüfus artışı ile beraber, bu üç parametrenin de doğrusal olarak değiştiği, verilerden de tespit edilmiştir.

Bu tez çalışmasının yapılma sebebi, kullanılan modellerin bu tür problemlerdeki yeteneklerinin daha iyi olmasıdır. Kullanılan yöntemler arasında modelleme için en sık kullanılan ve başarılı sonuçlar veren yöntemlerden biri olan Çoklu doğrusal regresyon da vardır. Bu modelin kullanılma sebebi, hem kısa sürede bir çıktı elde edilmesi hem de diğer modeller için şahit olabilmesi içindir.

Bayesian Ridge bu modeller arasında giderek popülerleşen bir yapı taşı haline gelmiştir. Olasılık tabanlı bir modelleme metotu olan Bayesian Ridge başarılı tahmin gücüne sahip modeller üretmektedir. Esnek tahmini regresyon işlevlerini sağlamak için, doğrusal olmayan temel veriler de kullanılmaktadır. Standart modellerden çok daha verimli ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir [15].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki CO_2 gazı emisyonunun 2014-2030 yılları için tahmin modellemesinin yapılmasıdır. Tahmin modellemesi için, 1960-2014 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Bu modellemede kullanılan veriler; nüfus, gayri safi yurtiçi hasıla, elektrik enerjisi ve ısı üretimi, elektrik tüketimi, gelir seviyelerine göre CO_2 emisyonu, konutlar, ticari ve kamu hizmetlerinden kaynaklanan CO_2 emisyonu, ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimi ve toplam CO_2 emisyonu'dur.

CO_2 emisyonu tahmin modellemesi üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan veri setinin doğru seçilmesi en önemli kriterdir. Küresel olarak veriler incelendiğinde, CO_2 emisyonunu etkileyen parametrelerin önceliği de değişmektedir. Türkiye'deki CO_2 gazı emisyonu tahmin mollemesi, geleceğe yönelik iyileştirme projeleri açısından önemlidir. CO_2 gazı emisyonunun, sera gazı artışına ve doğrudan küresel ısınmaya sebep olduğu bilindiğinden, gelecek nesiller için önlem alabilmek için yapılan modelleme çalışmaları, tahmin esaslıdır.

Teknolojik gelişmelerle beraber, çevre mühendisliğinde de tahmin modellemesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, modelleme için kullanılan yöntemlerin kolaylığı ve literatürde bazı modellerin çalışılmamış olması, başka bir bakış açısı ve hesaplama çıktılarını etkilemektedir. Kullanılan veri seti, tahmin modellemesini geliştirmek için Python'da çalıştırılmıştır.

1.3 Hipotez

CO_2 emisyonu tahmin modellemesi, geleceğe dair farklı senaryolar çıkarmak amacıyla önemlidir. Bilindiği üzere küresel ısınmanın en temel sebeplerinden biri olan sera gazlarının artışı, Dünya'nın sürdürülebilirliği açısından, en önemli etkenlerdendir. Sera gazı tahmin modellemesi yapılması da, gelecek nesillerin önlem alabilmesi için iyi bir öngörü olacaktır. Sanayileşmenin ve teknolojinin artması sebebiyle gün geçtikçe Dünyanın gün geçtikçe ısınmakta olduğu ve bu durumun da beraberinde birçok hastalık ve kıtlığa sebep olacağı tahmin edilmektedir. Bunlara ek olarak, bazı ülkelerin sular altında kalacağı ve küresel ısınmadan dolayı iklimlerin değişeceği, hatta Türkiye için tek tip iklimin görüleceği bilinen gerçekler arasındadır. Küresel ısınmanın beraberinde getirdiği birçok

olumsuz durumdan dolayı, fosil yakıt tüketimi, elektrik kullanımı ve kontrolsüz nüfus artışı gibi parametreler için daha çok önlem alınması gereklidir.

Küresel olarak bakıldığında her ülkenin enerji tüketimine göre önlem alması gereken farklı parametreler vardır. Türkiye için yapılan tahminler sonucunda bu çalışmada her ne kadar 8 adet veri üzerine odaklanılsa da, özellik seçimi olarak bilinen "feature selection" ın ardından 5 adet veri kullanılmıştır. Kullanılan veriler sırasıyla, nüfus, fosil yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, bina ve ticari yapılardan kaynaklı CO_2 emisyonu ve ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimidir.

Elde edilen çalışmalar literatürle karşılaştırılarak verilerin doğruluğu gözlenmiştir. Modellemeye dahil edilecek ham veriler ilk olarak ANOVA testi ile kullanılabilir duruma getirilerek, destek vektör makinleri (SVM), Bayesian Ridge, lineer regresyon ve sinir ağları analizleri ile, Python programı kullanılarak geliştirilmiştir. Kullanılan 4 adet modelde Bayesian Ridge ile ilgili literatürde çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır.

Kullanılan modeller, literatür ile karşılaştırıldığında, hem ANOVA testi yapılması, hem Python kullanıldığı için modelin daha hızlı çalışması açısından ve daha önceden CO_2 gazı emisyonu tahmin modellemesi yapılırken 4 adet modelin birbiriyle karşılaştırma gibi bir durum gözlenmemiştir.

Bu çalışmanın hipotezi, literatürde CO_2 gazı emisyonu için yapılan tahmin modellemelerinde, rastlanmamış ve başarılı olacağı öngörülmüş olan Bayesian Ridge modelinin hem süre olarak, hem hata analizi yapıldığında en düşük hatayı ve en iyi sonuçları vermesidir. Bu sebeple karşılaştırma yapılabilmesi için, birden fazla model kullanılmıştır.

2
KÜRESEL VE TÜRKİYE ÖLÇEKLİ CO_2 EMİSYONU

2.1 Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye Üzerindeki Etkileri

Küresel ısınma en genel tanımıyla sera gazlarının, Sanayi Devrimi'nden başlayarak zaman içinde atmosferde birikimi sonucu ortaya çıkması olarak ifade edilmektedir. İnsanlık tarihindeki önemli değişiklikler arasında Sanayi Devrimi vardır. Sanayi Devrimi; bilim, sanayi, teknolojideki gelişmelerle birlikte, Dünya nüfusunda artışlara sebep olmuştur. Bu durum da, antropojenik sera gazı emisyonlarında artış ve insan refahını daha düşük seviyelere getirecek olma endişelerine sebebiyet vermektedir. Sonuç olarak atmosferin bileşimi değişmiş ve küresel iklimde bir değişiklik meydana gelmiştir [16].

İklim değişikliği ile ilgili ilk çalışmalar 1859'da John Tyndall tarafından yapılmıştır. Tyndall, su buharı ve karbondioksit (CO_2) seviyelerindeki değişikliklerin iklim değişikliğine yol açacağını açıklamıştır. 1896'da Svante Arrhenius tarafından antropojenik CO_2'in doğrudan neden olduğu küresel ısınma hesaplanmıştır. Ancak 1938'de Guy Stewart Callender, Dünya'nın ilk kez yavaş yavaş ısındığından bahsetmiştir. Yaklaşık 30 yıl sonra, 1970'lerin başında yapay kloroflorokarbonların (CFC's) stratosferik ozon (O_3) tabakasını incelttiği ve zamanla bir deliğe sebep olacağı, CFC'lerin, metanın (CH_4) ve ozon (O_3)'un sera etkisine neden olduğu keşfedilmiş ve ortaya çıkmıştır [17]. Aynı dönemde bilim adamları, 21. yüzyılın en büyük sorununun küresel iklim değişiklikleri ve bunların sonuçları olacağı iddia etmişlerdir. 1987 yılında, birçok ülke, ozon tabakasını incelten gazların kullanımına kısıtlamalar getiren Montreal Protokolünü imzalamıştır. 1990'lara kadar, atmosferik aerosolün bir soğutma etkisine sahip olduğu keşfedilmiştir. Buna dayanarak, sera gazlarının pozitif olarak ilişkili olduğu ve atmosferik aerosollerin küresel sıcaklıkta bir artış ile negatif olarak ilişkili olduğu kabul edilmiştir [18].

Güneşten Dünya'ya, görünür spektrumda ve çok kısa dalga boylarında radyasyon gelir. Aynı zamanda bu Dünya'nın iklimini etkileyen bir faktördür. Bu dengenin

bozulması, sera gazı konsantrasyonlarındaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, Dünya Güneş'ten daha soğuk olduğu için, ondan yansıyan enerji, insanlar tarafından görülemeyen spektrumun kızılötesi bölgesi içinde olacaktır. İdeal bir durumda Güneş'ten emilen radyasyon uzaya eşit olarak yansıtılır. Kıtalar ve su tarafından yansıtılan termal radyasyonun bazı kısımları atmosfer ve bulutlar tarafından korunur ve sonra Dünya'ya döner. Bu olay Dünya'nın yüzeyini ısıtır ve sıcaklığı 14 °C'ye yükseltir [19]. Atmosferin sadece soğurulan Güneş radyasyonundan daha sıcak olmasının nedenI "sera etkisi" olarak bilinir. Sera etkisi, Dünya atmosferinin ortam sıcaklığını ~33 ° C arttırır. Dünya yüzeyinin sıcaklığındaki artış, sera gazı etkilerinin bir sonucudur.

Atmosferik CO_2, su buharı (H_2O), metan (CH_4) ve azot oksit (N_2O) gibi sera gazları, Dünya'nın yüzeyinden yansıyan radyasyonu emer ve molekülleri ısınır. Bu, daha sıcak moleküller diğeriyle çarpışır. Havadaki moleküller, atmosferin diğer bölümlerinin ısınmasına yol açar. Ek olarak, bu sera gazları ısındıktan sonra yayılmaya başlarlar. Bu radyasyonun bir kısmı uzaya kaçar, ama bazıları Dünyaya geri döner. Bu radyasyon, güneş radyasyonuna ek olarak, sera etkisi yaratır [20]. CO_2, su buharı ve bulutlar birlikte sera etkisinin %90'ına neden olurken; diğer sera gazları kalan %10'dan sorumludur [21].

Milyonlarca yıldır fosil olarak biriken organik karbon çıkarılır ve yakıt olarak kullanılır (kömür, petrol ve doğal gaz). Küresel olarak, atmosferdeki antropojenik CO_2'nin %80'i nakliye veya endüstriyel emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Kalan %20 ise ormansızlaşma ve biyokütle yakmasından kaynaklanmaktadır. Yaklaşık 900 m^2 orman 25 ton karbon biriktirebilir; ancak yeryüzündeki ormanların yarısı yirminci yüzyılın ikinci yarısında yok edilmiştir. Buna ek olarak, çimento ve üretilen seramik gibi bazı endüstrilerde kullanılan karbonat hammaddesi nedeniyle atmosfere daha fazla CO_2 yayılır.

Fosil yakıt tüketimi de küresel ısınmaya neden olabilecek durumlar arasında yer almaktadır. Fosil yakıtlar yenilenebilir enerji kaynakları değildir ve Dünya'daki rezervler sadece 40 ile 200 yıl daha devam edecektir. Fosil yakıtların kullanımı tüm rezervler tükenene kadar devam ederse, gelecek yüzyıldaki atmosferik CO_2 seviyelerinin bugünkünden dört kat daha fazla olacağı tahmin edilmektedir [22].

CH_4 gazı, mikroorganizmalar organik maddeleri anaerobik koşullar altında ayrıştırdıklarında açığa çıkar. Bu gaz canlılar ve insan faaliyetleri ile doğal olarak üretilir. Atmosferdeki konsantrasyonu ~1.7 ppm'dir. Sulak alanlar, bataklıklar, okyanuslar ve bitkiler CH_4'ün en önemli kaynaklarıdır ve Dünyanın CH_4 neslinin %20'sinden sorumludur. Düzenli depolama alanlarının ayrıştırılması, fosil yakıtların yakılması ve tarımsal faaliyetler, CH_4 üreten insan faaliyetlerine örnektir. Tüm tarımsal faaliyetler arasında koyun ve büyükbaş hayvan yetiştirme, pirinç ekimi ve işlenmesi gibi hayvancılık en yüksek CH_4 kaynaklarıdır. 1750'den beri atmosferdeki CH_4 konsantrasyonu %150 arttı ve 1960'dan beri altı kat artış oldu. Dünya'da, toplam CH_4 emisyonunun 598 Tg/yıl olduğu hesaplanmakta olup, bu miktarın yaklaşık %60'ı antropojeniktir [19].

Başka bir sera gazı tipi olan N_2O, diğer sera gazlarından daha düşük emisyon gösterir. N_2O'nun doğal kaynakları okyanuslar ve atmosferdeki ve topraktaki amonyağın oksidasyonudur. Özellikle, tropikal topraklar atmosfere önemli miktarda N_2O yayar. Antropojenik kaynaklar, örneğin, tarım faaliyetlerini (örneğin, gübre kullanımı, hayvancılık), yanan fosil yakıtları ve bazı endüstriyel faaliyetleri içerir. Özellikle, azotlu gübre kullanımı ve kömür yakılması N_2O emisyonlarını arttırır. Ayrıca, naylon ve nitrik asit üretimi N_2O yayar. Sanayi Devrimi ile karşılaştırıldığında, atmosferik konsantrasyonu %16 artmış ve yıllık ortalama %0.25 artmaya devam etmektedir. Sanayi Devrimi sırasındaki konsantrasyon 275 ppb iken, troposferik N_20 konsantrasyonu 312 ppb'ye yakındır [23].

Küresel iklim değişikliğinin önemi yakın zamana kadar anlaşılmasa da, birçok insan bunu önlemek için hiçbir şey yapılmazsa sonuçların daha kötü olacağının farkındadır. Araştırma verilerinden, Dünya'nın iklim değişikliklerinden 20-30 yıl sonra çok daha önemli ve ciddi tehlikelerle karşı karşıya kalacağı gösterilmiştir. Örneğin, denizler ve okyanuslar gibi büyük su kütlelerini ısıtmak uzun zaman alır. Yazın başında, su yazın orta ve son kısımlarından biraz daha soğuktur. Aynı mantık küresel ısınma için de geçerlidir; bu nedenle, emilen ısının etkisi 20-30 yıl sonra ortaya çıkacaktır. Bu aynı zamanda karbon kullanımındaki mevcut değişikliklerin 20-30 yıl sonra etkili olacağı anlamına gelmektedir.

Fırtınalar, su kıtlığı, sıcak hava dalgaları, musonlar, mercan resiflerinin yok edilmesi, yiyecek kıtlığı, ormansızlaşma ve deniz seviyesinin yükselmesinin daha belirgin ve sık olması bekleniyor.

Dünya'da, küresel ısınmaya ilişkin kıta seviyesinde 10-30 yıl içinde beklenen değişiklikler Tablo 2.1'de verilmektedir [24].

Tablo 2.1 Kıta düzeyinde iklim değişikliğinin sonuçları [24]

Kıtalar	**Su Kıtlığı**	**Besin Üretimi**	**Hastalıklar**	**Sel**	**Sıcak Hava Dalgası ve Yangın**
Afrika	2020 yılının sonuna kadar 75-250 milyon arasındaki kişi risk altında	2020 yılı sonuna kadar hasat verimi %50 düşecek	Afrika'nın doğusunda dağlık bölgelerde sıtmada artış	Kıyı bölgelerde yüksek risk	Kuraklık ve sıcaklık artması sebebiyle orman yangınları artacak
Asya	2020 yılına sonuna kadar 120milyon-1.2 milyar kişi risk altında	2020 yılı sonuna kadar hasat verimi % 2.5-10 düşecek,	Sıcaklık artışı ve seller nedeniyle kolera ve tifüs salgını artacak	Sel ve kasırgalar sebebiyle 2,5 milyon insan risk altında olacak	Güney ve Doğu Asya'da yüksek sıcaklıga baglı ölümler artacak
Avustralya Yeni Zelenda	2030 yılına kadar su kaynaklarında %20 azalma, güney ve doğu bölgelerinde daha az kar örtüsü	Mercan kayalıklarının tropik adaların balık miktarında azalma,	0,1–0,3 milyon kişi daha 2020 yılına kadar bulaşıcı ateşten muzdarip olacak	0,1–0,3 milyon kişi daha 2020 yılına kadar bulaşıcı ateşten muzdarip olacak	Orman yangınlarının sıklığında % 4-25 artış Avustralya ve sıcak sıcaklığa bağlı ölümler
Kuzey Amerika ve Kutup Bölgesi	Halen kullanımda olan su kaynaklarında azalma beklenmektedi	Özellikle üzüm üretiminde kalite ve verimde azalma	Kenelerle bulaşan Lyme hastalığının 200 km kuzeye ilerlemesi bekleniyor	Özellikle Meksika Körfezi kıyılarında sel ve tropik fırtınalarda artış	Artan kuraklıklar nedeniyle yangın riskinde artış

Tablo 2.1 Kıta düzeyinde iklim değişikliğinin sonuçları (devamı)

Kıtalar	Su Kıtlığı	Besin Üretimi	Hastalıklar	Sel	Sıcak Hava Dalgası ve Yangın
Orta ve Güney Amerika	2020 yılına sonuna kadar 75-250 milyon kişi risk altında	2020 yılı sonuna kadar hasat verimi %50 düşecek	Afrika'nın doğusunda dağlık bölgelerde sıtmada artış	Kıyı bölgelerde yüksek risk	Kuraklık ve sıcaklık artması sebebiyle orman yangınları artacak
Avrupa	Güney bölgelerindeki su kaynaklarında% 23'e kadar azalma, Akdeniz çevresindeki kuraklık ve yangınlarda artış	Kuzeyde ürün artışı, güneyde azalma	Değişiklik gözlenmedi	Kuzey Atlantik'te artan fırtına sayısı, deniz seviyesinin yükselmesi, şiddetli fırtınalar ve özellikle kıyı ve iç bölgelerde etkili yağmurlar	Sıcak ve soğuk hava kaynaklı ölümlerin meydana gelmesi

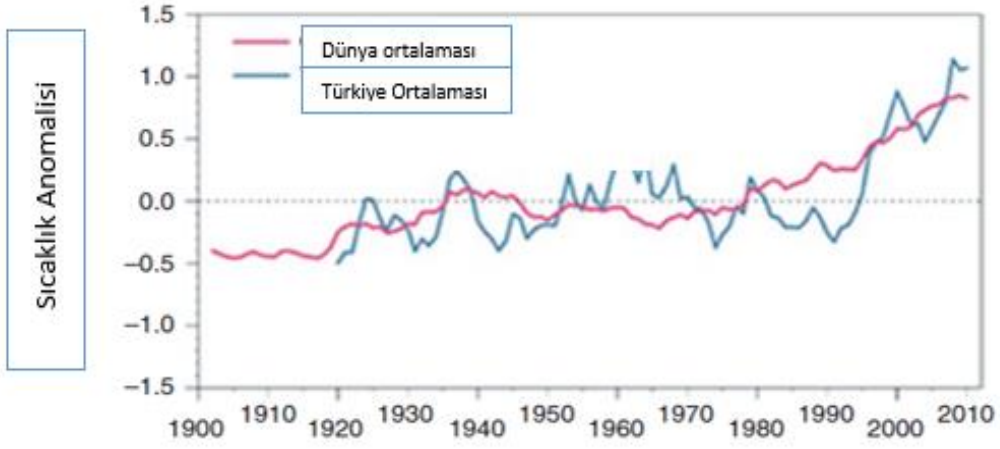
Türkiye ortalama küresel sıcaklık artışını 2 °C'nin altında tutmayı amaçlayan ve 2020'den itibaren yürürlüğe giren ve iklim değişikliğine karşı mücadelede yol haritasını sunan Paris Anlaşmasına katıldı. Hızlı gelişen bir ekonomi olarak, Türkiye 2030 yılında tahmini sera gazı emisyonlarını yaklaşık %21'den fazla azaltmayı planlamıştır.

2004 yılından bu yana, Türkiye İstatistik Kurumu Birleşmiş Milletler İlklim Değişikliği Paneli (IPCC) rehberini kullanarak ülkenin sera gazı emisyonlarını hesaplamıştır [25] . 2016 yılında Türkiye Altıncı Ulusal İletişimi hazırlanmış ve yayınlanmıştır [26].

İklim değişikliği bölgeden bölgeye değişmektedir. Türkiye'nin uzun vadeli sıcaklık anormallikleri Dünya'daki değişime oldukça benzer bir eğilim göstermektedir; ancak, dikkate değer bazı farklılıklar vardır.

Örneğin, küresel sıcaklık artışları 1980'lerde başlamış olur Türkiye'de ancak 1990'dan sonra başlamıştır (Şekil 2.1). Bu sıcaklık artışı Türkiye'de daha çok yaz

aylarında görülmektedir. Örneğin, 1970 ve 2000 yılları arasında yaz sıcaklıklarında 1,5 ° C'lik bir artış olmuştur.



Şekil 2.1 Türkiye'nin uzun vadeli sıcaklık anomalileri [27]

Şekil 2.1'de de görüldüğü üzere Dünya sıcaklık artışına bakıldığında, Türkiye sıcaklık değerleri son yıllarda bu verileri geçmiştir.

2005 yılından sonra Dünya sıcaklık artışı ile Türkiye sıcaklık artışı arasındaki fark yaklaşık olarak 0.5 °C'dir.

2.2 İklim Değişikliğine Sebep Olan Sera Gazları

Yeryüzüne ve atmosfere gelen kısa dalga boylu güneş ışınları ile geri yansıtılan uzun dalga boylu yer ışımalarının dengede olması gerekmektedir. Atmosferin yapısında bulunan doğal sera gazları olarak bilinen bazı gazlar, ışımalara karşı geçirgendir, ancak bazılarının geçirgenlik özellikleri uzun dalga boylarına karşı çok daha azdır. Bu sebeple sera gazlarının varlığı ile beraber yeryüzü daha fazla ısınmaktadır. Sera etkisi olarak bilinen bu durum, Güneş'ten gelen kısa dalga boylu ışınların atmosferden yeryüzüne gelip çarparak, daha uzun dalga boylu ısı ışınları halinde atmosferde bulunan sera gazları tarafından yeryüzüne yansıtılmasıdır [28]. Sera gazlarının sıcaklığı tutması sebebiyle, yeryüzündeki sıcaklık ortalama -18 ^{0}C'den +15 ^{0}C'ye yükselmiştir. Bu artış yeryüzündeki canlıların hayatlarını devam ettirebilmesi için gerekli olan ısıdır [29].

Sera gazları hem doğal yollardan var olan hem de insan kaynaklı sonradan açığa çıkan gazlardır. Sera gazlarının %85'ini su buharı (H_2O) oluşturmakta, %12'si ise

küçük su molekülleri tarafından oluşmaktadır. Karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), nitrojen oksit (N_2O), ve ozon (O_3) Dünya'nın atmosferdeki bilinen doğal sera gazlarındandır. Doğal yollardan olmayan, sonradan insan etkisiyle açığa çıkan sera gazları ise sırasıyla, hidroflorokarbonlar (HFC's), kükürtheksafloroitler (SF_6) ve perflorakarbonlar (PFC's) olarak bilinen yapay gazlardır. CO_2, CH_4 ve N_2O gibi sera gazları atmosferde doğal olarak var olmalarına istinaden insan aktiviteleri sonucu yapay olarak da, bu gazların atmosferdeki yoğunlukları değişebilmektedir. Sera gazlarının etkileri ve miktarları yapılan faaliyetler ve insan aktiviteleri sonucunda Dünya atmosferinde hızlı bir şekilde yükselmekte ve yüzey sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Bu duruma bir diğer deyişle küresel ısınma olarak adlandırılmaktadır.

Endüstriyel ve teknolojik sebeplerin yanı sıra, nüfus artışı da sera gazı salınımının hızlı bir şekilde artmasının nedenleri arasındadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde küresel ısınmanın büyük problemlere yol açtığı görülmüştür. Küresel ısınma, iklim değişikliğine ve bu sebeple doğal afetlere neden olduğu için Dünya üzerindeki bütün canlı hayatlarına karşı büyük bir tehdit haline gelmiştir. Bu gibi sebepler göz önüne alındığında, sera gazlarının azaltılması ve kontrol altına alınması için birçok ülke ulusal ve küresel olarak düzenlemeler yapmıştır. Ülkeler bu düzenlemeler doğrultusunda, sera gazı emisyonunu azaltmak için ileriye yönelik yol gösterici olması niteliğinde, tahmin modellemesi üzerine çalışmaktadırlar [30].

Doğal sera gazı emisyonundaki insan kaynaklı artışların sebepleri barınma, ulaşım, elektrik üretiminde yakıt olarak olarak kullanılan yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Bunlara kömür, petrol, doğalgaz gibi örnekler verilebilir. Tarımsal faaliyetler ve atık sektöründe de kullanılan çeşitli kimyasallar ve gazlar da bu artışı neden olmaktadır.

Endüstriyel sera gazlarındaki emisyon artışı 20. yüzyıldan itibaren geliştirilmeye başlanan yeni sanayi kollarından kaynaklanan ürünlerin üretimi ya da tüketimi sırasında ortaya çıkan ve doğal sera gazlarından çok daha fazla ışımalara sebep olan sera gazlarının atmosfere salınmasına sebep olmaktadır.

Yine aynı şekilde ormanlarının yok edilmesi ve bu alanların yerine, konut, işyeri, fabrika gibi yapıların yapılması sonucuyla sera gazlarının atmosferden dışarı çıkarılmasına sebep olan gazlar yok olmakta ve sıcaklık artışı ve doğal olarak sera gazı artışı meydana gelmektedir [31].

Buna ek olarak, Türkiye'nin doğal ve tarımsal peyzajı, ulusal sera gazı emisyonlarına katkıda bulunmaktadır. Tarımdan kaynaklanan CH_4 ve N_2O, ormanların hapsettiği CO_2 ile dengelendiği için, Türkiye'nin toplam emisyonlarını bir miktar azaltmaktadır.

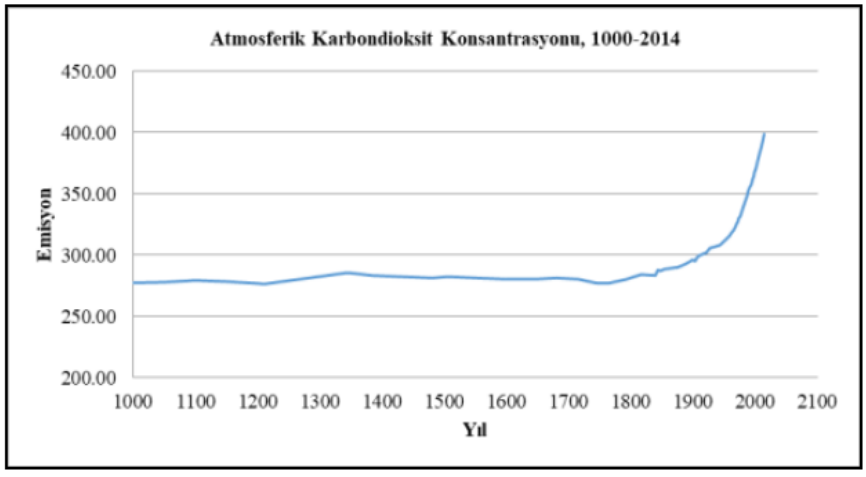
Kömür, arabalar, inekler ve inşaat, 2018 yılında Türkiye sera gazı emisyonlarının yaklaşık yarısına sebep olmakta, ancak açığa çıkan bu sera gazlarının neredeyse beşte biri ağaçlar tarafından giderilmektedir. Türkiye Dünya'daki toplam sera gazının neredeyse %1'inden sorumludur ve sera gazı emisyonu yayan ülkeler arasında 18. sırada yer almaktadır [32].

Türkiye'de iklim değişikliğinin ciddi etkileri olacağı tahmin edilse de, ülkenin emisyonları sınırlama planları "İklim Eylemi İzleyicisi kurulu düşüncesi tarafından kritik derecede yetersiz" olarak tanımlanmıştır [33]. Türkiye, sera gazı emisyonunu azaltma konusunda küresel anlaşmalar imzalamıştır. Sera gazı emisyonları 20. yüzyılın sonlarında ve 21. yüzyılın başlarında hızlı bir şekilde artmıştır, ancak 2010'larda ve 2020'lerde enerji verimliliğine ve yenilenebilir enerjiye yatırım artmıştır [34]. Sera etkisine neden olan başlıca gazlar sırasıyla karbondioksit, metan, su buharı ve ozon olarak belirlenebilir. Atmosferde sıvı halde bulunan ve suyun gaz hali olarak tanımlanabilecek su buharının küresel ısınma ve iklim değişikliğindeki sera gazı emisyon etkisi oldukça fazla olup atmosferdeki miktarı çok nadir durumlarda artmaktadır. Yeryüzünün ısınmasında oldukça önemli rolü olan karbondioksit (CO_2) renksiz ve kokusuz bir gaz olup, güneş ışınlarına karşı geçirgen olmasıyla yeryüzüne çarpıp yansıdıklarında güneş ışınlarını soğutur. Son birkaç yüzyılda çok fazla bir artış gösterip, iki katına çıkan metan gazı (CH_4), en az karbondioksit kadar sera gazı emisyonu etkisi fazla olan bir doğal gaz bileşenidir. 250 derece sıcaklıkta kimyasal reaksiyona giren azot oksitlerinin oluşturduğu Azot Oksit Gazlarının (NOx) kaynakları, egzoz kaynakları, fosil yakıtlar ve organik maddelerdir [1].

2.2.1 Karbondioksit

Karbonun doğada bir döngü durumunda olduğu bilinmektedir. Bu döngü hali, atmosfer, okyanuslar, kara ve deniz canlıları, mineral rezervleri arasında meydana gelmektedir. En önemli döngüler ilk olarak, atmosfer ve okyanuslar arasında bir diğeri de atmosfer ve bitki örtüsü arasında gerçekleşmektedir. Atmosferdeki karbon çoğunlukla oksijenle reaksiyona girmiş olarak, yani oksitlenmiş formundaki $C0_2$ olarak görülmektedir [35]. Normal koşullarda ekosistemde karbon döngüsü mevcuttur ve enerji dönüştüğü sürece bu döngü var olur. Ancak enerji için kullanılan fosil yakıtlar ve bazı sanayi kollarının yapılan üretimler, ulaşım, tarım ve hayvancılık gibi iş türleri sebebiyle atmosferdeki sera gazları gibi karbon dengesi de dönüşüme uğramıştır [36].

Sanayi Devrimi'nden sonra, karbon temelli fosil yakıtların kullanımıyla beraber, atmosferdeki karbondioksit (CO_2) konsantrasyonu hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. Karbondioksitin atmosferik konsantrasyonu Dünya çapında sanayi devrimden önce 280 ppm civarındayken, 1900'lü yıllarına başına kadar 260-290 ppm seviyelerinde seyir etmekte olduğu gözlenmiştir [37]. Ancak şu anki değerleri Sanayi Devrimi öncesindeki konsantrasyondan %30 oranında daha yüksek bir seviyeyeulaşmıştır. Aşağıda Şekil 2.2'de 1000 ve 2014 yılları arasındaki karbondioksit konsantrayonu yer almaktadır. [38].



Şekil 2.2 1000-2014 yılları arasında atmosferik karbondioksit konsantrasyonu [38]

2.2.2 Ozon

Ozon, birbirine bağlı üç oksijen atomundan oluşan bir moleküldür. Farklı kimyasal özellikleri nedeniyle atmosferde iki farklı halde görülür. Stratosferde ozon, yüzeye ulaşmadan önce zararlı ultraviyole radyasyonu emerek bizi güneşten koruyan bir tabaka oluşturur. Ozon tabakasının delinmesi, çiftçiler gibi dışarıda çok fazla zaman geçiren insanlardaki cilt ve diğer kanserler vakalarında artışa sebep olmaktadır.

Ozon saf oksijen olmasına rağmen, nefes aldığımızda ciğerlerimiz tarafından kullanılamamaktadır. Tipik bir ozon molekülünün ömrü saatler ila günler arasındadır, ancak yine de yerel hava durumu üzerinde dramatik bir etkisi vardır. Günlük sıcaklıktaki ani artışlara ve bazı durumlarda aşırı sıcak hava dalgalarına sebep olduğu da bilinmektedir. Ozon aynı zamanda kimyasal bir tahriş edicidir ve dumanın bir bileşenidir, bu nedenle astımı ağırlaştırabilir ve otomobil kaplamalarını bozabilir ve maruz kalan bina yüzeylerinde korozyona sebep olabilir [39].

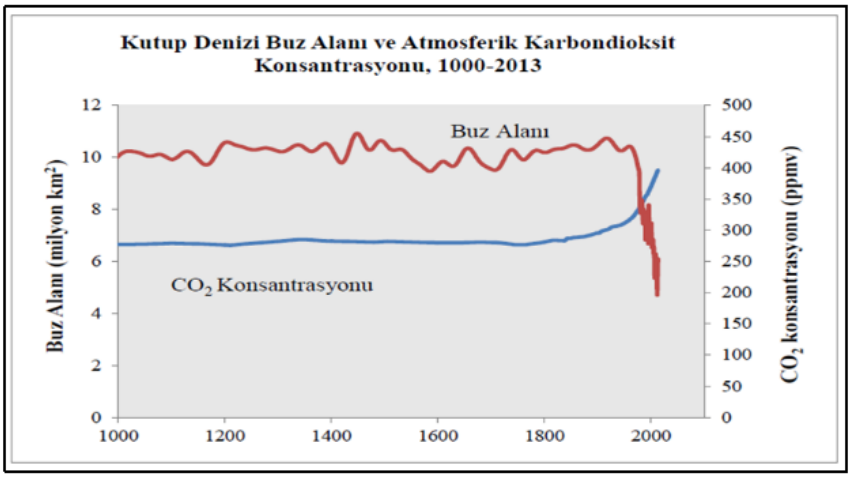
2.2.3 Metan

Atmosferdeki en önemli ikinci gaz olarak yer alan metan gazı, atmosferin %0,00018'ini oluşturmaktadır. Doğada sera gazı emisyon artışına sebep olan metan gazı birçok yerde oluşmaktadır.

Atmosferdeki yoğunluğu ise karbondioksit ile karşılaştırıldığında oldukça düşük ve atmosferde kalma süresi yaklaşık olarak onda biri oranında olmasına rağmen, küresel ısınmaya sebep olan etkili gazlar arasında yer almaktadır. Bunun sebebi ise metan gazının kızıl ötesi ışınları soğurma gücü karbondioksitten çok fazla olmasıdır [40].

Şekil 2.3'de de görüldüğü gibi CO_2 konsantrasyonunun değişmesi ile buzulların erimesi birbiriyle doğru orantılı olarak değişmektedir.

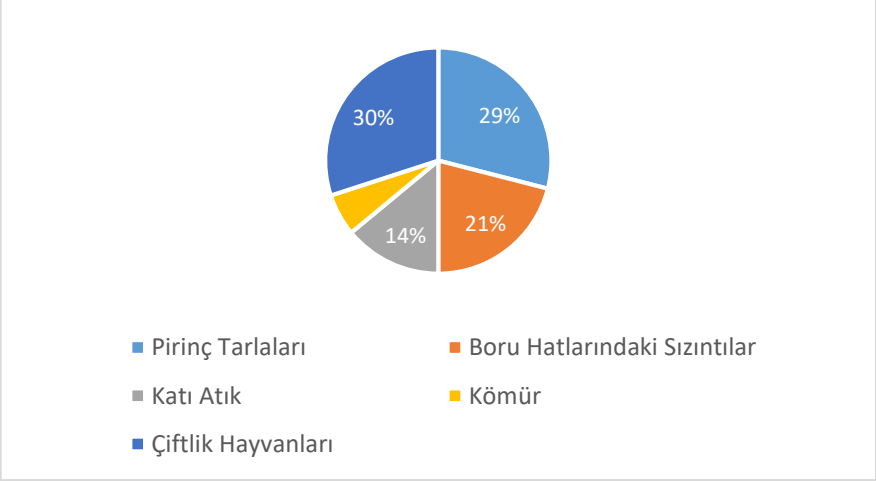
CO_2 konsantrasyonu arttıkça Dünyanın ısısı da artmakta ve bu ısı buzulların erimesini de arttırmaktadır. Buzulların erimesiyle beraber metan konsantrasyonunda da bir artış gözlenmiştir.



Şekil 2.3 1000-2013 yılları arası kutup denizi buz alanı ve atmosferik karbondioksit konsantrasyonu [39]

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)'nin araştırma sonuçlarına göre, atmosfere karışan CH_4 konsantrasyonunun ortalama %50'si insan faaliyetleri sonucu açığa çıkmıştır [41].

Şekil 2.4'de insan aktiviteleri sonucu atmosfere yayılan metan kaynaklarının neler olduğu gösterilmiştir. Bu kaynaklar şekilden de anlaşılacağı üzer 5 faktörlü olarak gösterilmiştir. İnsan aktiviteleri sonucu açığa çıkan metanın %30'u çiftlik atıklarından, %29'u pirinç tarlalarından, %21'i boru hatlarındaki sızıntılardan %14'ü katı atıklardan ve kalan %6'sı ise kömür kaynaklı olarak sınıflandırılmıştır. [40]



Şekil 2.4 İnsan aktiviteleri sonucu atmosferdeki metan dağılımı [40]

2.2.4 Azot Monoksit

Azot oksitlerden en önemlisi olan azot monoksit (N_2O) bir diğer sera gazı kaynağıdır. Azot oksitler (N_2O), azot ve oksijenin 250 ^oC sıcaklıkta reaksiyona girmesiyle oluşur. Atmosferde oldukça az rastlanan bir gaz olan azot monoksit, sera gazı emisyonunun yaklaşık olarak %8'ine sebep olmaktadır [39].

Karbondioksit ile karşılaştırıldığın atmosferde kalma süresi 50 yıl daha fazladır ve 150 yıldır. Azot oksitlerin karbondioksite kıyasla sera etkisi 300 kat daha büyüktür [40]. Çok büyük bir kısmının toprakta oluştuğu kabul edilmiştir. Sanayi Devrimi öncesi değeri yaklaşık olarak 270 ppb'dir. 2005 yılındaki değeri 319 ppb'ye çıkmıştır. Son 250 yılda azot monoksit konsantrasyonu %16 artmıştır. 1980 yılından beri büyüme hızı sabit kabul edilmektedir [41].

2.2.5 Halokarbonlar, Kloroflorokarbonlar, Perflorokarbonlar, Hidroflorokarbonlar ve Kükürt Heksaflorür

Bu gazlar insan aktiviteleri sonucu açığa çıkmış yapay gazlardır. 1930'lu yıllarda üretilmeye başlanmıştır ve küresel ısınmaya etkileri çok fazladır. Kimyasal kararlılıkları yüksektir. Bu kimyaları sebebiyle 100 yıl kadar atmosferde parçalanmadan kalabilirler. Karbondioksitle karşılaştırıldıklarında ısıyı tutma kapasitelerinin 20.000 kat daha fazla olduğu bilinmektedir [40]. Kloroflorakarbonlar olarak adlandırılan bu gazlar sanayileşme ile beraber çok daha fazla artış göstermişlerdir [39].

Montreal Protokolünde 'Ozon Tabakasını İncelten Maddeler'e ilişkin bu gazlar için düzenlemeler yapılmıştır ve kloroflorakarbonlar kullanımdan kaldırılan gazlar arasında yer almıştır [42].

2.3 Türkiye'nin Kyoto Protokolündeki Yeri

Aralık 1997'de Japonya'nın Kyoto şehrinde gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 3. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. Sözleşme sanayileşmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını stabilize etmeleri yönünde bağlayıcı olmayan bir yükümlülük tanımlamışken, Protokol sanayileşmiş ülke taraflarına bağlayıcı sera gazı emisyon sınırlama ve azaltım yükümlülükleri getirmiştir. Protokolün ülkelerin onayına ve uygulamasına hazır hale getirilmesi için gerekli ayrıntılı uygulama kuralları 2001 yılında Marakeş'te

gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. "Marakeş Uzlaşmaları" olarak adlandırılan bu kurallar 2005 yılında Protokol'ün 1. Taraflar Toplantısı'nda onaylanmıştır. 16 Şubat 2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'ne Mayıs 2010 itibariyle 191 ülke ve Avrupa Birliği taraftır [43].

Türkiye, Mayıs 2004'te Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (UNFCCC) ve 5 Şubat 2009'da Kyoto Protokolüne taraf olmuştur. İklim Değişikliği Koordinasyon Komitesi 2010 yılında Türkiye'de kurulmuş ve İklim Değişikliği ve Hava Yönetimi olarak yeniden adlandırılmıştır. Türkiye'de kişi başına düşen sera gazı emisyonları, İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (OECD) ve Avrupa Birliği ülkelerine kıyasla çok düşüktür; ancak, Türkiye'nin bu emisyonu 70 milyon kişi ile çarpıldığında, Türkiye'nin Dünya'daki on yedinci en yüksek sera gazı emisyonuna sahip ülke olduğu görülmektedir. Bu nedenle Türkiye'nin emisyonları azaltmak için adımlar atması önemlidir. 2010 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliği Genel Müdürlüğü, Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi ve Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planını hazırlamış ve 2011 yılında İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planını oluşturmuştur [44]. Hızlı gelişen bir ekonomiye sahip olan Türkiye, 2030 yılında tahmini sera gazı emisyonlarını yaklaşık %21'den fazla azaltmayı planlamıştır.

Kyoto Protokolü'nün ilk yükümlülük döneminin bittiği 2012 yılı sonrası için iklim değişikliği rejimi müzakerelerine ilişkin yürütülecek çalışmalar açısından son derece kritik bir sürece girilmiştir. 2012 sonrası iklim değişikliği yönetimi için Aralık 2009'da Kopenhag'da yapılan IPCC 15. Taraflar Toplantısı (COP 15) ile atılacak adımlar görüşülmüştür. Bağlayıcılığı bulunmayan "Kopenhag Mutabakatı" daha ziyade bir uzlaşı metni olarak sonuçlanmıştır. Aralık 2010'da Meksika-Cancun'da gerçekleşen COP 16 toplantısında ise 2012 sonrası 2. yükümlülük döneminin 2008-2012 yıllarını kapsayan 1. yükümlülük dönemi ile süreklilik sağlayacağı kararı alınırken 2012 sonrası dönemde iklim rejiminin şekillenmesi ile ilgili net bir karar çıkmamıştır. Kopenhag Mutabakatı'nda 2050 yılına kadar olacak küresel sıcaklık artışının IPCC 4. inceleme raporunda (IPCC, 2007) ve birçok uluslararası sivil çevre örgütünün çalışmalarında kritik değer olarak açıklanmış olan ve aşılması halinde çok büyük çevresel maliyetler oluşturacağı öngörülen 2°C ile sınırlandırılması gerektiğinin altı çizilirken, 2011'de Durban'da yapılan COP 17

toplantısında bütün ülkelerin emisyon indirimleri konusunda sorumluluk almaları karara bağlanmıştır [45].

Kyoto Protokülüne göre 6 adet sera gazı incelenmiştir. Tablo 2.2'de bahsedilen bu sera gazlarının sembolleri, CO_2 eş değerleri ve kaynakları yer almaktadır [46]. Karbondioksit eş değeri; karbondioksit haricindeki diğer sera gazlarının aynı miktar ve konsantrasyondaki karbondioksitle karşılaştırıldığında kaç kat daha fazla ısıyı hapsedebilme kapasitesine sahip olduğunu belirtmek için kullanılır. Bu yöntemle ile tüm sera gazları kendi içinde karşılaştırılabilecek şekilde normalizeştirilir. Yapılan emisyon hesaplamaları da böylece daha kolay yapılabilir. Tablo 2.2'ye göre en büyük eş değere sahip olan ve en tehlikeli gaz olarak belirlenen gaz Sülfür Heksaflorür (SF_6), en tehlikesiz sera etkisine sebep olan gaz ise CO_2 olarak görünmektedir. Ancak atmosferde bulunma oranlarına bakıldığında CO_2 diğer sera gazlarına kıyasla çok daha fazla oranlarda olduğu için, CO_2 gazının atmosfere daha fazla zararı vardır. [43].

Tablo 2.2 Kyoto Protokülü'nde adı geçen sera gazları ve kaynakları [46]

Sembol	**CO_2 Eşdeğeri**	**Ana Kaynak**
CO_2	1	Fosil yakıtların yanması, orman yangınları
CH_4	25	Depo sahaları, petrol ve doğalgaz üretim ve dağıtımı, çiftlikler
N_2O	310	N_2O fosil yakıtların yanması, gübreler, naylon üretimi
HFCs	140-11.700	Buzdolabı gazları, alüminyum eritme, yarı iletken üretimi
PFCs	6.500-9200	Alüminyum Üretimi
SF_6	23.900	Elektrik üretim ve dağıtım yerleri, Mg üretimi

Kyoto Protokol'üne göre sera gazı emisyonuna sebep olan sektörler ve kaynak kategorileri Tablo 2.3'te yer almaktadır [47].

Tablo 2.3 Kyoto Protokol'üne göre sera gazı emisyonlarının sektörel sınıflandırılması [47]

Sektör	Kaynak Kategorileri
Enerji	Yakıt Yanması; Ulaştırma, İnşaat, İmalat Yakıtlardan Kaynaklanan Kaçak Salım; Petrol, Doğalgaz, Katı Yakıtlar
Endüstriyel İşlemler	Kimyasal Ürünler, Metal Üretimi, Halokarbon Üretimi, Çözücü ve Diğer Ürün Kullanımı
Tarım	Mide fermantasyonu, Çiftlik gübresi yönetimi, Çeltik yetiştiriciliği, Tarımsal topraklar, Öngörülmüş çayırların yakılması, Tarımsal kalıntıların tarlada yakılması
Atık	Arazide katı atık bertarafı, Atık su işlemesi, Atık yakma

Tablo 2.3'deki sektörlere bakıldığında 4 adet ana sektörün yer aldığı görülmektedir. Bu sektörlerden enerji için yakıt yanması, endüstriyel işlemler için kimyasal ürünler, tarım için sindirim fermantasyonu, atıklar için de atık depolama kategorileri en çok sera gazı emisyonunu arttırıcı etkenler arasındadır.

2.4 Paris İklim Zirvesi

Paris İklim Zirvesi, Aralık 2015'te Paris'teki 21. Taraflar Konferansı (COP21) İklim Zirvesi'nde 194 ülke ve Avrupa Birliği temsilcileri tarafından görüşülerek 2016 yılında yürürlülüğe girmiştir. Paris Anlaşmasının bir diğer özelliği ise kabulünün üzerinden 1 yıl geçmeden yürürlüğe giren tek anlaşma olmasıdır.

Tarihteki en çok katılımcıya sahip bir sözleşme olarak bilinmektedir. Paris sözleşmesinin uzun dönemli hedeflerine bakıldığında 2100 yılına kadar, endüstrileşme öncesi zamana göre sıcaklık artışlarının 2 ^{o}C'nin altında tutulması beklentiler içindedir. Bu hedef fosil yakıt tüketimi, enerji tüketimi ve benzeri tüketimlerin azaltılması buna ek olarak da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve yeşil alanların arttırılmasıyla gerçekleşebilmektedir [48].

Paris Anlaşması, Rusya tarafından da Birleşmiş Milletler (BM) zirvesi esnasında kabul edilmiştir. Türkiye de, Paris Anlaşmasına taraf olmamakla beraber, Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanı'nı 2015 yılında Sözleşme Sekreteryasına iletmiştir. Ayrıca, Türkiye tarafından Paris Anlaşması, 22 Nisan 2016 tarihinde, New York'ta düzenlenen imza töreninde, 175 ülke temsilcileriyle beraber imzalanmıştır. Bu

anlaşma toplamda 187 ülke tarafından onaylanmıştır. TÜİK verilerine göre, Türkiye'deki sera gazı emisyonunun 18 yılda yaklaşık olarak %140 oranında arttığı hesaplanmıştır. 1990 yılında kişi başına düşen CO_2 emisyonu eşdeğeri 4 ton/kişi iken 2018 yılında bu hesaplamayla 6.5 ton/kişi olarak görülmektedir. Türkiye'nin 2030 yılındaki referans senaryosuna göre sera gazı emisyonlarını %21 oranında düşürmek gibi bir hedefi bulunmaktadır [49].

Türkiye'nin enerji gelişimi bakımından önemli bir noktada olduğu bilinmektedir. Mevcut hükümet planları şu yöndedir; hem linyit kömürü hem de yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji yönünden dışa bağımlılık azaltılmak istenmektedir. Dışa bağımlılığı azaltmak açısından bakıldığında, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarını işletme maliyetleri çok düşük seviyelerdedir ve fosil yakıtlardan enerji karşılanması oldukça yüksek seviyelerdedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yürüttüğü bir proje ile 2030 yılına kadar Türkiye'nin elektrik ihtiyacının karşılanmasında, kömür tüketimini sıfır seviyelerine kadar azaltan bir senaryo çizilmektedir. Ayrıca Türkiye hedefleri arasında 2023 yılına kadar yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi hedeflerini %30'dan %38'lere yükselteceği yer almaktadır [50].

Tablo 2.4'de Türkiye'nin, Paris Anlaşması'nda yer alan bazı hedefleri yer almaktadır [49].

Tablo 2.4 Türkiye'nin Paris Anlaşması'ndaki hedefleri [49]

Durumu	**İmzalanmış ve Onaylanmış**
2030 Hedefleri	Referans Senaryosu 2030 yılına kadar %21 oranında düşürülecek 1990 yılı verilerine bakıldığında 2030 yılına kadar %356 2010 yılı verilerine bakıldığında 2030 yılına kadar %150
Kapsam	Gelişmekte olan bir ekonomiye sahiptir
Uzun Süreli Hedefler	Yok

Bu tabloda 2030 yılına kadar Türkiye'nin hedefleri mevcuttur ancak, uzun süreli hedefler henüz bu anlaşma için görüşülmemiştir.

2.5 Türkiye'de Yıllara Göre Sera Gazı Emisyonları

Türkiye'de son 5 yılda toplam sera gazı emisyonu değerleri 500 Milyon Ton/Yıl'dır. Bu oranlara küresel olarak bakıldığında, Dünya'daki toplam sera gazı emisyonunun %1'ine denk gelmektedir. TÜİK verilerine göre, 2018 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %0.5 azalarak 520.9 milyon ton (Mt) karbondioksit eşdeğeri (eşd.) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2.5'te TÜİK verilerine göre hazırlanan, toplam sera gazı emisyonunun yıllara göre CO_2 eş değeri verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında toplam sera gazı emisyonunun yüzdece büyük bir kısmının CO_2 emisyonundan kaynaklandığı gözlenmektedir. CO_2'nin zamana bağlı artışı ile beraber diğer sera gazlarında çok fazla artış ve azalış söz konusu değildir [1].

Tablo 2.5 Türkiye'nin 1990-2018 yılları arasındaki sera gazı emisyonları [1]

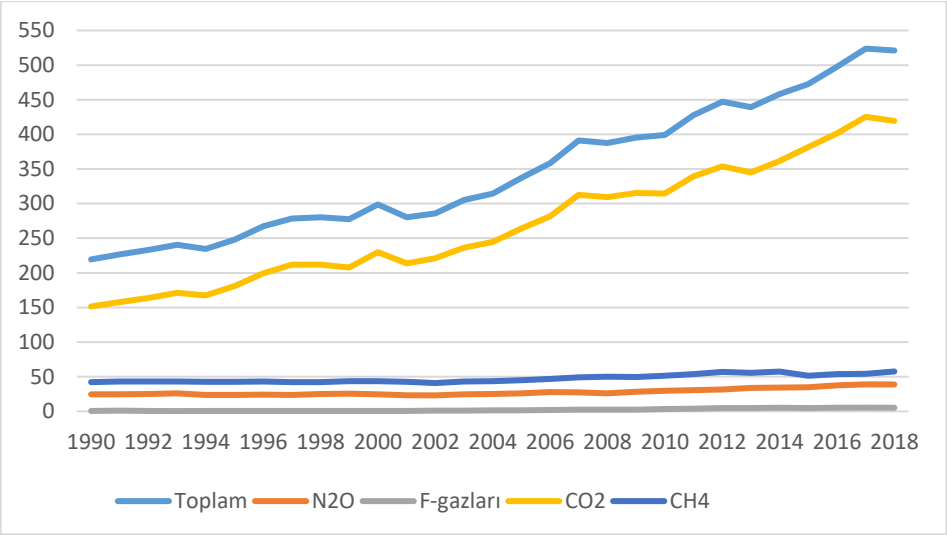
Yıllar	Toplam	N_2O	Florlu Gazlar	CO_2	CH_4
1990	219.4	24.8	0.6	151.5	42.4
1991	226.8	24.6	0.9	158.0	43.3
1992	233.0	25.1	0.7	163.9	43.2
1993	240.3	25.9	0.4	171.0	43.0
1994	234.3	23.5	0.7	167.4	42.7
1995	247.8	23.7	0.6	180.9	42.5
1996	267.4	24.4	0.6	199.5	42.9
1997	278.6	23.9	0.6	212.0	42.1
1998	280.2	25.3	0.6	212.0	42.3
1999	277.7	25.6	0.6	207.8	43.7
2000	298.8	24.7	0.7	229.8	43.6
2001	280.3	23.2	0.8	213.5	42.8

Tablo 2.5 Türkiye'nin 1990-2018 yılları arasındaki sera gazı emisyonları (devamı)

Yıllar	Toplam	N2O	Florlu Gazlar	CO2	CH4
2002	286.0	23.1	1.0	221.0	40.9
2003	305.3	24.7	1.2	236.5	42.9
2004	314.7	25.2	1.5	244.5	43.5
2005	337.1	26.1	1.7	264.2	45.2
2006	358.3	28.1	1.9	281.6	46.6
2007	391.4	27.4	2.3	312.7	49.0
2008	387.6	25.9	2.4	309.3	49.9
2009	395.6	28.3	2.4	315.4	49.6
2010	398.9	29.6	3.6	314.4	51.3
2011	427.8	30.7	4.0	339.5	53.7
2012	447.3	31.8	4.7	353.7	57.1
2013	439.3	33.8	4.8	345.2	55.5
2014	458.4	34.3	5.1	361.7	57.3
2015	472.6	35.0	4.9	381.3	51.4
2016	497.7	37.4	5.2	401.2	53.9
2017	523.8	38.8	5.4	425.3	54.2
2018	520.9	38.9	5.2	419.2	57.6

Tablo 2.5'te görüldüğü gibi 1990 ile 2018 yılları arasındaki toplam sera gazı emisyon eş değerleri yer almaktadır. 1990 yılındaki toplam sera gazı emisyonu karbondioksit eş değeri 219.4 milyon ton iken 2018 yılı verileri 520.9 milyon tondur. Bu verilerden de anlaşılacağı üzere 30 yılda yaklaşık sera gazı emisyonu 2.5 kat artmıştır.

Şekil 2.5'te de Türkiye'nin 1990-2014 yılları arasındaki toplam sera gazı emisyonu, CO_2 gazı emisyonu ve diğer sera gazlarının emisyonu yer almaktadır.

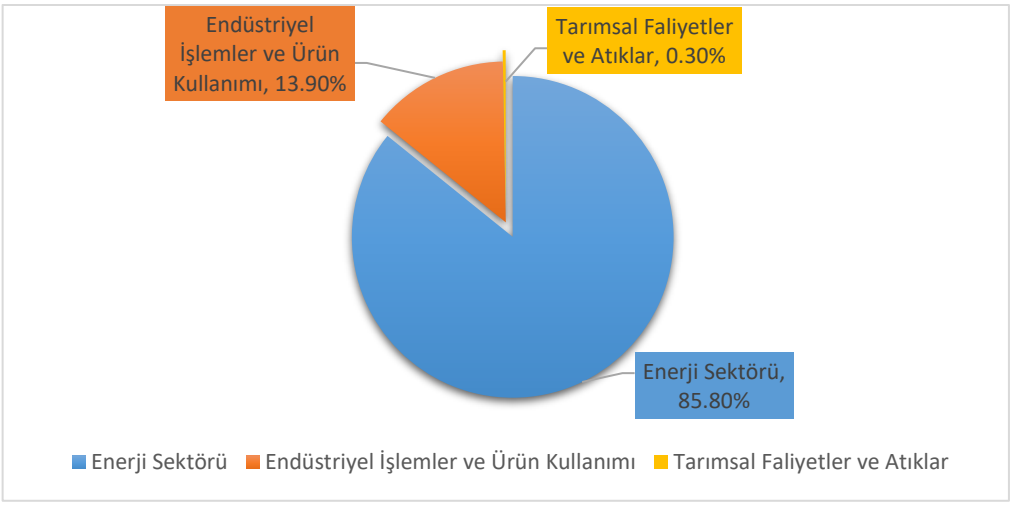


Şekil 2.5 Türkiye'deki 1990-2018 yılları arasındaki sera gazı emisyonları [1]

Şekilden de görüldüğü üzere toplam $C0_2$ gazı emisyonu miktarı diğer gazların yaklaşık 10 kat fazlasıdır. Bu nedenle sera gazı emisyonu içerisinde $C0_2$ gazının emisyonu çok daha fazladır.

2.6 Türkiye'de Sektörel Olarak CO_2 Emisyonu Artışının Nedenleri

CO_2 gazı emisyonu artışına farklı sektörlerin sebep olduğu bilinmektedir. Bu artış azalışlar sektörel olarak farklılık gösterebilmektedir. 2018 yılı sera gazı emisyonunun sektörel olarak TÜİK verilerine göre değişimi Şekil 2.6'da yer almaktadır [51].



Şekil 2.6 Türkiye'de 2018 yılı sektörel olarak co_2 gazı emisyonu [51]

Şekil 2.6'dan anlaşılacağı üzere CO_2 emisyonun sektörel olarak en büyük sebebi enerji kaynaklı emisyonlardır. TÜİK verilerine göre 2018 yılı sektörel dağılımda

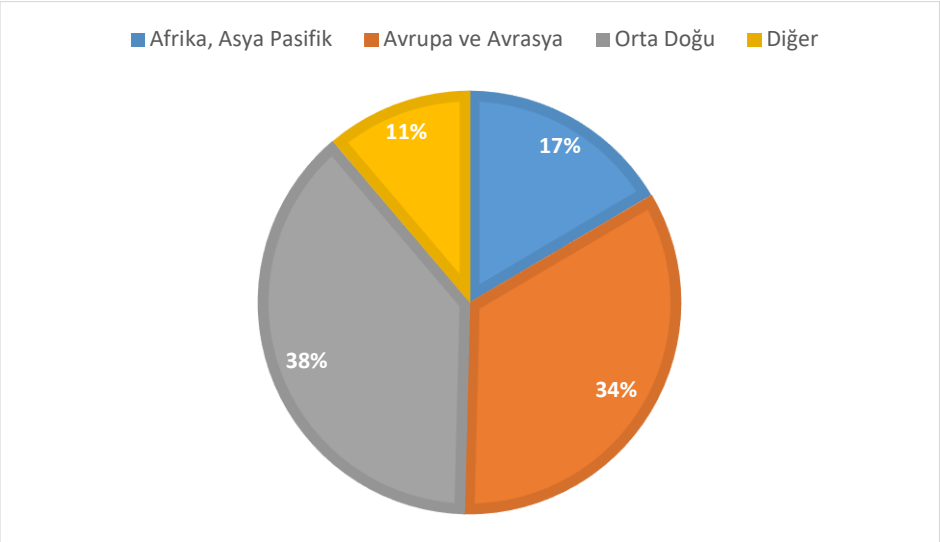
yaklaşık olarak emisyonun %85.8'i enerjiden, %13.9'u endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından, %0.3'ü tarımsal faaliyetler ve atıklardan kaynaklanmaktadır. Enerji sektörünün %35.5'i elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan CO_2 emisyonuna sebep olmaktadır. Bu oranlar 1990 yılına göre karşılaştırıldığında zamana bağlı değişimler sektörlere yansımıştır. 1990 yılına kıyasla enerji sektörü kaynaklı %167.3, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı kaynaklı %185.5, tarımsal faaliyetler ve atık kaynaklı değişim %63.5 olarak belirlenmiştir. Ayrıca 1990 verilerine bakıldığında enerji sektörünün bir alt sektörü olan yakıt yanması, diğer sektörlerle karşılaştırıldığında en fazla CO_2 emisyonuna sebep olan alt sektörlerdendir.

2.6.1 Enerji Sektörü

2015 yılında düzenlenen Paris İklim zirvesi, küresel ölçekli bir anlaşmadır. Günümüze kadar en fazla katılım sağlanan anlaşmada Türkiye de yer almaktadır ve diğer ülkeler gibi taahhütde bulunmuştur. Bu taahhüt, Türkiye'nin sera gazı emisyon değerlerini artandan azalış yöntemiyle artmaktadır. Bir diğer açıdan, Türkiye gelişmekte olan ülkeler arasında yer almaktadır, bu sebeple enerji üretimini ve tüketimini arttırmak zorundadır. Bu büyüme ile beraber çevre kirliliği meydana gelmektedir. CO_2 gazı gibi hem zehirli, hem sera etkisine sebep olan faktörler çevre kalitesini azaltmaktadır. Bu bahsedilen sera etkisine sebep olan zehirli gazların en önemli kaynağı ise, enerji sektörüdür. Diğer nedenler, bu sebebin yanında kirletici olarak zayıf kalmaktadır. TÜİK verilerine göre CO_2 gazı emisyonuna enerji sektörünün etkisi 1990 yılından 2016 yılına kadarki zamanda yaklaşık olarak %20 artmıştır [52].

2.6.1.1 Doğalgaz Kullanımı

Doğalgaz bir petrol türevidir. En belirgin özellikleri arasında yanıcılık, havadan hafif olma, renksiz ve kokusuz bir gaz olma durumları vardır. Metan (CH_4) ve etan (C_2H_6) olmak üzere içeriğinde farklı hidrokarbonlar vardır. Doğalgaz, yer altında petrol ile beraber ya da gaz rezervuarlarında bulunmaktadır. Kaynaktan çıkarıldıktan sonra ham şekilde herhangi bir yan işlem geçirmeden kullanılabilmektedir. Doğalgaz ya tankerler aracılığıyla sıvılaştırılarak ya da boru hatları ile taşınabilmektedir [53]. Şekil 2.7'de doğalgaz rezervlerinin dağılım grafiği yer almaktadır [54].



Şekil 2.7 Doğalgaz rezervlerinin dağılım grafiği [54]

Şekil 2.7'deki dağılım grafiğinde doğal gaz rezervlerinin 75.5 trilyon m^3 Orta Doğu ülkelerinde, 66.7 trilyon m^3 Avrupa ve Avrasya ülkelerinde, 32.5 trilyon m^3 (%16,5) Afrika/Asya Pasifik ülkelerinde bulunmaktadır. Türkiye için 2018 yılı doğalgaz tüketimi 49.3 milyar Sm^3 olarak verilere geçmiştir.

Doğalgaz talebi dengesine Türkiye için bakıldığında yıllık doğalgaz talebi yeterli oranda gerçekleşmiştir. Ancak kış aylarında yoğun taleplerden dolayı doğalgaz karşılanmasında kaynak ülker tarafından herhangi bir problem olmaması için, önemler alınmakta ve çalışmalar devam etmektedir.

Bu çalışmalarda, Silivri'nin kapasitesi 2.84 milyar Sm^3/gün, Kuzey Marmara ve Değirmenköy Doğalgaz Depolama Tesisi'nin kapasitesi 4.6 milyar Sm^3/gün, geri üretim kapasitesinin ise 75 milyon Sm^3/gün'e çıkartmak için çalışmalar sürdürülmektedir [55].

İlk fazı tamamlanmış olan Tuz Gölü Doğalgaz Yeraltı Depolama projesinde doğalgaz depolanmaya başlanmıştır. 2023 yılı başlangıcı ile bu yeraltı deposunun toplam çalışma gazı kapasitesi 5.4 milyar Sm^3/gün, geri üretim kapasitesi ise 80 milyon Sm^3/gün olarak arttırılacaktır.

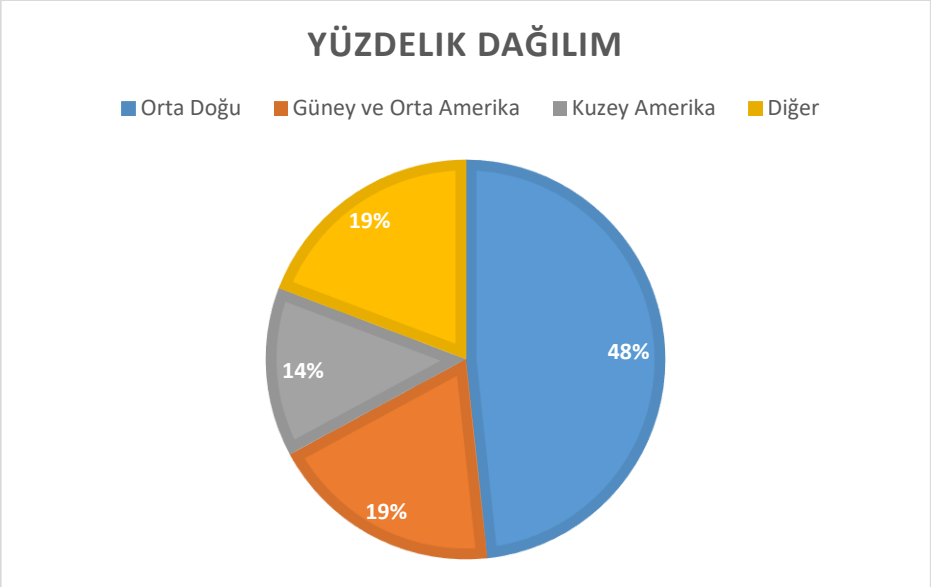
Talep kaynaklarının ve yol güzergahlarının çoğaltılması amacıyla, Yüzer Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG) Depolama ve yeniden Gazlaştırma Tesisi İzmir Aliağa ve Hatay Dörtyol'da işletmeye açılmıştır. Bu iki Üçüncü Yüzer LNG Depolama ve Gazlaştırma Ünitesine ek olarak üçüncü bir tesis için planlamalar devam etmektedir.

Yurtiçinde petrol ve doğalgaz arama, üretme, depolama çalışmaları önceliklendirilmiştir. Bu çalışmalar için, hem satın alma, hem imalat etme yoluyla 2 adet sismik arama ve iki adet sondaj gemisi ile devam edilmektedir [56].

2.6.1.2 Petrol Kullanımı

Petrol; karbon (C) ve hidrojenden (H_2) oluşmaktadır. İçerisinde eser miktarda, azot (N_2), oksijen (O_2) ve kükürt (S) gibi bileşenlerin bulunduğu karmaşık bir yapıdır. Petrol, normal şartlar altında katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilir. Gaz halde bulunan petrol, imal edilmiş gazdan ayırt edebilmek için doğalgaz olarak ifade edilir. Ham petrolün ve doğalgazın ana bileşenleri hidrojen (H_2) ve karbon (C) olduğu için ''Hidrokarbon" olarak da adlandırılabilirler [57].

Küresel olarak bakıldığında 2018 yılı petrol rezervi 1729.7 milyar varil olarak hesaplanmıştır. Şekil 2.8'de Dünya'daki petrol rezervlerinin dağılım grafiği yer almaktadır [58].



Şekil 2.8 Dünya'daki petrol rezervleri dağılımı [58]

Küresel petrol rezerlerine bakıldığında, Orta Doğu ülkelerinde 836,1 milyar varil, Güney ve Orta Amerika ülkelerinde 325.1 milyar varil, Kuzey Amerika ülkelerinde 236.7 milyar varil bulunmaktadır. 2018 yılında Dünya petrol üretimi 94.7 milyon varil/gün'e ulaşmıştır. Birincil enerji kaynakları dahilinde, stratejik konumun önemini arttıran işlenmemiş petrol, 2018 yılı ile beraber, birincil enerji kaynaklarının %31.4'ünü karşılamıştır. Dünya üretilebilir petrol ve doğal gaz rezervlerinin yaklaşık %70'lik bölümü, ülkemizin yakın coğrafyasında yer

almaktadır. Türkiye, jeopolitik konumu itibariyle Dünya'nın ispatlanmış petrol ve doğal gaz rezervlerinin dörtte üçüne sahip bölge ülkeleriyle komşu olup enerji zengini Hazar, Orta Asya, Orta Doğu ülkeleri ile Avrupa'daki tüketici pazarları arasında doğal bir "Enerji Merkezi" olmak üzere pek çok önemli projede yer almakta ve söz konusu projelere destek vermektedir. 2030 yılına kadar %40 oranında artması beklenen Dünya birincil enerji talebinin önemli bir bölümünün içinde bulunduğumuz bölgenin kaynaklarından karşılanması öngörülmektedir. 2018 yılında 21 milyon ton olarak gerçekleştirilen ham petrol ithalatımızın yanı sıra 17.7 milyon ton petrol ürünü ithal edilmiştir. Buna karşın 8.9 milyon ton petrol ürünü ihraç edilmiştir. Her geçen gün artan petrol ve doğal gaz ihtiyacının mümkün olduğunca yerli kaynaklardan karşılanması yönündeki faaliyetler kapsamında, özellikle Karadeniz ve Akdeniz'deki deniz alanlarında yapılan çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır.

2.6.1.3 Kömür Kullanımı

Günümüzde kömür kullanımı birçok alanda yaygın olmakla beraber en sık kullanıldığı alan, elektrik üretimidir. Dünya çapında elektrik üretiminde kullanılan kömür, Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) verilerine göre %37'lik bir pay ile en çok kullanılan kaynak olarak yerini almaktadır. Mevcut Politikalar senaryosuna göre, 2040 yılındaki %31 lik paya sahip olduğu öngörülen yenilenebilir enerji kaynaklarının, %34'lük paya sahip olan kömürden elektrik üretiminin ilerisinde olmaya devam edeceği tahmin edilmektedir [22].

Dünyadaki işleyişe bakıldığında, Hindistan ve Pakistan gibi gelişmekte olan ülkelerde kömür tüketiminin payı artmakta, bunun aksine gelişmiş AB ülkelerinde kömürden elektrik üretimi çevreci bakış açıları sebebiyle azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

UEA'nın yayınladığı raporlara göre 2016 yılındaki kömür yakıtlı termik santrellerin CO_2 emisyonlarına bakıldığında atmosfere 9.5 milyar tonluk bir salınım gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu değer çevrim sektörü için salınan emisyonun %70'ine denk gelmektedir. Ayrıca kömür, santrallerden sadece sera gazları değil, azot oksitler (NO_X), sülfür dioksit (SO_2) ve partikül maddeler gibi önemli hava kirliliğine sebep olan kirleticilere de sebep olmaktadır [59].

Bu sebeple kömür yakıtlı santrallerin atmosfere salınımı azaltılması için çeşitli uygulamalar önem kazanmaktadır. Bu uygulamalarda geçerli olan, emisyon azaltımında yakıt olarak kullanılan kömürün farklı türlerinin haricinde, santraldeki termal verimlilik de önemli bir etkendir. Termal verimin arttırılmasında, kaliteli kömür kullanılması emisyon azaltıcı olması açısından iyi bir yöntemdir. Partikül madde giderimi için de elektrostatik filtre kullanımı etkili bir yoldur. CO_2 salınımını büyük ölçüde azaltmak için kullanılan ancak yüksek maliyetli olan bir diğer yöntem ise karbon tutma ve depolama sistemleridir. Ancak en ucuz yol olarak görülen sistem termal verimliliğin arttırılmasıyla oluşturulmaktadır [60].

Geleneksel santraller yaklaşık %35 verimlilik ile çalışmaktadır. Termal verimlilikteki %1'lik artışın, kömür yakıtlı santrallerden kaynaklanan CO_2 salınımını ortalama %2 ile %3 oranında azaltacağı ön görülmektedir.

2.6.1.4 Elektrik Kullanımı

Fosil yakıt tüketiminde elektrik enerjisi kullanıldığı bilinmektedir. Bu kullanım sonucunda CO_2 emisyonu fosil yakıt tipine göre değişiklik göstermektedir.

Türkiye'de CO_2 gazı emisyonunun büyük kısmı enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu sektörde de en fazla paya sahip kısım, elektrik üretimi kaynaklı olan emisyonlardır [61].

Türkiye'deki TÜİK verilerine göre elektrik tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla kıyasla %2.2 artmıştır ve 304.2 milyar kWh'tir. Elektrik üretimi ise yine aynı şekilde bir önceki yıla göre %2.2 oranında artmıştır ve 304.8 milyar kWh olarak belirtilmiştir [62].

Eleektrik tüketiminin 2023 yılındaki senaryoya göre yıllık ortalama &4.8 artacağı ve 375.8 TWh olması beklenmektedir. Elektrik üretimi kaynakları, kömür, doğalgaz, hidroelektrik enerji, rüzgar, güneş, jeotermal enerji ve diğer kaynaklar olarak sınıflandırılmıştır. Bu kaynakların kullanım oranları sırasıyla %37.3, %29.8, %19.8, %6.6, %2.6, %2.5 ve %1.4'dür.

Son verilere göre, 2019 yılı Eylül ayı sonu itibariyle ülkemizde kurulu elektrik enerjisi gücü 90.720 MW'a yükselmiştir. Bu kurulu gücün kaynaklara göre oranı, %31.4'ü hidrolelektrik enerji, %28.6'sı doğalgaz, %22.4'ü kömür, %8.1'i rüzgar, %6.2'si güneş, %1.6'sı jeotermal enerji ve kalan %1.7'si diğer kaynaklar olarak

belirlenmiştir. Ayrıca yine aynı veri setinde, elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, lisanssız santraller dahil 8069'a yükselmiştir. Bu santrallerin 669'u hidroelektrik, 68'i kömür, 262'si rüzgar, 52'si jeotermal, 330'u doğalgaz, 6435'i güneş, 253 tanesi ise diğer kaynaklı santraller olarak ayrılmıştır [54].

2.6.1.5 Rüzgâr Enerjisi Kullanımı

Rüzgar güneşten kaynaklanan radsyasyonun yeryüzünü farklı sıcaklıklarda ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Yeryüzünün farklı ısınması ve hava sıcaklığı, nem, basınç farklılığı gibi etkilerden dolayı hava hareketleri meydana gelir. Güneş enerjisinin Dünya'ya ulaşan kısmının sadece %2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir.

Rüzgar, bölgesel coğrafi özellikler, yeryüzünün homojen ısınmaması, yöreden yöreye değişebilecek özelliklerden dolayı farklılık gösterebilir. Hız ve yön olmak üzere 2 farklı kriterle ifade edilmektedir. Yüksekliğin artması ile rüzgar hızı da artmaktadır. Rüzgar hızının teorik gücü rüzgar hızının küpü ile orantılı olarak değişiklik göstermektedir [63].

Elektriğin rüzgar enerjisi ile üretilmesinin ilk yatırım maliyeti yüksektir. Ancak kapasite faktörleri düşüktür. Dezavantajlarının yanında çok daha önemli olan avantajları vardır;

- Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır, çevre dostudur.
- Tükenme ve zamanla ilgili durumlarda fiyatının artma riski yoktur.
- Maliyeti, günümüzdeki güç santralleri ile rekabet edebilecek düzeye gelmiştir.
- Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür.
- Teknolojisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
- İşletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleşebilir.

Rüzgar enerji santrallerinin ana elemanlarından olan rüzgar türbinleri, havanın kinetik enerjisini, elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Türkiye'deki rüzgar türbinleri yer seviyesinden 50 m yükseklikte bulunmaktadır. Ve bu türbinlerdeki rüzgar hızları 7.5 m/s üzeri alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücüne sahip rüzgar santrali kurulabilmektedir.

Türkiye'de rüzgara enerjisi potansiyeli 48000 MW olarak kabul edilmiştir. Bu da ülkenin yüz ölçümünün yaklaşık olarak %1.3'üne denk gelmektedir.

2.6.1.6 Güneş Enerjisi Kullanımı

Güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre hem kurulum hem de işletme kolaylığı açısından ilk sırada yer almaktadır. Diğer bir avantajı ise çevreyi kirletmemesidir.

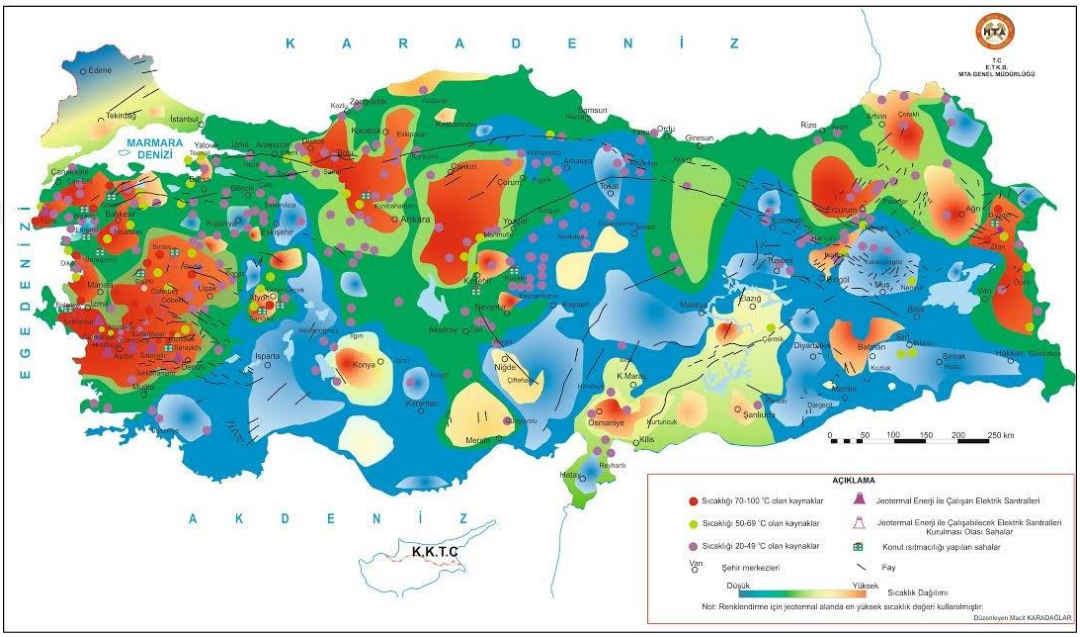
Ülkemiz, jeopolitik konumu itibariyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bakanlık tarafından oluşturulan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2,741 saat, günlük ortalama güneşlenme süresi ise 7.5 saattir. Enerji bazında, yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1,527 kWh/m^2.yıl ' a denk gelmektedir. Günlük ortalama güneşlenme enerjisine bakıldığında ise, 4.18 kWh/ m^2.yıl olarak gözlenmiştir. Son zamanlarda güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimiyle ilgili iki farklı teknoloji yer almaktadır. İlk olarak; güneş hücreleri olarak bilinen, fotovoltaik (PV) sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler, yarı iletken malzemelerden yapılmıştır ve güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler. Bir diğer teknoloji ise, Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP) olarak bilinen sistemlerdir. Bu sistemlerde, güneş enerjisinden ısı elde edilmektedir. Meydana gelen ısı elektrik üretimi için de kullanılabilmektedir.

Konya-Karapınar'da kurulması planlanan 1,000 MW kapasiteli, güneş enerji santrali Dünyanın en büyük güneş santrallerinden olacaktır. Bu proje ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu projedeki tesis için kullanılacak %60 oranındaki yerli katkı oranı, projedeki modüllerin üretileceği fabrika ve bu tesisdeki güneş enerjisi için yapılacak Ar-Ge faaliyetleriyle ilgili çalışmalar devam etmektedir [64].

2.6.1.7 Jeotermal Enerji Kullanımı

Jeotermal enerji, yenilenebilir enerji kaynakları arasında, temiz, ucuz ve çevre dostu bir yeraltı kaynağıdır. Ülkemiz bu enerji kaynağı bakımından oldukça zengindir. Bulunduğu konum ve coğrafik özellikler bakımından, aktif bir tektonik kuşak üzerindedir ve bu enerji kaynağı açısından en önemli etkendir. Türkiye'de, bölgelere yayılmış bir şekilde ortalama 1,000 adet doğal çıkışlı ve farklı sıcaklıklarda jeotermal enerji kaynakları mevcuttur.

Türkiye'nin, jeotermal enerji kaynakları potansiyeli Batı Anadolu'da %78, Doğu Anadolu'da %5, İç Anadolu'da %9, Marmara'da %7 ve diğer bölgelerde de %1 olarak dağılım göstermektedir. Bu enerji kaynağımızın %90'ı direkt uygulamaya hazır olarak düşük ve orta sıcaklıktadır. Bu alandaki kullanımlar, ısıtma, termal turizm ve çeşitli endüstriyel amaçlar için uygundur. Kalan %10'luk kısım ise elektrik enerjisi üretiminde dolaylı uygulamalar içindir. Şekil 2.9'da Türkiye'deki jeotermal enerji kaynakları ve uygulama alanları yer almaktadır.



Şekil 2.9 Türkiye'de jeotermal enerji kaynakları ve uygulama alanları [54]

Jeotermal enerji kaynaklarının bilindiği üzere yaygın kullanım alanları vardır. Günümüzde ülkemizin elde ettiği jeotermal enerjiden, elektrik üretimi, sağlık, ısıtma, balıkçılık, mineral eldesi, kurutmacılık gibi sektörler için faydalanılabilmektedir. İlk jeotermal enerji uygulaması 1975 yılında yapılmıştır. Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğünce kurulan bu tesis 0.5 MW güce sahip Kızıldere Santrali'dir. Küresel ölçekte jeotermal enerji kaynakları için kurulu güç 2018 yılı verilerine göre 14.9 GW seviyelerindedir. Jeotermal enerji kaynaklarından elektrik üretimi için faydalanan ilk beş ülke; ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda'dır.

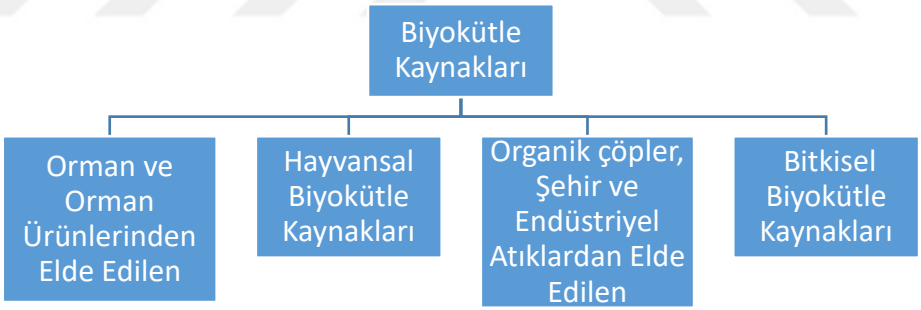
Elektrik üretimi haricindeki kullanımlar ise, 70,000 MWt değerini geçmiş, bu alandaki doğrudan kullanım uygulamalarındaki ilk beş ülke ise; ABD, Çin, İsveç, Belarus ve Norveç'tir. Jeotermal enerji kaynakları için arama ve ortaya çıkarma

çalışmaları MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmalar 1962'den bu yana devam etmektedir. Ülkemizdeki jeotermal enerji kaynaklarında sıcaklıkları 287.5 °C'ye kadar olan bölgeler keşfedilmiştir. İlk başlarda jeotermal enerji arama çalışmaları 2000 metrelerdeyken, günümüzde 28,000 metrelere kadar bu çalışmalar devam ettirilmiştir. Bu proje için, enerji aramalarına ayrılan bütçe yaklaşık 10 katı arttırılmıştır [65].

Mevcut kaynak geliştirme ve yeni kaynak için enerji alanlarının oluşturulması için, 2004 yılından itibaren ısı kapasitesi 3100 MWt'tır. 2018 yılında bu kapasite 1900 MWt arttırılmıştır ve 5,000 MWt'e yükselmiştir. Sondajlı aramalar sonucu 10 adet jeotermal saha da, elektrik üretimine uygun olan yerler arasına girmiştir ve toplamda ülkemizde elektrik üretimine uygun saha sayısı 239'a yükselmiştir.

2.6.1.8 Biyokütle

Biyokütle çeşitli türlerden oluşmaktadır. Bir topluma ait olarak yaşayan organizmaların bir süre sonra kazandığı toplam kütle olarak tanımlanabilmektedir. Aynı zamanda bir organik karban olarak da tanımlanabilmektedir. Şekil 2.10'da biyokütle kaynakları sınıflandırılmıştır [66].



Şekil 2.10 Biyokütle kaynakları [66]

Orman ve orman ürünlerinden elde edilen biyokütle kaynaklarından odun ve orman atıkları bu kategorideki en önemli kaynaklardandır.

Hayvansal biyokütle kaynakları ise; sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır.

Organik çöpler, şehir ve endüstriyel atıklardan elde edilen biyokütle kaynaklarına; kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt, sanayi ve gıda sanayi atıkları, endüstriyel ve

evsel atık sular, belediye ve büyük sanayi tesisleri atıkları örnek olarak verilebilmektedir.

Son olarak bitkisel biyokütle kaynakları ise; yağlı tohumlu bitkiler (kanola, ayçiçek, soya v.b.), şeker ve nişasta bitkileri (patates, buğday, mısır, şeker pancarı v.b.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.), protein bitkileri (bezelye, fasulye v.b.), bitkisel ve tarımsal artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.) 'dır.

Türkiye'de biyokütle kaynaklarından elde edilen atık potansiyeli 8.6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) olduğu, üretilebilecek biyogaz miktarının ise 1.5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir [67].

2.6.1.9 Nükleer Enerji

1789 yılında Uranyum'un keşfedilmesi ve bu keşiften yaklaşık 150 yıl sonra, 1934 yılında atomun parçalanabilir bir yapıya sahip olduğu, bilimsel araştırmalar ile belirlenmiştir. Bu iki bilimsel gelişme sonucunda nükleer enerji kavramı yavaş yavaş oluşmaya başlamış ve dönemin bilim insanlarının, politikacılarının ve sanayicilerinin ilgi odağı haline gelmiştir. Geçmişten günümüze hemen hemen tüm bilimsel gelişmeler askeri alandaki eksikleri kapatmak ya da askeri alanda gelişmek amacı ile başlayıp daha sonra ticari alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Nükleer enerji de bu bilimsel gelişmelerden birisidir. Nükleer enerjiden faydalanmak amacı ile birçok ülke çalışmalarda bulunmuştur. Bu çalışmalar sonucunda, atomların parçalanması ile ortaya çıkan ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürelebileceği sistemler yavaş yavaş hayatımıza girmiştir. Bu sistemler, başka bir deyişle nükleer santraller, atomların parçalanması ile ortaya çıkan ısı enerjisini güvenli, kontrollü ve sürdürülebilir bir halde elde edilmesini sağlamıştır. Nükleer santraller, petrol ve diğer hidrokarbon kaynaklarına sahip olmayan ülkelerin, 1970'li yıllardaki petrol krizinin de etkisi ile enerjideki dışa bağımlılıklarından kurtulmak amacı ile santraller kurmaya başlaması ile yaygınlaşmıştır.

Nükleer santrallerden aralıksız bir süre boyunca ve hava şartları tarafından etkilenilmeden elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Nükleer santraller için kullanılan yakıtların hammaddesi Uranyumdur.

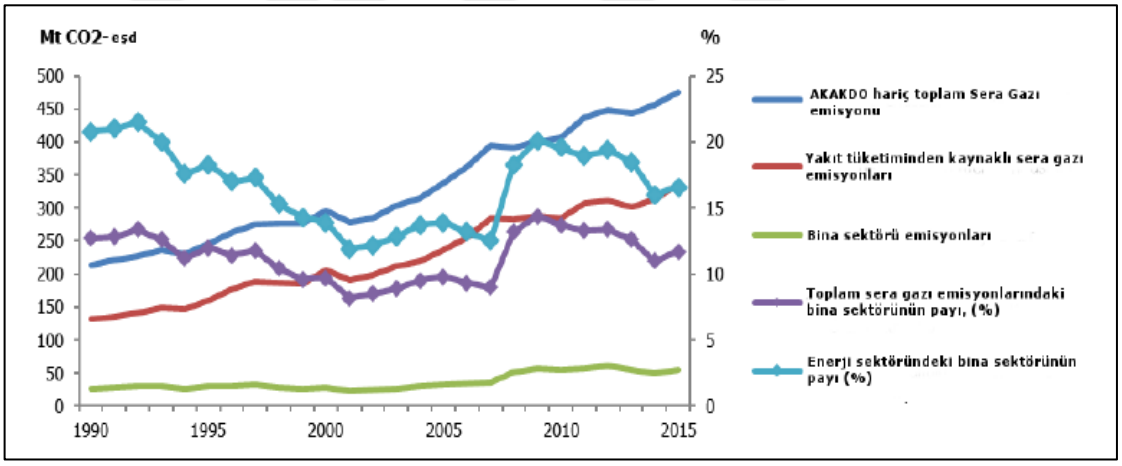
Elektrik birim bazında bakıldığında nükleer santraller için kullanılan yakıt maliyeti, diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında çok daha azdır. Bu sebeple yakıt

fiyatlarında herhangi bir değişiklik olması durumunda elektrik üretiminde herhangi bir etkilenme durumu olmayacaktır.

Ayrıca nükleer satrallerle ilgili bir diğer önemli durum da, işletme sırasında sera gazı emisyonuna sebep olmazlar. Bundan dolayı küresel ısınmanın azaltılmasında önemli bir kaynak olarak kullanılabilirler [54].

2.6.2 Konut Artışı

Konut sektörü doğrudan sera gazı emisyonlarını arttırdığı bilinen bir sektördür. 1990 yılından 2015 yılına kadar bu sektördeki artış %105 olarak kayıtlara geçmiştir. Bina sektörünün doğrudan sera gazı emisyonları, 1990 yılına kıyasla, 2015 yılında %105 oranında artış göstermektedir. Şekil 2.11'de konut ve hizmet (bina) sektöründeki 1990-2015 yılları arasındaki sera gazı emisyonları gösterilmektedir [68].



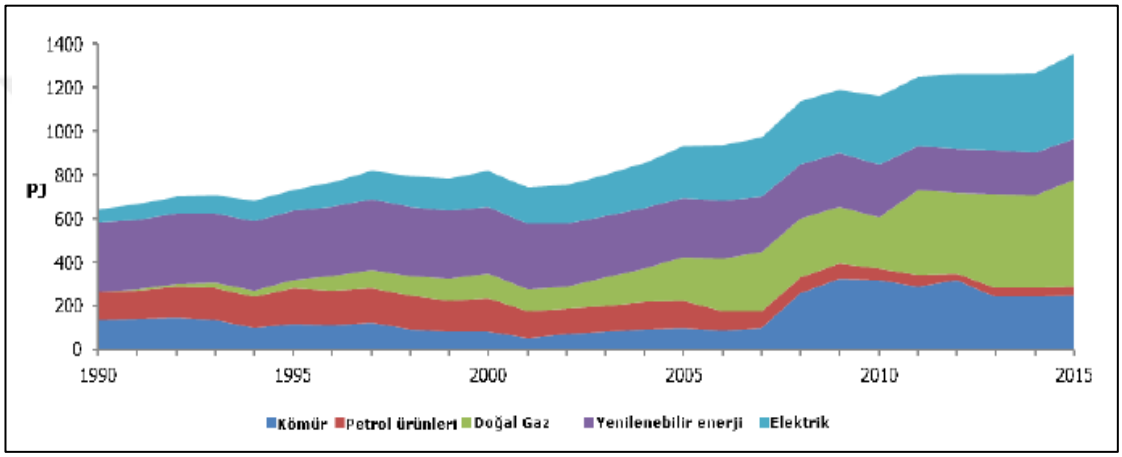
Şekil 2.11 Konut ve hizmet (bina) sektörü sera gazı emisyonları (1990-2015) [68]

Şekil 2.11'de görüldüğü üzere Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (AKAKDO) hariç toplam sera gazı emisyonu %22'lerden %16'ya gerilemiştir. Yakıt tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları %7'lerden %16'lara yükselmiştir. Bina sektörü emisyonları doğrusal bir ivmede devam etmiştir ve %3 oranında seyretmektedir. Toplam sera gazı emisyonlarındaki bina sekötürün payı 1990'dan 2015'e kadar farklı oranlarda seyretmiştir ancak; %13 seviyelerinde etkiye sahiptir. Enerji sektöründe bina sektörünün payı ise %22'lerden %17 seviyelerine düşmüştür.

1990'dan 2015 yılına kadarki süreçte sera gazı emisyonlarındaki artışın sebebi, bu sektörde enerji kaynağı olarak fosil yakıt tüketiminin artmasıdır. Bina sekötründen

1990 yılındaki verilere göre toplam enerji kaynağı tüketimi 643 J iken, bu değerler 2015 yılında 1354 J'e yükselmiştir. Bu artıştaki en büyük neden ise fosil yakıt tüketimin %194 gibi büyük bir sıçrama ile yükselmiş olmasıdır. Yine aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarında da %41.5 oranında bir azalma gözlenmektedir. Bu verilere ait bilgi Şekil 2.12'de bina sektöründeki enerji tüketimi olarak gösterilmektedir [68]

1990-2015 yılları arasında başlangıç değer yenilenebilir enerji için; %49.4 iken bitiş değeri %13.7 olarak verilmiştir. Aynı yıllarda fosil yakıtların payı ise %41.2 ile %57.6 olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.12 Bina sektöründe enerji tüketimi [68]

Şekil 2.12'de üretilen bir birim enerji için açığa çıkan CO_2 emisyonu olarak ifade edilen, yakıtların CO_2 emisyon yoğunluğu görülmektedir.

Bütün fosil yakıtlar göz önünde bulundurulduğunda kömür en yüksek CO_2 emisyon yoğunluğuna sahipken, doğalgaz en düşük CO_2 emisyon yoğunluğuna sahiptir. IPPC 2006 sera gazı emisyonu envanter kılavuzuna göre biyokütle kaynaklı CO_2 gazı sera gazı emisyonu, toplam ulusal sera gazı emisyonlarına katılmadığı için, konut sektöründe tüketilen enerji kaynakları içerisinde biyokütle kaynaklarının payı arttırılırsa, sektördeki emisyon düşüşü için büyük bir katkı payına sahip olacağı ön görülmektedir.

Şekil 2.13'te Türkiye'deki binalarda tüketilen yakıtların CO_2 gazı emisyonu yoğunluğu gösterilmektedir.

INDC 2018 yılı verilerene göre Türkiye'de konut sektöründeki enerji tüketimi performansı azaltımı için yapılması gerekenler [69];

- Yeni yapılan konut veya ticari amaçlı binaların, Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılması
- Yeni yapılacak olan konutların ve hali hazırda bulunan binaların Enerji Kimlik Belgesi oluşturularak enerji tüketimlerinin azaltılması ve sera gazı emisyonunun kontrol altında tutulması, ayrıca m^2 bazında tüketimlerin gelecek yıllarda azaltılması
- Yeni yapılacak olan konutların ve hali hazırda bulunan binalarda uygulanacak olan birincil enerji kaynaklarının tüketimini azaltan teknolojierin geliştirilmesi, bunlara uygun alt yapıların oluşturulması teşvik edilmesi (kredi, vergi azaltımı vb.)
- Yeşil Bina olarak bilinen, sıfır atık tüketimine uygun konut tasarımlarının yaygınlaştırılması ile enerji tüketiminin minimuma indirilmesinin teşvik edilmesi

2.6.3 Tarım ve Hayvancılık

Tarım sektörü, sera gazı emisyonuna katkı yapan sektörlerden birisi olarak bilinmektedir. IPPC Sentez Rapor'una göre tarım ve hayvancılık sektölerinin sera gazı emisyonuna katkısı, diğer tüm sektörlerinden içinde yaklaşık olarak %15 seviyelerinde yer almaktadır.

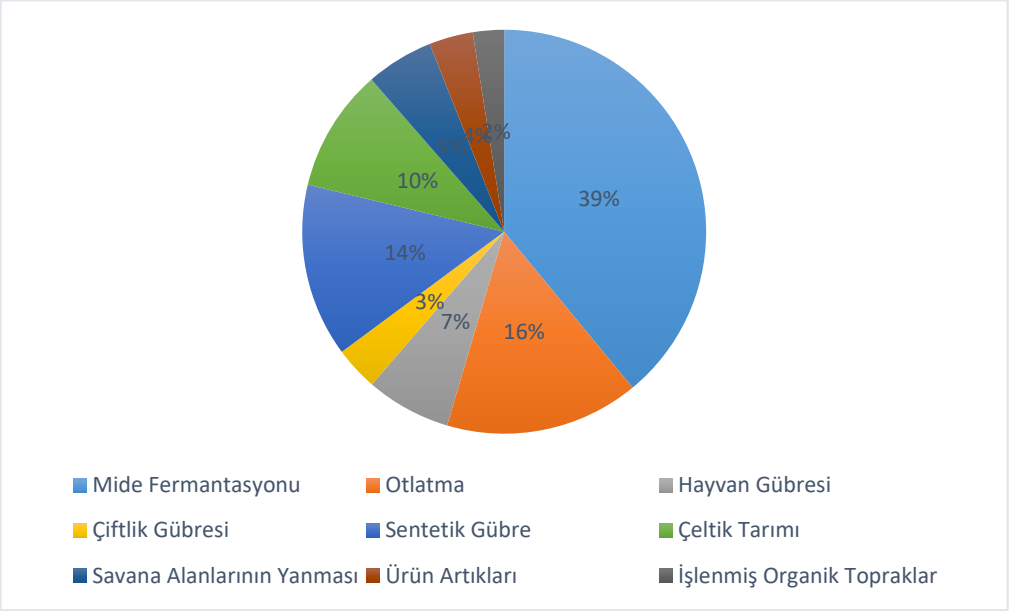
EPA'nın 2011 yılında sektörlere göre yayınladığı rapordaki dağılım şu şekildedir; tarım %8, sanayi %20, ulaşım ve enerji ihtiyacı %61, evsel üretim %11'dir. IPPC 2007 sentez raporunda ise, 2004 yılındaki sektörel oranlar deklare edilmiştir. Tarım %13.5, sanayi %19.4, ulaşım ve enerji talebi %39, evsel üretim %7.9, ormansızlaştırmanın etkisi %17.4, atıklar %2.8 olarak verilmiştir [70].

Sonuç olarak, IPPC'nin raporunda tarımın sektörünün etkisinin daha az oluşunun nedeni, zaman serilerinin farklı verilere ait olması veya başka bir sebeple ormansızlaştırmanın etkisinin hesaplara katılmamasıdır. Çünkü orman alanlarının tarım alanlarına dönüştürülmesi veya başka sebeplerle ortadan kaldırılması sera gazı emisyonu artışında pozitif etkiye sahiptir.

Küresel olarak tarım kaynaklı sera gazı emisyonu ölçüldüğünde %8 ile %15 aralığında değişiklikler göstermektedir. Tarımsal sera gazı emisyonuna sebep olan kaynaklar, bitkisel ve hayvansal kökenli olabilmektedir. Ancak tarım kaynaklı sera

gazlarının büyük bir kısmının büyük ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Hayvancılık kaynaklı olan sera gazı emisyonları, bu sektörde %70'lik bir kısıma karşılık gelmektedir. Bitkisel kaynaklı kısım da %30'luk bir bölümü kaplamaktadır. Hayvancılık kaynaklı sebepler, hayvanların sindirim fermantasyonları, gübre kullanımı, toprağa uygulanan gübreler, otlatma olarak ayrılmaktadır. Bitkisel kökenli, tarımsal sera gazı emisyonuna sebep olanlar ise çeltik tarımı, sentetik gübreler, nihai ürün atıkları ve anız yakılması olarak bilinmektedir [71].

Küresel ölçekte bakıldığında, tarımsal sera gazı emisyonuna sebep olan 10 adet tarımsal kaynak olduğu görülmektedir. Şekil 2.13'te bu kaynakların görselleştirilmiş hali yer almaktadır.



Şekil 2.13 Küresel ölçekte tarımsal sera gazı emisyonuna sebep olan kaynaklar [70]

En büyük pay hayvansal kökenli olan sindirim fermantasyonudur. Bu durum metan gazının açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Tarımsal sera gazları içerisindeki oranı %38.8'dir. Otlatma nedeniyle doğada kalan gübrelerin atmosfere salınımı da %15.44'lük bir kısma sebep olmaktadır. Hayvansal kayanaklı olarak hayvan gübresi kullanımı %6.77, toprağa uygulanan çiftlik gübresi %3.47'lik kısma denk gelmektedir.

Bitkisel kökenli olup, tarım sektöründe sera gazı emisyonuna sebep olan kaynaklar arasında ilk sırada sentetik gübreler yer almaktadır. Bu kısım %13.8'lik bir kısma

denk gelmektedir. Bitkisel kökenli sera gazına sebep olan, çeltik tarımı sonucu %9.78, savan alanlarının yanması %5.38, ürün artıkları %3.49, işlenmiş organik topraklar %2.48 gaz açığa çıkmaktadır [72].

Küresel ölçekte tarım sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonları artış gösterirken, Türkiye'de azalma olduğu belirtilmiştir. Çeltik tarımı haricinde diğer kaynakların sebep olduğu sera gazı emisyonunda bir azalma gözlenmektedir. Tarım sektöründen kaynaklanan sera gazı emiyonunun, %65'i hayvancılık tarımından kaynaklanan faaliyetler sonucunda meydana gelmektedir. %35'lik kısmın ise bitkisel kökenli faaliyetler sonucu açığa çıktığı belirlenmiştir [71].

2.6.4 Yeşil Alan ve Ormanlar

Ormansızlaşma, fosil yakıt yanmasından sonra atmosfere en büyük ikinci antropojenik karbondioksit kaynağıdır. Ormansızlaşma ve orman bozulmasından kaynaklanan emisyonları azaltmayı amaçlayan programlar, antropojenik sera gazı emisyonlarını azaltmak için düşük maliyetli bir yol olarak görülmektedir [73]. Ormansızlaşma ve ormanların bozulması orman biyokütlesinin yanması ve kalan bitki materyali ile toprak karbonunun ayrıştırılması yoluyla atmosferik sera gazı emisyonlarına katkıda bulunur. Bilim ve politika topluluklarında, ormansızlaşma ve orman bozulmasından kaynaklanan karbon emisyonlarının küresel antropojenik CO_2 emisyonlarının yaklaşık% 20'sini oluşturduğu tahmin edilmektedir. [74]

2.7 Karbon Piyasası

Türkiye Kyoto Protokül'üne göre salınım ticaretine konu olan esneklik mekanizmalarından yararlanmamaktadır. Çevre ile ilgili projeler için kurulmuş Gönüllü Karbon Piyasası'na yönelik çalışmalar yürütülmekte ve planlanmaktadır. 2005 yılından beri, Türkiye tarafında Gönüllü Karbon Piyasası'nda işlem gören sertifikalar için ev sahipliği yapılmaktadır.

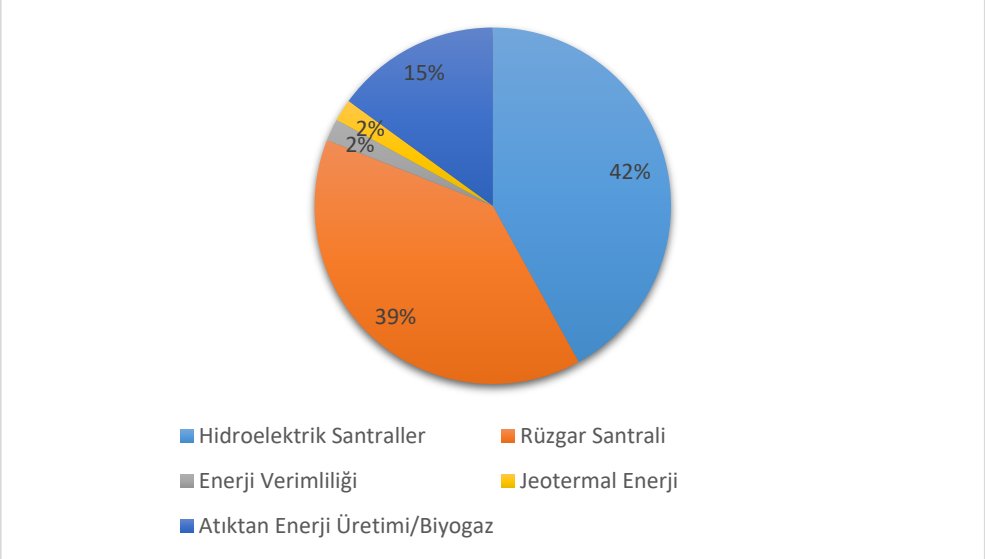
Günümüzde, Türkiye'de Gönüllü Karbon Piyasası ile ilgili devam etmekte olan 308 adet proje mevcuttur. Bu projeler sonucunda yılda sera gazı emisyonunda 20 Milyon tCO_2 eşdeğeri kadar azaltım olacağı tahmin edilmektedir [75].

2014 yılından itibaren karbon piyasasında bahsi geçen projelerin sektörlere göre dağılımı Tablo 2.6'da yer almaktadır.

Tablo 2.6 Türkiye'nin karbon piyasalarında sektörlere göre projeleri [75]

Proje Türü	Sayısı	Yıllık Emisyon Azaltımı (tCO_2/yıl)
Hidroelektrik Santrali	159	8,747,634
Rüzgar Santrali	106	7,951,391
Atıktan Enerji Üretimi/Biyogaz	27	3,069,273
Enerji Verimliliği	10	432,081
Jeotermal	6	405,309
TOPLAM	308	20,605,688

Şekil 2.15'de Türkiye'de geliştirilen Gönüllü Karbon Piyasası projeleri yıllık emisyon azaltım değerlerine göre sektörel dağılım oranları yer almaktadır.



Şekil 2.15 Türkiye'de geliştirilen Gönüllü Karbon Piyasası projeleri yıllık emisyon azaltım değerlerine göre sektörel dağılım oranları [75]

Dağılım grafiğine göre hidroelektrik santrallerin payı %42, rüzgar santrallerinin payı %39, enerji verimliliği %2, atıktan enerji üretimi/biyogaz %15 ve jeotermal enerjinin payı da %2'dir.

3
MATERYAL METOT

Bu bölümde, CO_2 emisyon tahmini yapacak modellerin oluşturulmasında ve değerlendirilmesinde kullanılan parametreler, yöntemler ve kriterler sistematik olarak verilmiştir. Öncelikle, CO_2 emisyonu tahmin modelinde kullanılacak farklı girdi değişken parametreleri tanımlanıştır. Bu girdi parametrelerinin çıktı parametresi CO_2 emisyonu ile yakınlık (ilişki) derecelerini analiz edilen SPSS ile ANOVA, t testi yönteminden bahsedilmiştir. t testi her ne kadar bu analiz için uygulanmış olsa da, veri anlamlılığı bakımından ANOVA testi dikkate alınmıştır. Bu analiz ile ilişkisi düşük olan girdi parametrelerin elenmesindeki izlenecek yol gösterilmiştir. Daha sonra tahmin modellerin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerin (çoklu lineer regresyon, destek vektör makinaları, yapay sinir ağları ve Bayesian Ridge Resgresoyunu) temel esasları anlatılmıştır. Sonrasında ise, oluşturulacak modellerin tahmin performanslarını (tahmin değerlerinin gerçek değerlere ne oranda yaklaştığını) değerlendirmek için performans kriterleri verilmiştir.

Son olarak, CO_2 emisyonun gelecekteki yıllara göre değerleri (2030 yılına kadar) oluşturulan modeller kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu noktada 2030 yılına kadar olan girdi parametreleri doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Tahmin modellerinin oluşturulması ve değerlendimesinnde izlenen yol haritası aşağıdaki alt bölümlerde detaylandırılmıştır.

3.1 Kullanılan Veri Seti

CO_2 emisyonu tahminlerinin belirlenmesinde kullanılacak tahmin tekniğinin seçimi önemli bir noktadır. Bu çalışmada doğru veri setinin seçilmesi için en sık kullanılan tahmin yöntemi olan bir metot kullanılmıştır. Tüm veri seti için 1960-2014 yılları arasındaki girdi parametre verileri baz alınarak Excel'de doğrusal regresyon yapılarak 2015-2030 yılları arasındaki girdi parametreleri tahmin edilmiştir. Bu veriler ekler kısmındaki modellemede kullanılan veri seti başlığında yer almaktadır.

Çok fazla göz yormaması ve kolay okunabilmesi için %'lik haricindeki veriler 1/1,000,000 ölçeğinde küçültülmüştür.

Modelleme için, toplamda 8 adet veri seti kullanılmıştır. Kullanılan veri setleri 1960-2014 yılları arasındaki verilere aittir. Nüfus, gayri safi yurtiçi hasıla, elektrik enerjisi ve ısı üretimi, elektrik tüketimi, gelir seviyelerine göre CO_2 emisyonu, konutlar, ticari ve kamu hizmetlerinden kaynaklanan CO_2 emisyonu, ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimi ve yıllara göre CO_2 emisyonu giriş parametreleridir. Çıkış değişken parametresi Türkiye'nin 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonudur. Veri seti başlangıçta 8 adettir ancak sonradan bazı değişken seçimleri sonucu 5'e düşmüştür.

3.1.1 Nüfus

Toplam nüfus, yasal statüye veya vatandaşlığa bakılmaksızın tüm sakinleri sayan fiili nüfus tanımına dayanmaktadır. Göç ya da ölümden daha fazla doğum sonucunda insan nüfusunun artması doğal kaynakları ve sosyal altyapıyı etkileyebilir. Nüfustaki önemli bir artış, tarımsal üretim için arazinin mevcudiyetini olumsuz yönde etkileyecek ve gıda, enerji, su, sosyal hizmetler ve altyapı için talebi artıracaktır. Öte yandan, nüfusun azalması bir hükümetin hizmetleri ve altyapıyı koruma taahhüdünü etkileyebilir.

Nüfus parametresinin CO_2 gazı emisyonunu en çok etkileyen değişken olduğu literatür çalışmaları sonucunda da belirlenmiştir. Çünkü nüfus arttıkça kaynak talebi ve dolayısıyla tüketim artacaktır.

Tablo 3.1'de modellerde kullanılan nüfusa dayalı veri seti yer almaktadır [76].

Tablo 3.1 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası nüfus verileri [76]

Yıllar	Nüfus	Yıllar	Nüfus
1960	27,472,345	1964	30,244,261
1961	28,146,910	1965	30,972,994
1962	28,832,827	1966	31,717,507
1963	29,531,365	1967	32,477,992

Tablo 3.1 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası nüfus verileri [76] (devamı)

Yıllar	Nüfus	Yıllar	Nüfus
1968	33,256,464	1992	55,748,948
1969	34,055,390	1993	56,653,804
1970	34,876,303	1994	57,564,204
1971	35,720,599	1995	58,486,456
1972	36,587,261	1996	59,423,282
1973	37,472,336	1997	60,372,568
1974	38,370,283	1998	61,329,676
1975	39,277,258	1999	62,287,397
1976	40,189,567	2000	63,240,194
1977	41,108,297	2001	64,192,243
1978	42,039,992	2002	65,145,367
1979	42,994,041	2003	66,089,402
1980	43,975,971	2004	67,010,930
1981	44,988,414	2005	67,903,469
1982	46,025,411	2006	68,756,810
1983	47,073,472	2007	69,581,848
1984	48,114,155	2008	70,418,604
1985	49,133,937	2009	71,321,399
1986	50,128,541	2010	72,326,988
1987	51,100,924	2011	73,443,863
1988	52,053,765	2012	74,653,016
1989	52,992,487	2013	75,928,564
1990	53,921,760	2014	77,231,907
1991	54,840,590		

3.1.2 Gayri Safi Yurtiçi Hasıla

Gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), tüm üreticileri tarafından katma değerin toplamını temsil etmektedir. Katma değer, üreticilerin brüt üretiminin, üretimde sabit sermaye tüketimini hesaba katmadan önce, üretimde tüketilen ara mal ve hizmetlerin değerinden daha az değeridir. Birleşmiş Milletler Ulusal Hesaplar Sistemi, katma değerin ya temel fiyatlarda (ürünler üzerindeki net vergiler hariç) ya da üretici fiyatlarında (üreticiler tarafından ödenen ancak satışlar veya katma değer vergileri hariç net vergiler dahil) değerlenmesini ister. Her iki değerleme de üreticiler tarafından ayrı olarak faturalanan nakliye ücretlerini içermez. Toplam GSYİH, alıcı fiyatlarından ölçülür. Endüstrinin katma değeri normalde temel fiyatlarla ölçülür. Modelde kullanılan veriler şu anki ABD doları cinsindendir. GSYİH dolar kuru olarak, bir yıllık resmi döviz kurları kullanılarak, ülkenin yerel para birimlerinden dönüştürülür [77].

Tablo 3.2'de tahmin modellerinde kullanılan gayri safi yurtiçi hasılaya dayalı veri seti yer almaktadır. Veri setinde yer alan GSYH değerlerinin birimi $ cinsindendir.

Tablo 3.2 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası GSYH verileri [77]

Yıllar	GSYH	Yıllar	GSYH
1960	13,995,067,817.51	1970	17,086,956,521.74
1961	7,988,888,888.89	1971	16,256,619,963.80
1962	8,922,222,222.22	1972	20,431,095,406.36
1963	10,355,555,555.56	1973	25,724,381,625.44
1964	11,177,777,777.78	1974	35,599,913,836.43
1965	11,966,666,666.67	1975	44,633,707,242.76
1966	14,100,000,000.00	1976	51,280,134,554.29
1967	15,644,444,444.44	1977	58,676,813,687.37
1968	17,500,000,000.00	1978	65,147,022,485.79
1969	19,466,666,666.67	1979	89,394,085,658.20

Tablo 3.2 türkiye'de 1960-2014 yılları arası GSYH verileri [76] (Devamı)

Yıllar	GSYH	Yıllar	GSYH
1980	68,789,289,565.74	1998	275,768,693,191.09
1981	71,040,020,140.44	1999	255,884,300,638.53
1982	64,546,332,580.76	2000	272,979,390,333.74
1983	61,678,280,115.50	2001	200,251,925,227.88
1984	59,989,909,457.84	2002	238,428,125,942.40
1985	67,234,948,264.60	2003	311,823,003,788.62
1986	75,728,009,962.79	2004	404,786,739,602.81
1987	87,172,789,528.33	2005	501,416,301,536.12
1988	90,852,814,004.99	2006	552,486,912,921.99
1989	107,143,348,667.09	2007	675,770,112,179.99
1990	150,676,291,094.21	2008	764,335,657,637.62
1991	150,027,833,333.33	2009	644,639,901,973.70
1992	158,459,130,434.78	2010	771,901,768,870.08
1993	180,169,736,363.64	2011	832,523,680,908.06
1994	130,690,172,297.30	2012	873,982,246,611.95
1995	169,485,941,048.04	2013	950,579,413,122.56
1996	181,475,555,282.56	2014	934,185,915,386.10
1997	189,834,649,111.26		

3.1.3 Elektrik ve Isı Üretimi

Elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan CO_2 emisyonları, üç IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) CO_2 emisyonu kategorisinin toplamıdır:

- Ana faaliyet üreticisi elektrik üretimi, ana faaliyet üreticisi elektrik üretimi, kombine ısı ve enerji üretimi ve ısı tesislerinden kaynaklanan emisyonların toplamını içerir.
- Otoprodüktörler tarafından elektrik ve/veya ısı üretiminden kaynaklanan emisyonları içeren Ayrılmamış Otoprodüktörlerdir. Otoprodüktörler, tamamen veya kısmen kendi birincil faaliyetlerini destekleyen bir faaliyet olarak kendi kullanımları için elektrik ve/veya ısı üreten teşebbüsler olarak tanımlanır. Özel veya kamuya ait olabilirler.
- Diğer Enerji Endüstrileri, katı yakıtlar, kömür madenciliği, petrol ve gaz çıkarımı ve diğer enerji üreten endüstrilerin üretimi için petrol rafinerilerinde yakılan yakıttan kaynaklanan emisyonları içermektedir. 1996 IPCC Kılavuzlarına göre, kok girişlerinden yüksek fırınlara emisyonlar burada veya Endüstriyel Proses kaynak/havuz kategorisinde sayılabilmektedir. Ayrıntılı sektörel hesaplamalar dahilinde, bazı enerji dışı süreçler ayırt edilebilmektedir. Yüksek fırındaki demirin kok kömürünün yanmasıyla azaltılmasında, kok oksidasyonunun temel amacı pik demir üretmek ve emisyonlar endüstriyel bir süreç olarak kullanılmaktadı.r. Hem Enerji hem de Endüstriyel Proseslerde bu emisyonların iki kez sayılmamasına dikkat edilmelidir. [78].

Tablo 3.3'te tahmin modellerinde kullanılan elektrik ve ısı üretimine dayalı veri seti yer almaktadır. Veri setinde yer alan elektrik ve ısı üretimi %'lik olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası elektrik ve ısı üretimi verileri [78]

Yıllar	**Elektrik ve Isı Üretimi (%)**	**Yıllar**	**Elektrik ve Isı Üretimi (%)**
1960	19.738	1964	21.673
1961	19.683	1965	22.819
1962	21.640	1966	24.844
1963	16.215	1967	22.718

Tablo 3.3 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası elektrik ve ısı üretimi verileri [78] (devamı)

Yıllar	Elekt. ve Isı Üretimi (%)	Yıllar	Elekt. ve Isı Üretimi (%)
1968	23.267	1992	33.105
1969	26.796	1993	32.043
1970	26.294	1994	36.357
1971	24.658	1995	34.007
1972	22.589	1996	34.166
1973	23.791	1997	35.750
1974	25.226	1998	38.151
1975	24.618	1999	40.602
1976	24.269	2000	37.229
1977	24.176	2001	41.967
1978	23.976	2002	37.097
1979	25.029	2003	35.598
1980	23.165	2004	35.566
1981	25.091	2005	37.555
1982	24.401	2006	37.675
1983	25.417	2007	40.087
1984	27.034	2008	43.194
1985	30.726	2009	43.706
1986	34.417	2010	42.599
1987	29.226	2011	43.277
1988	24.687	2012	41.742
1989	31.056	2013	42.708
1990	30.740	2014	46.690
1991	31.561		

3.1.4 Elektrik Tüketimi

Bir ekonominin elektrik üretimi ve tüketimi, büyüklüğünün ve gelişim düzeyinin temel göstergeleridir. Birkaç ülke elektrik enerjisi ihraç etse de, çoğu üretim iç tüketim içindir. Kabul edilemez sosyal, ekonomik ve çevresel maliyetlere maruz kalmadan artan kentleşmiş ve sanayileşmiş ekonomilerin artan talebini karşılamak için elektrik arzını genişletmek, gelişmekte olan ülkelerin karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir. Modern toplumlar, ekonomik büyümeyi ve toplumların refah seviyelerini arttırmak için, güvenli elektrik kaynaklarına bağımlı hale gelmektedir. Bu güven, ekonomileri karbondan arındırmaya yardımcı olmak için daha verimli ve daha az karbon yoğun güç biçimleri geliştirildikçe ve devreye alındıkça büyüyecek. Güç sistemlerini hızla karbondan arındırmaya çalışırken güvenilir ve güvenli elektrik hizmetlerini sürdürmek, ülkeler için önemli bir sorundur. Gelişmekte olan ekonomilerde enerji kullanımındaki büyüme, modern sektörlerdeki büyüme ile yakından ilişkilidir - sanayi, motorlu ulaşım ve kentsel alanlar - ancak enerji kullanımı da iklimsel, coğrafi ve ekonomik faktörleri (enerjinin nispi fiyatı gibi) yansıtır. Düşük ve orta gelirli ekonomilerde enerji kullanımı hızla büyümektedir, ancak yüksek gelirli ekonomiler kişi başına bazda yaklaşık beş kat daha fazla enerji kullanmaktadır. Birçok ülkedeki hükümetler, Dünyanın enerji kaynaklarından daha iyi yararlanma ihtiyacının giderek arttığının farkındadır.

Tablo 3.4'te tahmin modellerinde kullanılan elektrik tüketimine dayalı veri seti yer almaktadır. Veri setinde yer alan elektrik tüketimi kişi başına düşen kw cinsinden olarak gösterilmektedir [79].

Tablo 3.4 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası elektrik tüketimi verileri [79]

Yıllar	**Electrik Tüketimi (kw kişi başına)**	**Yıllar**	**Electrik Tüketimi (kw kişi başına)**
1960	92.311	1964	132.058
1961	96.920	1965	143.834
1962	112.059	1966	156.633
1963	120.583	1967	170.269

Tablo 3.4 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası elektrik tüketimi verileri [79] (devamı)

Yıllar	Elektrik Tüketimi (kw kişi başına)	Yıllar	Elektrik Tüketimi (kw kişi başına)
1968	184.595	1992	1,044.360
1969	205.547	1993	1,115.194
1970	222.385	1994	1,145.503
1971	246.300	1995	1,227.326
1972	276.407	1996	1,328.351
1973	297.339	1997	1,439.975
1974	312.455	1998	1,520.096
1975	358.579	1999	1,556.334
1976	420.581	2000	1,652.746
1977	461.682	2001	1,612.998
1978	479.519	2002	1,667.363
1979	488.532	2003	1,771.827
1980	495.543	2004	1,891.840
1981	519.200	2005	2,013.888
1982	543.352	2006	2,179.071
1983	555.408	2007	2,347.638
1984	613.665	2008	2,422.712
1985	659.747	2009	2,314.690
1986	698.703	2010	2,491.628
1987	771.160	2011	2,695.051
1988	809.182	2012	2,768.970
1989	874.746	2013	2,755.511
1990	929.698	2014	2,847.126

3.1.5 Gelir Seviyelerine Göre CO_2 Emisyonu

Ülkelerin gelir seviyelerine göre CO_2 emisyonları 1960-2014 yılları arasındaki veri setini kapsamaktadır. Ülkelerin gelir seviyeleri; düşük, yüksek, orta, orta seviyenin üzeri ve orta seviyenin altı olmak üzere 5 grupta sınıflandırılmıştır. Bu veri setinde Türkiye gelir seviyesi olarak orta seviyenin üzeri ülkeler arasında yer almaktadır. Bu veriler kişi başına düşen milli gelir olmak üzere gruplandırılmıştır [80].

Tablo 3.5'te tahmin modellerinde kullanılan gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonuna dayalı veri seti yer almaktadır. Veri setinde yer alan gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonu %'lik olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.5 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonu verileri (%) [80]

Yıllar	Türkiye	Yüksek Gelir	Düşük Gelir	Orta Seviyenin Altı	Orta Seviyeli	Orta Seviyenin Üstü
1960	0.612	7.515	0.192	0.375	1.116	1.689
1961	0.616	7.567	0.181	0.398	0.960	1.405
1962	0.750	7.817	0.190	0.419	0.901	1.287
1963	0.767	8.152	0.182	0.442	0.908	1.282
1964	0.870	8.463	0.203	0.447	0.931	1.319
1965	0.884	8.733	0.207	0.483	0.987	1.392
1966	0.994	9.017	0.220	0.497	1.040	1.477
1967	1.032	9.325	0.216	0.491	1.001	1.410
1968	1.091	9.734	0.340	0.516	1.064	1.503
1969	1.139	10.248	0.298	0.533	1.158	1.658
1970	1.222	11.033	0.266	0.562	1.301	1.891
1971	1.336	11.137	0.295	0.586	1.386	2.024
1972	1.472	11.579	0.265	0.605	1.431	2.090

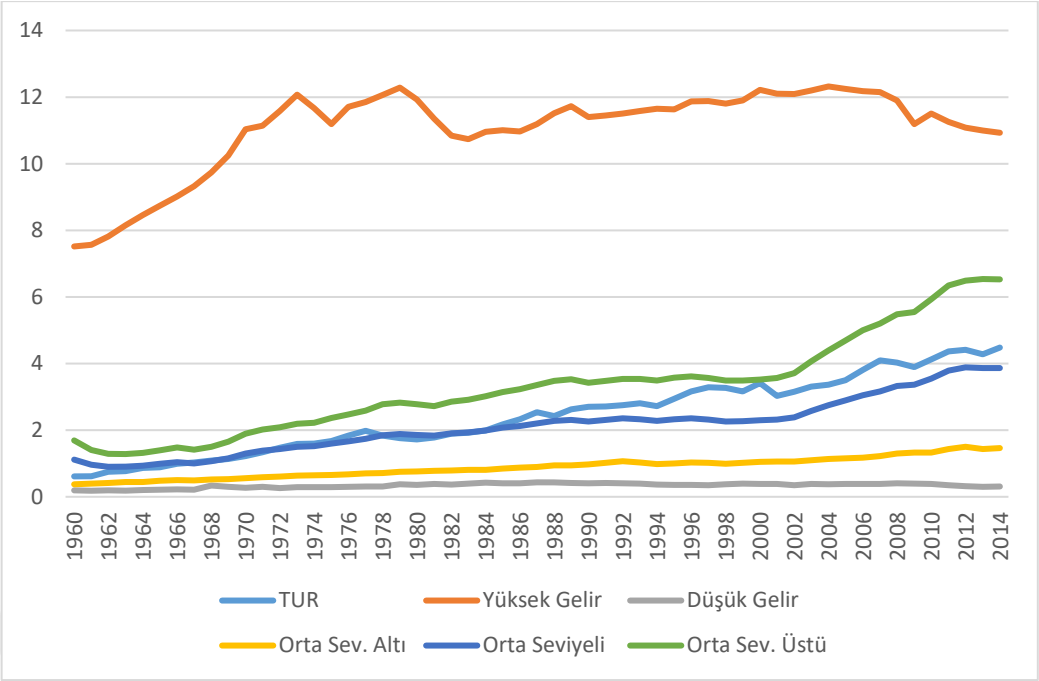
Tablo 3.5 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonu verileri (%) [80] (devamı)

Yıllar	Türkiye	Yüksek Gelir	Düşük Gelir	Orta Seviyenin Altı	Orta Seviyeli	Orta Seviyenin Üstü
1973	1.587	12.075	0.285	0.632	1.498	2.191
1974	1.593	11.673	0.286	0.648	1.518	2.217
1975	1.672	11.191	0.289	0.655	1.600	2.361
1976	1.834	11.706	0.301	0.672	1.664	2.469
1977	1.984	11.855	0.306	0.706	1.742	2.588
1978	1.837	12.064	0.310	0.716	1.846	2.777
1979	1.757	12.284	0.374	0.753	1.886	2.827
1980	1.722	11.929	0.356	0.765	1.861	2.779
1981	1.775	11.353	0.387	0.783	1.833	2.723
1982	1.890	10.844	0.364	0.791	1.906	2.856
1983	1.923	10.740	0.393	0.804	1.936	2.909
1984	1.991	10.955	0.422	0.812	1.993	3.016
1985	2.171	11.004	0.404	0.850	2.077	3.149
1986	2.331	10.966	0.400	0.878	2.128	3.228
1987	2.542	11.190	0.431	0.893	2.200	3.356
1988	2.426	11.519	0.432	0.938	2.281	3.476
1989	2.628	11.730	0.410	0.938	2.305	3.528
1990	2.705	11.402	0.403	0.974	2.259	3.420
1991	2.710	11.449	0.414	1.021	2.309	3.483
1992	2.746	11.509	0.403	1.071	2.355	3.535
1993	2.808	11.585	0.391	1.034	2.331	3.535
1994	2.724	11.652	0.366	0.982	2.277	3.489
1995	2.940	11.632	0.355	1.002	2.326	3.575
1996	3.167	11.870	0.359	1.032	2.356	3.615

Tablo 3.5 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonu verileri (%) [80] (devamı)

Yıllar	Türkiye	Yüksek Gelir	Düşük Gelir	Orta Seviyenin Altı	Orta Seviyeli	Orta Seviyenin Üstü
1997	3.288	11.880	0.351	1.020	2.318	3.563
1998	3.271	11.804	0.374	0.986	2.258	3.488
1999	3.159	11.899	0.391	1.016	2.268	3.489
2000	3.418	12.214	0.390	1.051	2.296	3.522
2001	3.031	12.101	0.389	1.055	2.315	3.567
2002	3.157	12.097	0.350	1.063	2.384	3.708
2003	3.306	12.197	0.387	1.099	2.575	4.067
2004	3.364	12.320	0.381	1.133	2.748	4.396
2005	3.496	12.249	0.382	1.153	2.897	4.693
2006	3.805	12.176	0.389	1.177	3.052	5.001
2007	4.091	12.148	0.386	1.225	3.167	5.204
2008	4.033	11.898	0.402	1.294	3.329	5.481
2009	3.896	11.191	0.393	1.326	3.369	5.549
2010	4.120	11.505	0.383	1.331	3.545	5.927
2011	4.369	11.256	0.343	1.435	3.789	6.341
2012	4.415	11.080	0.319	1.501	3.886	6.491
2013	4.277	10.999	0.302	1.432	3.863	6.538
2014	4.480	10.926	0.308	1.465	3.867	6.528

Şekil 3.1'de kullanılan veri setinin görselleştirilmiş hali yer almaktadır. Bu şekilde gelir seviyesi arttıkça CO_2 emisyonunun arttığı gözlenmiştir.



Şekil 3.1 Gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonu (1960-2014) [80]

3.1.6 Konutlar, Ticari ve Kamu Hizmetlerinden Kaynaklanan CO_2 Emisyonu

Konut binalarından, ticari ve hizmet binalarından kaynaklanan CO_2 emisyonları, evlerde yakıt olarak kullanılan ve atmosfere salınan tüm durumları kapsamaktadır.. Bu veri setinde; konut binalarından ve ticari amaçlı kullanılan hizmet binalarından kaynaklanan CO_2 emisyonunun, toplam yakıt yanması sonucu açığa çıkan CO_2 emisyonuna oranını belirtilmektedir [81].

Tablo 3.6'da tahmin modellerinde kullanılan konut binalarından ve ticari amaçlı kullanılan hizmet binalarından kaynaklanan CO_2 emisyonuna dayalı veri seti yer almaktadır.

Veri setinde yer alan konut binalarından ve ticari amaçlı kullanılan hizmet binalarından kaynaklanan CO_2 emisyonuna dayalı veriler %'lik olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.6 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası konut binalarından ve ticari amaçlı kullanılan hizmet binalarından kaynaklanan CO_2 emisyonu verileri (%) [81]

Yıllar	Konutlardan Kaynaklanan CO_2 (%)	Yıllar	Konutlardan Kaynaklanan CO_2 (%)
1960	24.806	1983	20.531
1961	23.705	1984	18.657
1962	23.205	1985	19.394
1963	27.057	1986	18.423
1964	24.415	1987	20.524
1965	22.396	1988	20.816
1966	20.954	1989	18.418
1967	23.225	1990	16.998
1968	24.239	1991	16.843
1969	23.603	1992	17.733
1970	23.378	1993	16.257
1971	24.059	1994	14.116
1972	25.015	1995	15.748
1973	23.488	1996	14.178
1974	23.002	1997	14.496
1975	20.577	1998	12.832
1976	21.164	1999	12.521
1977	20.064	2000	12.711
1978	18.677	2001	12.121
1979	17.806	2002	12.557
1980	20.425	2003	13.764
1981	19.018	2004	14.709
1982	20.443	2005	15.662

Tablo 3.6 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası konut binalarından ve ticari amaçlı kullanılan hizmet binalarından kaynaklanan CO_2 emisyonu verileri (%) [81] (devamı)

Yıllar	Konutlardan Kaynaklanan CO_2 (%)	Yıllar	Konutlardan Kaynaklanan CO_2 (%)
2006	15.326	2011	17.574
2007	14.928	2012	20.111
2008	19.460	2013	17.084
2009	18.335	2014	15.157
2010	17.427		

3.1.7 Ulaşımdan Kaynaklı Yakıt Tüketimi

Taşımacılıktan kaynaklanan CO_2 emisyonları, sektöre bakılmaksızın, uluslararası deniz sığınakları ve uluslararası havacılık hariç, tüm ulaşım faaliyetleri için yakıtın yanmasından kaynaklanan emisyonları içermektedir. Bu, yerli havacılık, yurtiçi navigasyon, karayolu, demiryolu ve boru hattı taşımacılığını içerir.

Tablo 3.7'de tahmin modellerinde kullanılan ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimine dayalı veri seti yer almaktadır. Veri setinde yer alan ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimine dayalı veriler %'lik olarak gösterilmektedir [82].

Tablo 3.7 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası konut binalarından ve ticari amaçlı kullanılan hizmet binalarından kaynaklanan CO_2 emisyonu verileri (%) [82]

Yıllar	Ulaşımdan Kaynakalı Yakıt Tüketimi	Yıllar	Ulaşımdan Kaynaklı Yakıt Tüketimi
1960	32.916	1966	32.807
1961	33.943	1967	30.493
1962	33.027	1968	29.570
1963	31.789	1969	26.682
1964	32.059	1970	26.977
1965	33.192	1971	26.576

Tablo 3.7 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası konut binalarından ve ticari amaçlı kullanılan hizmet binalarından kaynaklanan CO_2 emisyonu verileri (%) [82] (devamı)

Yıllar	Ulaşımdan Kaynakalı Yakıt Tüketimi	Yıllar	Ulaşımdan Kaynaklı Yakıt Tüketimi
1972	25.056	1994	22.645
1973	26.218	1995	23.179
1974	25.967	1996	21.992
1975	27.453	1997	19.484
1976	26.474	1998	17.925
1977	27.762	1999	18.835
1978	26.660	2000	17.258
1979	25.844	2001	18.239
1980	23.403	2002	18.206
1981	23.699	2003	17.313
1982	23.279	2004	17.254
1983	22.692	2005	17.082
1984	21.746	2006	17.385
1985	20.704	2007	17.866
1986	21.355	2008	16.859
1987	22.097	2009	17.236
1988	23.483	2010	16.342
1990	21.899	2011	15.443
1991	20.522	2012	16.863
1992	20.191	2013	20.134
1993	23.074	2014	19.833

3.1.8 Toplam CO_2 Emisyonu

CO_2 emisyonu, atmosfere salınan karbonu ifade etmektedir. Sera gazı emisyonu genellikle CO_2 eşdeğeri olarak gösterilmektedir. Bu sebeple herhangi bir küresel ısınma ile ilgili ya da sera gazı etkisi durumlarında, bu birimden bahsedilmektedir. Ayrıca sera gazlarının büyük bir kısmında karbon molekülü yer kaplamaktadır.

CO_2 gazı emisyonu ve sera gazı etkisinin küresel olarak artmasının başlıca sebepleri, kontrolsüz bir şekilde nüfus artışları, endüstriyeleşme, küresel enerji taleplerindeki artışlar, şehirleşmeye olan ilgi, yeşil alan olarak ifade edilen ve genellikle orman alanlarından bahsedilen yerlerin azaltılması ve sera gazlarının herhangi bir filtreleme işlemi olmadan kontrolsüz olarak atmosfere salınımından kaynaklanmaktadır [14].

Tablo 3.8'de tahmin modellerinde kullanılan Türkiye'deki toplam CO_2 gazı salınımına dayalı veri seti yer almaktadır. Veri setinde yer alan Türkiye'deki toplam CO_2 gazı salınımına dayalı veriler kt olarak ifade edilmektedir.

Tablo 3.8 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası türkiye'deki toplam CO_2 gazı emisyonu verileri (kt) [76]

Yıllar	Toplam CO_2 Emisyonu	Yıllar	Toplam CO_2 Emisyonu
1960	16,820.53	1971	47,733.34
1961	17,363.25	1972	53,857.23
1962	21,631.63	1973	59,486.07
1963	22,669.39	1974	61,136.22
1964	26,336.39	1975	65,697.97
1965	27,388.82	1976	73,721.37
1966	31,547.20	1977	81,572.42
1967	33,523.71	1978	77,256.36
1968	36,314.30	1979	75,576.87
1969	38,807.86	1980	75,763.89
1970	42,639.88	1981	79,874.59

Tablo 3.8 Türkiye'de 1960-2014 yılları arası türkiye'deki toplam CO_2 gazı emisyonu verileri (kt) [76] (devamı)

Yıllar	Toplam CO_2 Emisyonu	Yıllar	Toplam CO_2 Emisyonu
1982	86,988.57	1999	196,771.22
1983	90,541.90	2000	216,151.32
1984	95,796.71	2001	194,552.69
1985	106,717.03	2002	205,685.70
1986	116,881.96	2003	218,523.86
1987	129,907.14	2004	225,421.49
1988	126,309.82	2005	237,390.58
1989	139,316.66	2006	261,614.78
1990	145,858.59	2007	284,658.21
1991	148,619.84	2008	283,979.81
1992	153,108.25	2009	277,844.92
1993	159,136.80	2010	298,002.42
1994	156,848.59	2011	320,840.50
1995	171,974.97	2012	329,560.62
1996	188,205.11	2013	324,771.52
1997	198,535.05	2014	345,981.45
1998	200,614.24		

3.2 Girdi için Değişken Seçimleri

İstatistikte, varyans analizi bir diğer adı ile değişken seçimi, birçok istatistiksel yöntemi içeren yöntemler topluluğunun genel ismidir. Varyans analizi için en basit yöntem tek yönlü ANOVA testidir. Girdi olarak kullanılan 8 adet veri seti için değişken seçimi, ANOVA testi ile yapılmıştır. Bu testin yapılmasındaki ilk amaç, veri setindeki grupların en az birinin diğerlerinden farklı olup olmadığını göstermektir. ANOVA testi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir p değeri bulunursa yani bu p

değeri 0.05'ten küçük çıkarsa, veri setlerinin arasında birbirinden farklı olduğunun ortaya konması için çoklu karşılaştırma testleri yapılır.

ANOVA testinde p değeri gruplar arasındaki anlamlılığı ölçmektedir. Anlamlı fark vardır kararı verileceği zaman p değeri olası hata değerini gösterir. Fisher tarafından bu hatanın kabul edilebilir değeri 0.05 olarak belirlenmiş ve kabul görülmüştür. p değerleri arasındaki ilişki,

- p değeri 0.01-0.05 aralığında; istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.
- p değeri 0.001-0.01 aralığında; yüksek düzeyde olarak anlamlı fark vardır.
- p değeri 0.001'den daha küçük ise; çok yüksek düzeyde istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.
- p değeri 0.10-0.05 aralığında; sınırda anlamlılık anlamına gelmektedir.

F testi modelin genel anlamlılığını test etmek için kullanılır. F (anlamlılık) testi yapılırken, kat sayılar ile standart hata arasındaki orana bakılır.

T testi her bir değişkenin eğimlerinin anlamlı olup olmadığına bakmak için kullanılır.

Modeller için yapılan testler de ANOVA testinin veri adedi ve normal dağılım açısından en uygun olacağı gözlenmiş ve p anlamlılık değerine bakılmıştır.

3.3 Modelleme için Kullanılan Yöntemler

Bu tez çalışmasında kullanılan modeller Çoklu Lineer Regresyon, Destek Vektör Makineleri, Yapay Sinir Ağları ve Bayesian Ridge'dir. Aşağıda kullanılan bu modellerle ilgili teorik kısma yer verilmektedir.

3.3.1 Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) Modeli

Çoklu lineer regresyon (ÇLR), bir yanıt değişkeninin sonucunu tahmin etmek için çeşitli açıklayıcı değişkenler kullanan istatistiksel bir tekniktir. Çoklu lineer regresyonun amacı, açıklayıcı (bağımsız) değişkenler ile yanıt (bağımlı) değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi modellemektir [83] .

Özünde, çoklu regresyon, birden fazla açıklayıcı değişken içeren normal en küçük kareler (OLS) regresyonunun uzantısıdır.

Birden fazla değişkenin birbiriyle arasındaki ilişkisini tahmin etmek amacıyla modelleme yapıldığında bu analize, çoklu doğrusal regresyon denmektedir.

Denklem (3.1)'de çoklu doğrusal regresyonu ifade eden denklem yer almaktadır.

$$Y = \beta_1 + X_2\beta_2 + \beta_3 X_3 + \beta_n X_n + u \quad (3.1)$$

Y : Bağımlı Değişken

X : Bağımsız Değişkenler

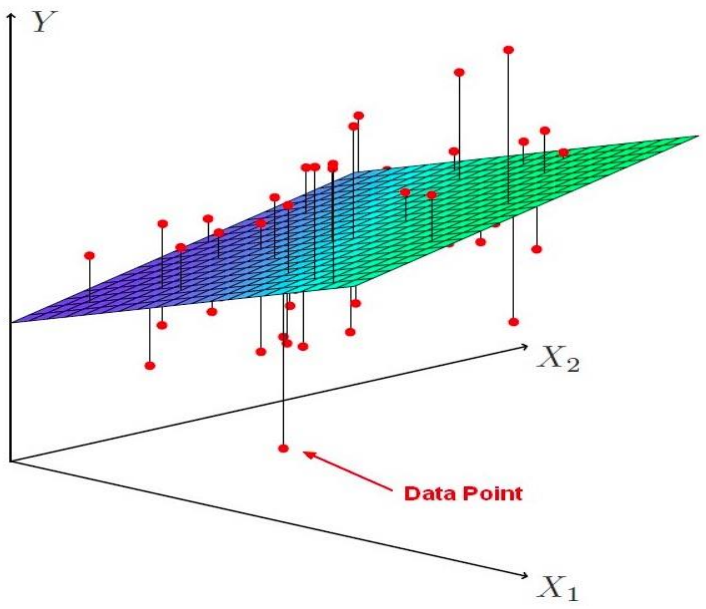
β : Bağımsız Değişkenlerin Kat Sayısı

u: Hata Terimi

Bu denkleme göre değişkenlerden birinin değeri bilinirse diğerinin değeri bulunabilmektedir. Eğer modelde kullanılacak olan p değeri 0.05'ten küçük ise regresyon katsayısı sıfırdan farklı demektir ve iki değişkenin arasındaki ilişki istatiksel boyutta bir önem ifade etmektedir. Bu da iki değişken arasında doğrusal bir iliki olduğunu göstermektedir.

Modelin doğruluk göstergesi olarak R^2 ifade kullanılmaktadır ve bu değer 1'e ne kadar yakın olursa, modelin gerçekliği o kadar artmaktadır.

Şekil 3.2'de Çoklu Lineer Regresyon'a ait grafik yer almaktadır. Grafikte 2 adet bağımsız değişken, 1 adet bağımlı değişken yer almaktadır ve bu sebeple 3 boyutlu olarak gösterilmiştir [84].



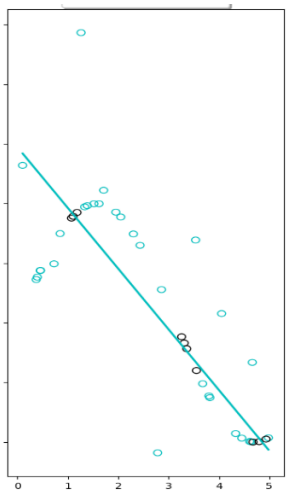
Şekil 3.2 Çoklu Lineer Regresyon'un 3 boyutlu gösterimi [84]

Kullanılan modelde bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu için bu model kullanılmıştır. Normal dağılıma göre olduğu belirlenmektedir.

3.3.2 Destek Vektör Makineleri Modeli

Destek vektör makineleri (DVM), eğitim olarak ayrılan verilerdeki herhangi bir noktadan, birbirine en uzak olan iki bölüm arasında bir karar sınırı bulan vektör uzayı tabanlı makine öğrenme yöntemi olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle algoritmayı karakterize eden tüm ana özellikleri (maksimum marj) koruyarak bir regresyon yöntemi olarak da kullanılabilir. Destek Vektör Regresyonu (DVR), sınıflandırma için DVM ile aynı ilkeleri kullanır ve yalnızca birkaç küçük fark vardır. Her şeyden önce, çıktı gerçek bir sayı olduğundan, eldeki bilgileri tahmin etmek çok zorlaşır, bu da sonsuz olasılıklara sahiptir. Regresyon durumunda, problemden zaten talep edebilecek olan DVM'ye yaklaşık olarak bir tolerans marjı (epsilon) ayarlanır. Bununla birlikte, ana fikir her zaman aynıdır: hatayı en aza indirmek, marjı en üst düzeye çıkaran hiper düzlemi kişiselleştirmektir [12]

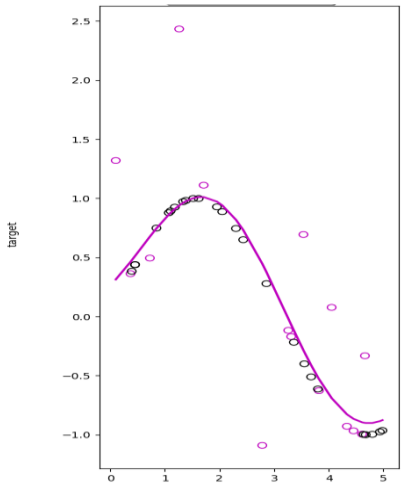
Destek vektör makinelerinde lineer regresyon Şekil 3.3'de grafik ile tanımlanmaktadır.



Şekil 3.3 Doğrusal DVM regresyon grafikleri

Doğrusal olmayan bir veri kümesinde DVM'ler doğrusal bir hiper-düzlem çizemez. Bu nedenle çekirdek numarası olarak adlandırılan kernel trick'ler kullanılır. Çekirdek yöntemi, doğrusal olmayan verilerde makine öğrenimini yüksek oranda arttırmaktadır [85].

Destek vektör makinelerinde lineer olmayan regresyon Şekil 3.4'de grafik ile tanımlanmaktadır.



Şekil 3.4 Doğrusal Olmayan DVM regresyon grafikleri

3.3.3 Yapay Sinir Ağları Modeli

Sinir ağları, katmanlar halinde organize edilmiş bir "nöronlar" ağı olarak ifade edilmektedir. Girdiler alt katmanı oluşturur ve tahminler (çıktılar) üst katmanı oluşturur. "Gizli nöronlar" içeren ara katmanlar da olabilir. En basit ağlar gizli katman içermez ve doğrusal regresyonlara eşdeğerdir. Gizli nöronlar ile bir ara katman eklendiğinde, sinir ağı doğrusal olmayan hale getirilir [86].

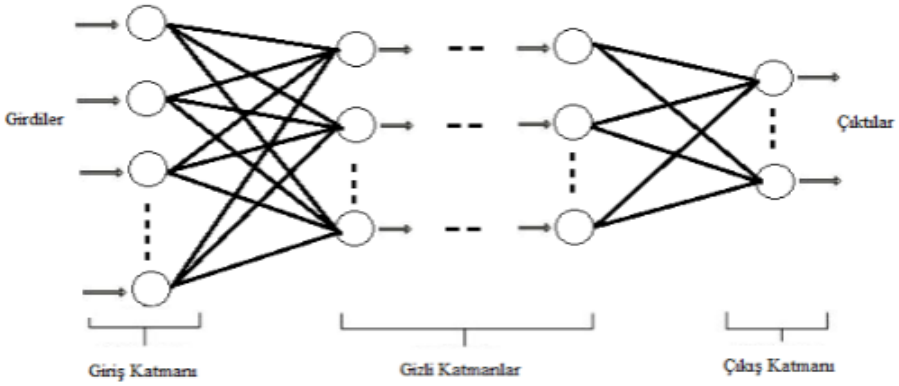
Yapay sinir ağları yapısal olarak girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere 3 katmandan meydana gelmektedir.

Girdi katmanı, yapay sinir ağındaki başlangıç yapı taşıdır. Girdi sayısı kadar hücre bulunmaktadır. Bu aşamada girdiler herhangi bir işleme uğramazlar.

Gizli katmanlar, girdi katmanından aldığı veriyi işleyerek çıktı katmanına iletir. Gizli katman ve gizli katmandaki eleman sayısı ağın yapısından yapısına göre değişiklik göstermektedir. Girdi katmanı ve çıktı katmanından bağımsız olarak adedi değişmektedir.

Çıktı katmanı, gizli katmandan gelen veriyi işler ve giriş katmanına uygun bir şekilde ürün haline getirmiş olur. Çıkış katmanında tek 1 adet çıktı olma zorunluluğu yoktur. Herbir çıktının bağlı olduğu bir çıktı hücresi vardır ve bu çıktılar kendinden önceki hücrelere bağlıdır.

Şekil 3.5'teki görsel yapay sinir ağlarının yapısını temsil etmektedir.



Şekil 3.5 Yapay sinir ağlarının yapısı

3.3.4 Bayesian Ridge Modeli

Bayesian Ridge olasılık tabanlı bir algoritmadır. Bayesian Ridge modelinde nokta tahminlerinin aksine olasılık dağılımları kullanılarak doğrusal regresyon formüle edilmektedir. Y diye ifade edilen bağımlı değişken tek bir değer olarak tahmin edilemez, bir olasılık dağılımından alındığı varsayılmaktadır. Normal dağılım örneği görülmektedir [87].

Bayesian Ridge modeli uygulama alanlarında bir başlangıç tahmini oluşturulur ve ne kadar çok veri toplanırsa o kadar çok tahmin geliştirilmiştir. Sınırlı veriye sahip olunan modellerde, Bayesian Ridge regresyon yaklaşımı hem önceki bilgileri içerebilmekte hem de belirsizliği ortadan kaldırmaktadır .

Bu modelde var olan 4 adet hiperparametre kullanılır. Bu parametreler, α1, α2, λ1 ve λ2'dir. Bu parametreler genellikle bilgilendirici olmayarak seçilen rastgele değerlerdir [88].

Tol olarak ifade edilen değer 10^{-3} olarak belirlenir.

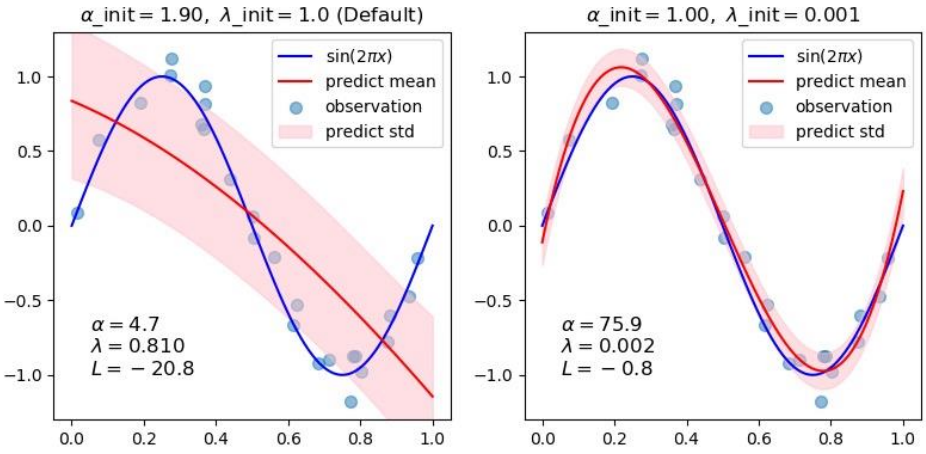
α1, kayan nokta olarak ifade edilir ve 10^{-6}'dır. Bu değer alfa parametresinden önce kullanılan gama dağılımı için şekil parametresidir.

α2 değeri 10^{-6}'dır. Bu değer, alfa parametresinden önce kullanılan gama dağılımı için ters ölçek parametresidir. Oran parametresi olarak ifade edilir.

λ1 şamandıra olarak ifade edilir ve 10^{-6} 'dır. Bu değer, lambda parametresinden önce kullanılan gama dağılımı için şekil parametresidir.

λ2 parametresi 10^{-6}'dır. Bu değer, lambda parametresinden önce kullanılan gama dağılımı için ters ölçek parametresidir. Oran parametresi olarak da ifade edilir.

Şekil 3.6'da sinüsoidal bir dalganın Bayesian Ridge metodu ile modellenmiş hali yer almaktadır [89].



Şekil 3.6 Sinüsoidal dalga modelinde Bayesian Ridge grafiği [89]

Bayesian Ridge olaslık tabanlı bir regresyon modeli olduğu için çok fazla iterasyon adımı gerektirebilmektedir. Şekil 3.6'daki ilk dalgada verilerin azlığından dolayı ve başlangıç tahmin değerindeki sapma çok fazladır, sin(2πx) eğrisine yakın olmayan bir tahmin yapılmıştır. Mavi noktalar gözlem sonuçlarını yani elimizdeki veri setini, pembe alan, tahmin alanını temsil etmektedir. Sağdaki şekilde Bayesian Ridge için iterasyonlar sonucu istenen eğriye ulaşılmıştır. Şekil 3.6'dan de olasılık tabanlı bir model olduğu gözükmektedir.

3.4 Projeksiyon (Gelecek Tahmin) Yöntemi

2015-2030 yılları arasındaki tahmin verilerinin hesaplanması için ilk olarak ANOVA testi ve t- testi ile veri seti arasındaki anlamlılığa bakılmıştır. Bu anlamlılık grupların birbirleriyle karşılaştırılması sonucu oluşmaktadır.

Bir t- testi yapılırken aynı anda 2 grup karşılaştırılabilmektedir. Örneğin, nüfus ve GSYH'nin birbiri ile ilişkisi ya da elektrik tüketimi ile fosil yakıt kullanımı gibi. Bu gruplar birbirleriyle karşılaştırıldığında alfa kriteri 0.05, yani doğruluk %95, hata payı %5 ise bu I. tür hata grubuna girmektedir. Eğer art arda 3 kez t-testi yapılırsa bu hatayı arttırmaktadır. Daha önceden yapılan %95 doğruluk payı 0.95'in küpü şeklinde olup, hata payı %14.3 olmaktadır. Bu nedenle 3 kez t-testi yapmak doğru

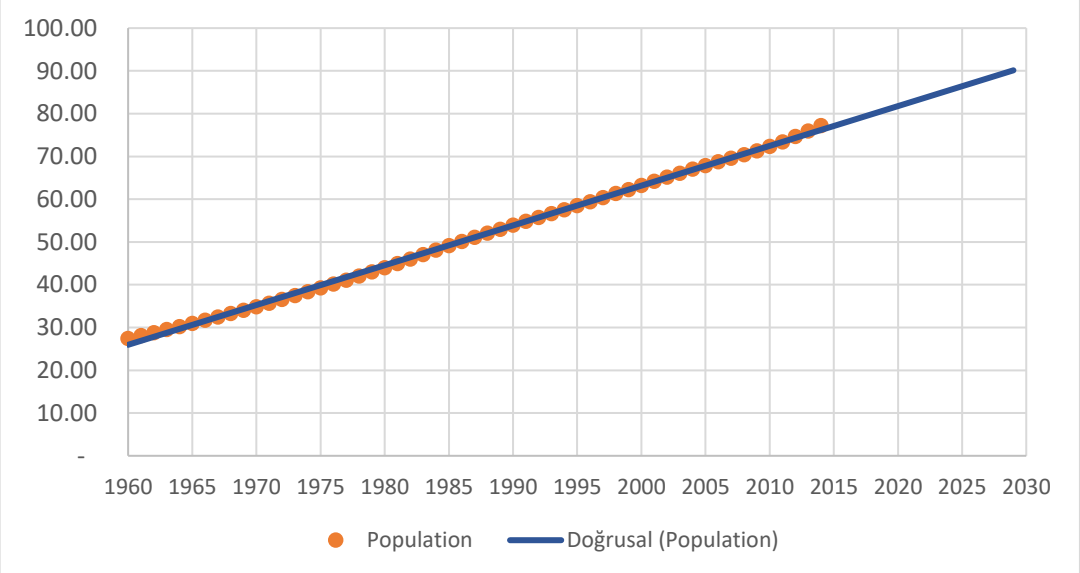
olmayacaktır. Böyle bir hata ile karşılaşmamak adına, hata oranının azaltılması istendiğinde, 2'den fazla grubu karşılaştırmak için, ANOVA testi uygulanmaktadır. SPSS üzerinden yapılan bu test ile beraber, bağımsız değişkenler arasında bir bağ var ise, Anlamlılık F değeri p değerinden küçük çıkmalıdır.

Tablo 4.2'de görüldüğü üzere yapılan ilk testte bu değişkenlerin arasında bir bağ olduğu görülmektedir. ANOVA testinin yapılabilmesi için varyans homojenliği, verilerin bağımsız olması ve grup içi dağılımların normal olması gerektiği uygunluğu gerçekleştikten sonra test sonucunda gruplar arasında anlamlı fark olup olmadığı belirlenmektedir.

ANOVA Testi sonucu geriye kalan 5 adet girdi parametresi, nüfus, elektrik tüketimi, fosil yakıt kullanımı, ulaşımdan kaynaklı CO_2 gazı emisyonu ve konutlardan kaynaklı CO_2 gazı emisyonudur.

Nüfus verisine için, 1960 ile 2014 yılları arasındaki veriler şahit tutularak, bir doğrusal regresyon yapılmıştır. 2014'ten sonraki yıllar çıkan denkleme göre tahmin edilmiştir.

Şekil 3.7'de 1960-2030 yılları arasındaki nüfus verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği yer almaktadır. Bu veriler grafikte fazla yer kaplamaması için y ekseninde milyon biriminde ifade edilmektedir.



Şekil 3.7 1960-2030 yılları arasındaki nüfus verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği

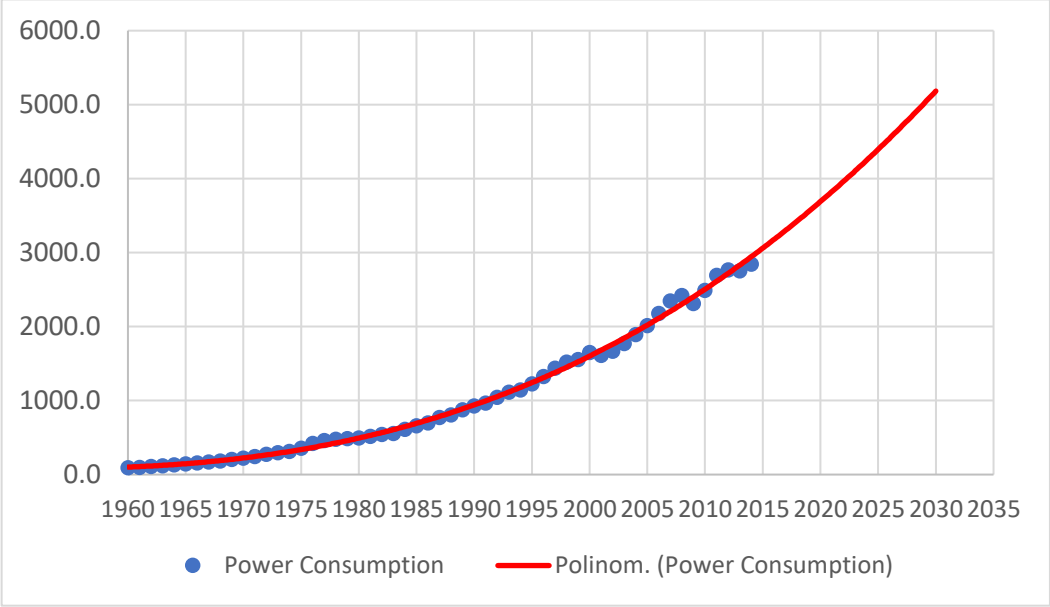
2014 yılı sonrası nüfus tahmininde kullanılan formül Denklem (3.2)'deki gibi bulunmuştur. Nüfus tahmin modellemesinde kullanılan denkleme göre R^2 değer 0.999 şeklinde hesaplanmıştır.

$$y = 0.930x - 1{,}797 \tag{3.2}$$

Elektrik tüketimi verisi için, 1960 ile 2014 yılları arasındaki veriler şahit tutularak bir doğrusal regresyon yapılmıştır. 2014'ten sonraki yıllar çıkan denkleme göre tahmin edilmiştir.

Şekil 3.8'de 1960-2030 yılları arasındaki elektrik tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği yer almaktadır.

Bu veriler grafikte fazla yer kaplamaması için y ekseninde milyon biriminde ifade edilmektedir.



Şekil 3.8 1960-2030 yılları arasındaki elektrik tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği

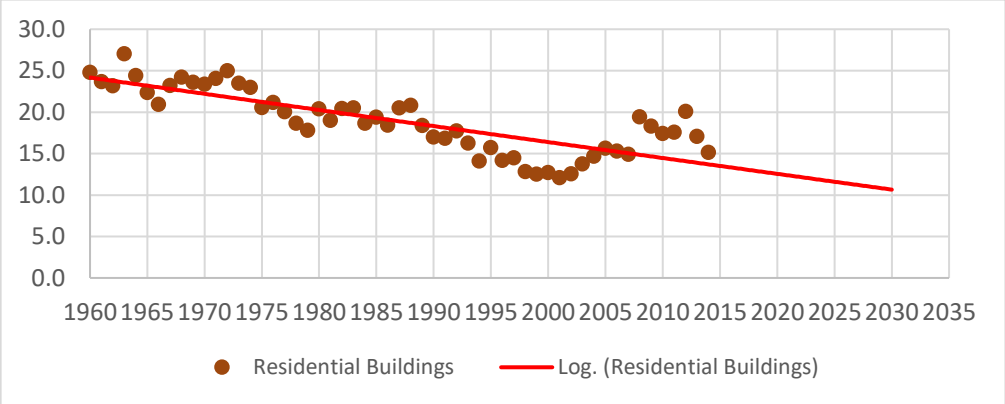
2014 yılı sonrası elektrik tüketimi tahmininde kullanılan formül Denklem (3.3)'deki gibi bulunmuştur.

Elektrik tüketimi tahmin modellemesinde kullanılan denkleme göre R^2 değer 0.9968 şeklinde hesaplanmıştır.

$$y = 0.0055\,x^3 + 31.9241\,x^2 + 61{,}473.5867x + 39{,}449{,}500.689 \tag{3.3}$$

Konut ve benzeri yapılardan kaynaklanan CO_2 tüketimi verisi için, 1960 ile 2014 yılları arasındaki veriler şahit tutularak bir doğrusal regresyon yapılmıştır. 2014'ten sonraki yıllar çıkan denkleme göre tahmin edilmiştir.

Şekil 3.9'da 1960-2030 yılları arasındaki konut ve benzeri yapılardan kaynaklanan CO_2 tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği yer almaktadır.



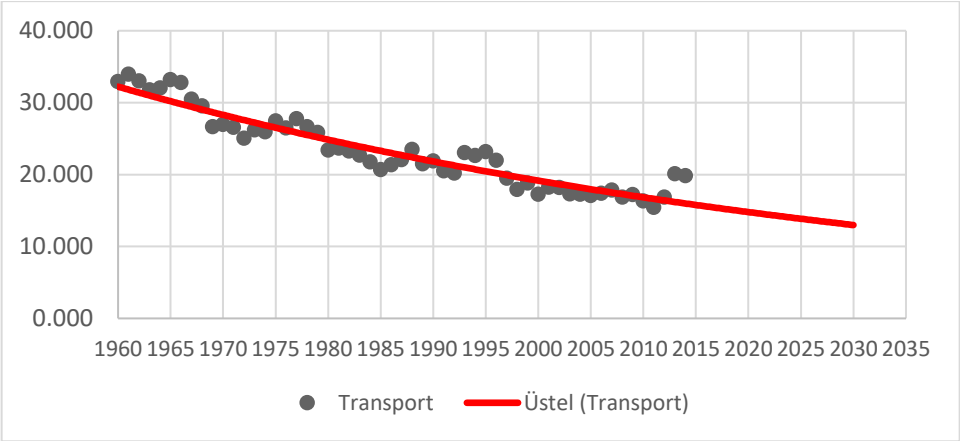
Şekil 3.9 1960-2030 yılları arasındaki konut ve benzeri yapılardan kaynaklanan CO_2 tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği

2014 yılı sonrası konut ve benzeri yapılardan kaynaklanan CO_2 tüketimi tahmininde kullanılan formül Denklem (3.4)'teki gibi bulunmuştur. Konut ve benzeri yapılardan kaynaklanan CO_2 tüketimi tahmin modellemesinde kullanılan denkleme göre R^2 değer 0.7551 şeklinde hesaplanmıştır.

$$y = -385.2061 \ln x + 2{,}944.3007 \quad (3.4)$$

Ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimi verisi için, 1960 ile 2014 yılları arasındaki veriler şahit tutularak bir doğrusal regresyon yapılmıştır. 2014'ten sonraki yıllar, çıkan denkleme göre tahmin edilmiştir.

Şekil 3.10'da 1960-2030 yılları arasındaki ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği yer almaktadır.



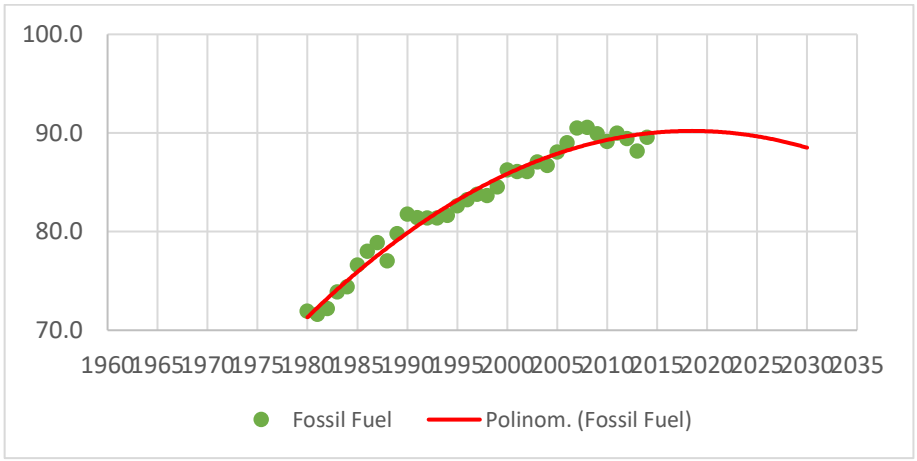
Şekil 3.10 1960-2030 yılları arasındaki ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği

2014 yılı sonrası ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimi tahmininde kullanılan formül Denklem (3.5)'teki gibi bulunmuştur. Konut ve benzeri yapılardan kaynaklanan CO_2 tüketimi tahmin modellemesinde kullanılan denkleme göre R^2 değer 0.8933 şeklinde hesaplanmıştır.

$$y = 3{,}655{,}758{,}389{,}880.51e^{-0.01298x} \quad (3.5)$$

Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan CO_2 tüketimi verisi için, 1960 ile 2014 yılları arasındaki veriler şahit tutularak bir doğrusal regresyon yapılmıştır. 2014'ten sonraki yıllar çıkan denkleme göre tahmin edilmiştir.

Şekil 3.11'd 1960-2030 yılları arasındaki fosil yakıt kullanımından kaynaklanan CO_2 tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği yer almaktadır.



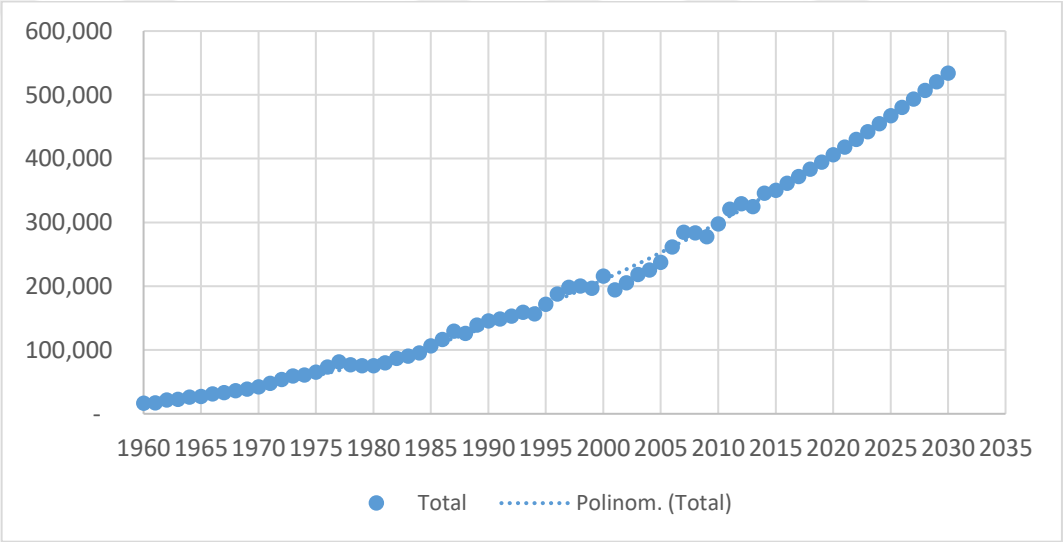
Şekil 3.11 1960-2030 yılları arasındaki fosil yakıt kullanımından kaynaklanan CO_2 tüketimi verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği

2014 yılı sonrası fosil yakıt kullanımından kaynaklanan CO_2 tüketimi tahmininde kullanılan formül Denklem (3.6)'daki gibi bulunmuştur. Konut ve benzeri yapılardan kaynaklanan CO_2 tüketimi tahmin modellemesinde kullanılan denkleme göre R^2 değer 0.9739 şeklinde hesaplanmıştır.

$$y = -0.0128x^2 + 51.5836x - 5{,}1969.3299 \quad (3.6)$$

Çıktı parametresi olan toplam CO_2 gazı emisyonu verisi için, 1960 ile 2014 yılları arasındaki veriler şahit tutularak bir doğrusal regresyon yapılmıştır. 2014'ten sonraki yıllar, çıkan denkleme göre tahmin edilmiştir.

Şekil 3.12'de 1960-2030 yılları arasındaki toplam CO_2 gazı emisyonu verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği yer almaktadır.



Şekil 3.12 1960-2030 yılları arasındaki toplam CO_2 gazı emisyonu verilerinin doğrusal regresyon ile tahmin grafiği

2014 yılı sonrası Toplam CO_2 Gazı Emisyonu tahmin modellemesinde kullanılan formül Denklem (3.7)'deki gibi bulunmuştur. Toplam CO_2 gazı emisyonu tahmin modellemesinde kullanılan denkleme göre R^2 değer 0.9976 şeklinde hesaplanmıştır.

$$y = 85.795x^2 - 335{,}047x + 3 * 10^8 \quad (3.7)$$

4

TAHMİN MODELLERİNİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

4.1 Veri Hazırlama

Veri hazırlığı yapılmadan önce, verilerin aynı kaynaktan kullanılması daha doğru sonuçlar çıkaracağı düşünülerek, Dünya Bankası raporu verileri kullanılmıştır. Buradaki veriler düzenli olarak güncellenmektedir. Dünya Bankası raporuna ait veri setleri modelleme için kullanılabilmektedir.

Bu çalışmalar doğrultusunda Dünya Bankası'ndan alınan verileri modellere uygun eliminasyon yapılması için veri seçimi aşaması ilk sırada yer almaktadır.

4.1.1 Veri Seçimi

Özellik seçimi, bir tahmin modeli geliştirirken giriş değişkenlerinin sayısını azaltma işlemidir. Hem modellemenin hesaplama maliyetini azaltmak hem de bazı durumlarda modelin performansını artırmak için girdi değişkenlerinin sayısının azaltılması tercih edilir.

İstatistiksel tabanlı özellik seçim yöntemleri, her giriş değişkeni ile hedef değişken arasındaki ilişkinin istatistiklerini kullanarak değerlendirilmesini ve hedef değişkenle en güçlü ilişkiye sahip giriş değişkenlerinin seçilmesini içerir. Bu yöntemler hızlı ve etkili olabilir, ancak istatistiksel önlemlerin seçimi hem girdi hem de çıktı değişkenlerinin veri türüne bağlıdır.

Verileri birbiriyle karşılaştırmak amacıyla ANOVA testi yapılmıştır. Veriler incelendiğinde herbir veri seti normal dağılıma uygun, varyans homojenliği mevcut, aynı grup içindekiK veriler birbirleriyle bağımsız ilişkiye sahip olduğu için kullanılması uygun görülmüştür.

8 adet veri seti analize dahil edildiğinde, regresyon istatistikleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Bir veri seti analizinde, veri train ve test olarak ayrılırken test veris KI9Ji karışık olarak seçilemez son %20 şeklinde bir seçim olabilir.

Bu veri setinde gözlem sayısı olduğu için toplam 55 satırdan yanlız 10'u test için ayrılmış olup algoritmalar düzenlenmiştir.

Genel olarak ANOVA testine bakıldığında modeleme için herhangi bir engelin olmadığı görülmektedir.

Tablo 4.1 8 adet veri için regresyon istatistikleri

Çoklu R	1.000
R Kare	1.000
Ayarlı R Kare	1.000
Standart Hata	2,041.619
Gözlem	55.000

Tablo 4.2'de ANOVA testi sonucu elde edilen değerler yer almaktadır. Tablodaki semboller sırasıyla;

- df : Serbestlik derecesi
- SS : Kareler Toplamı
- MS : Kareler Ortalaması
- F : Anlamlılık oranını ifade etmektedir.

Tablo 4.2 8 adet veri için anova testi 1

	Df	***SS***	***MS***	***F***	***Anlamlılık F***
Regresyon	8	500,156,921,963	62,519,615,245	14,999.165	0.000
Fark	46	191,737,487	4,168,206		
Toplam	54	500,348,659,450			

Tablo 4.3'te 8 adet veri için regresyon sonucu yer almaktadır.

Tablo 4.3 8 adet veri için regresyon sonucu

	Kat Sayılar	**Standart Hata**	**T Stat**	**P Değeri**	**Düşük %95**	**Yüksek %95**
Nüfus	0.001	0.000	3.652	0.0007	0.000	0.001
GSYH	**0.000**	**0.000**	**1.098**	**0.277**	**0.000**	**0.000**
Elektrik ve Isı Üretimi	438.449	131.614	3.331	0.001	173.525	703.374
Elektrik Tüketim	45.533	4.400	10.348	0.000	36.675	54.390
Fosil Yakıt	-733.546	116.329	-6.306	0.000	-967.703	-499.388
Gelir Seviyesine göre CO2	**47,129.1**	**2,615.5**	**18.01**	**0.000**	**41,864.4**	**52,393.9**
Bina Artışı	621.139	212.818	2.919	0.0054	192.758	1,049.52
Ulaşım	506.836	215.590	2.351	0.0231	72.875	940.796

Bu analiz sonucunda GSYH için p değerlerine bakıldığında seçilen p aralığında kalmadığı görülmüştür. p değeri Tablo 4.3'de görüldüğü üzere seçilmiş olan aralıktan yani 0.05'ten büyük çıktığı gözlenmiş, 0.2777 gibi bir değer ile karşılaşılmıştır.

Bu yüzden bir sonraki analizde 6 adet veri ile ANOVA testi yapılacaktır. Gelir Seviyesine göre CO_2 olarak ifade edilen koyu renkli satır, ülkelerin gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonunu göstermektedir.

Bu test sonucunda GSYH seçim dışı kaldığı için, bu kısımda veri setinden elenmiştir.

6 adet veri seti analize dahil edildiğinde, regresyon istatistikleri Tablo 4.4'te yer almaktadır.

Tablo 4.4 6 adet veri için regresyon istatistikleri

Çoklu R	0.998
R Kare	0.997
Ayarlı R Kare	0.997
Standart Hata	5,691.287
Gözlem	55.000

Tablo 4.5'te ANOVA testi sonucu elde edilen değerler yer almaktadır. ANOVA testi 6 adet veri seti için uygulanmıştır. Buradaki veri setinde de aynı şekilde 54 adet veri için test yapılmıştır.

Tablo 4.5 6 adet veri için ANOVA testi 2

	Df	***SS***	***MS***	***F***	***Anlamlılık F***
Regresyon	6.00	498,793,903,449.23	83,132,317,241.53	2566.54	0.000
Fark	46.0	1,554,756,001.44	32,390,750.03		
Toplam	54.0	500,348,659,450.67			

Tablo 4.6'da 6 adet veri için regresyon sonucu yer almaktadır.

Tablo 4.6 6 adet veri için regresyon sonucu

	Kat Sayılar	**Standart Hata**	**T Stat**	**P-Değeri**	**Düşük %95**	**Yüksek %95**
Nüfus	0.002	0.001	4.514	0.000	0.001	0.004
Elektrik ve Isı Üretimi	**380.157**	**366.688**	**1.037**	**0.305**	**-357.117**	**1,117.432**
Elektrik Tüketimi	71.688	6.534	10.972	0.000	58.552	84.825
Fosil Yakıt	586.752	248.759	2.359	0.022	86.589	1,086.915
Bina Artışı	1,121.378	459.748	2.439	0.018	196.993	2,045.762
Ulaşım	1,458.479	554.713	2.629	0.011	343.154	2,573.803

Bu analiz sonucunda elektrik ve ısı üretimi için p değerine bakıldığında seçilen p aralığında kalmadığı görülmüştür. p değeri Tablo 4.6'da görüldüğü üzere seçilmiş

olan aralıktan yani 0.05'ten büyük çıktığı gözlenmiş, 0.305 gibi bir değer ile karşılaşılmıştır. Bu yüzden bir sonraki analizde 5 adet veri ile ANOVA testi yapılacaktır.

5 adet veri seti analize dahil edildiğinde, regresyon istatistikleri Tablo 4.7'de yer almaktadır.

Tablo 4.7 5 adet veri için regresyon istatistikleri

Çoklu R	0.998
R Kare	0.997
Ayarlı R Kare	0.996
Standart Hata	5,695.631
Gözlem	55.000

Tablo 4.8'de ANOVA testi sonucu elde edilen değerler yer almaktadır. ANOVA testi 5 adet veri seti için uygulanmıştır. Buradaki veri setinde de aynı şekilde 54 adet veri için test yapılmıştır.

Tablo 4.8 5 adet veri için ANOVA testi 3

	Df	***SS***	***MS***	***F***	***Anlamlılık F***
Regresyon	5.0	498,759,089,317.3	99,751,817,863.470	3,074.94	0.000
Fark	49	1,589,570,133.327	32,440,206.802		
Toplam	54	500,348,659,450.67			

Tablo 4.9'da 5 adet veri için regresyon sonucu yer almaktadır.

Tablo 4.9 5 adet veri için regresyon sonucu

	Kat Sayılar	Standart Hata	T Stat	P Değeri	Düşük %95	Yüksek %95
Nüfus	0.002	0.001	4.413	0.000	0.001	0.003
Elektrik Tüketimi	74.872	5.771	12.973	0.000	63.274	86.470
Fosil Yakıt	623.781	246.369	2.532	0.015	128.684	1,118.878
Bina Artışı	940.386	425.636	2.209	0.032	85.037	1,795.734
Ulaşım	1,394.527	551.693	2.528	0.015	285.858	2,503.195

4.1.2 Verilerin Normalizasyonu

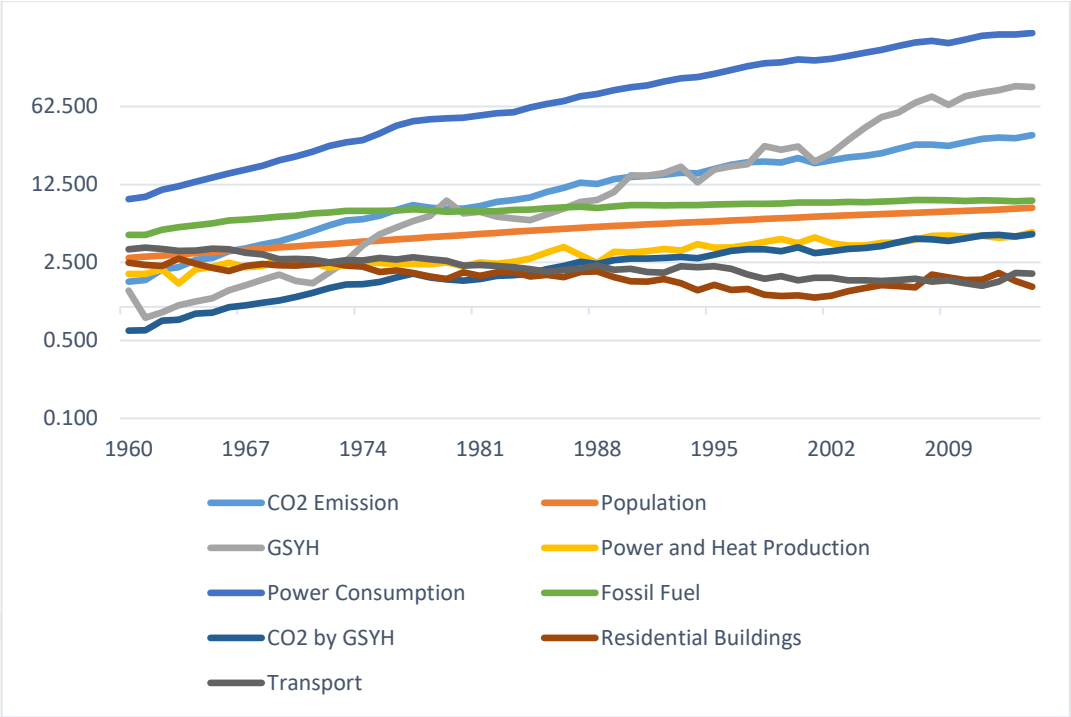
Bir verinin istatistiksel normalizasyonu, bir öğrenme algoritması uygulanmadan önce kullanılan bir tür özellik ölçeklendirmesidir. Özellik ölçeklendirme (veri normalleştirme), bağımsız değişkenlerin veya verilerin özelliklerinin aralığını standartlaştırmak için kullanılan bir veri önişleme yöntemidir.

Ham veri aralığı, makine öğrenme algoritmalarında büyük ölçüde değiştiğinden, hedef fonksiyonun normalleştirme olmadan düzgün çalışmadığı olasılığı yüksektir. Birçok makine öğrenimi algoritması veri normalizasyonu ile daha iyi çalışır. (örnek: sinir ağı daha hızlı yakınlaşma eğilimindedir, K- genellikle önceden işlenmiş özelliklerle daha iyi kümeleme sağlar).

Sadece özellikleri aynı ölçekte alarak, öğrenme yeteneği üzerinde bir etkisi gözlenmektedir (bunun için hangi yöntemi kullandığınıza bağlı olarak). Standartlaştırılmış özellik değerlerini sağlamak, tüm özellikleri temsillerinde eşit olarak ağırlaştırır, böylece yakınsama hızını arttırır.

8 adet veri setinde onluk, yüzlük, binlik, milyonluk tabanda birçok veri kullanılmıştır. Bu verileri tek bir grafikte anlamlandırabilmek için normalizasyon yapılmıştır. Sonuç olarak veriler aynı tabanda ifade edilmiştir. Bu durum verinin birbirinden çok alakasız olma durumunu ortadan kaldırmıştır.

Şekil 4.1'de kullanılan veri setlerinin logaritmik olarak 1960-2014 yılları arasındaki karşılaştırılması yer almaktadır.



Şekil 4.1 Türkiye'de 1960-2014 yılları arasında kullanılan veri setine göre logaritmik karşılaştırılması

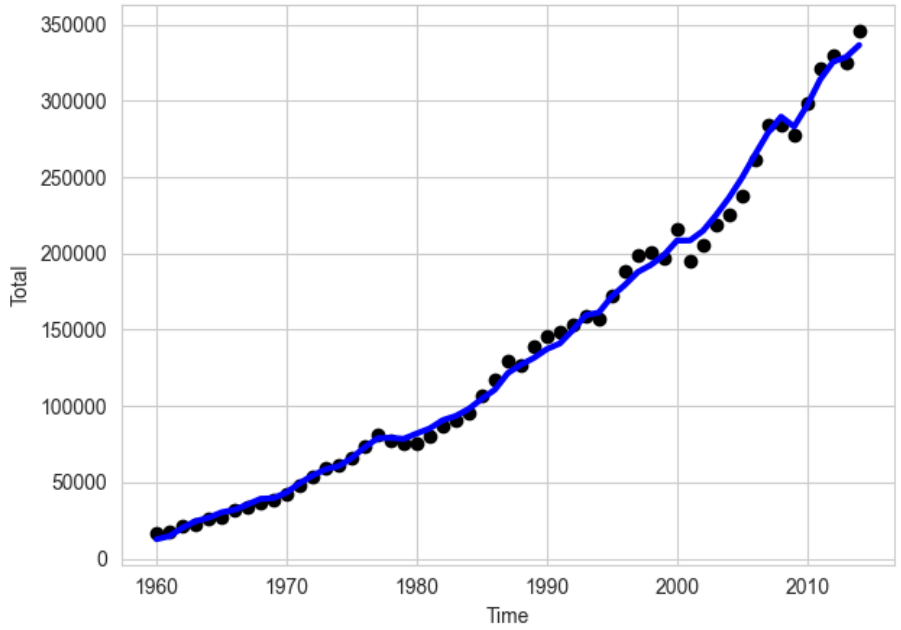
4.2 Modelleme Sonuçları

Modelleme için 4 tane tahmin metotu yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler; lineer regresyon, destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve Bayesian Ridge'dir.

4.2.1 Çoklu Lineer Regresyon (MLR) Modelleme Sonuçları

Analiz sonucu 0.788 saniye olarak çıktı vermiştir. Model geliştirme için 45 adet veri kullanılmıştır ve R^2 değeri 0.9973 olarak hesaplanmıştır. Model geliştirme için yaklaşık hataların ortalama kare kökü (RMSE) olarak ifade edilen değer 0.028'dir. Test için 10 adet veri kullanılmıştır. R^2 değeri 0.999, RMSE değeri 0.035 olarak bulunmuştur. Hem süre olarak bakıldığında hem hata analizine bakıldığında en iyi sonuçlar arasında olan modeldir.

Şekil 4.2'de çoklu lineer regresyon kullanılarak Türkiye'de 1960-2014 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonu verilerinin grafikleştirilmiş hali yer almaktadır.



Şekil 4.2 Çoklu Lineer Regresyon ile Türkiye'de 1960-2014 yılları arasındaki co2 gazı emisyonları (kt)

Şekil 4.2'deki grafiğe bakıldığında, kullanılan modelin doğruluğu gözlemlenebilmektedir.

Tablo 4.10'da çoklu lineer regresyon kullanılarak Türkiye'deki 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonuna ait tahmin sonuçarı yer almaktadır. Emisyon birimi olarak kt olarak ifade edilmiştir.

Tablo 4.10 Çoklu Lineer Regresyon ile 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini

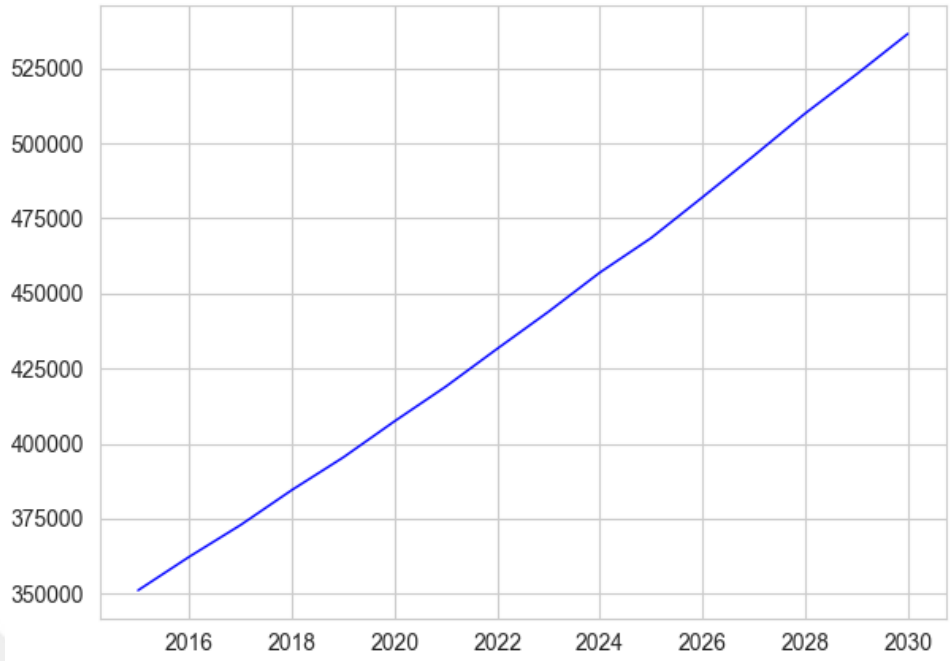
Yıllar	**CO2 Emisyon miktarı (kt)**
2015	351,093.638
2016	362,302.575
2017	372,878.456
2018	384,545.138
2019	395,394.390
2020	407,442.522

Tablo 4.10 Çoklu Lineer Regresyon ile 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini (devamı)

Yıllar	**CO_2 Emisyon miktarı (kt)**
2021	419,010.176
2022	431,592.339
2023	443,936.448
2024	456,976.355
2025	468,489.482
2026	482,063.422
2027	495,866.233
2028	509,974.203
2029	522,982.187
2030	536,501.600

Bu modele göre 2030 yılındaki CO_2 gazı emisyonu 536,501.6 kt olarak hesaplanmıştır.

Çoklu lineer regresyon ile yapılan, Türkiye'deki 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonu tahmin modeli Şekil 4.3'te yer almaktadır.



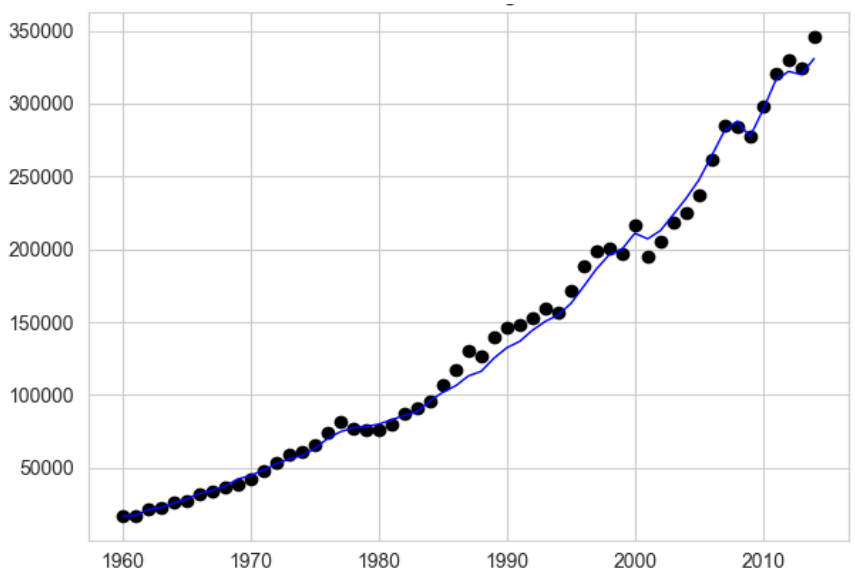
Şekil 4.3 Çoklu Lineer Regresyon ile Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonu tahmini (kt)

4.2.2 Destek Vektör Makineleri Modelleme Sonuçları

Destek vektör doğrusal regresyon modelinde C ile ifade edilen parametre düzenleyici parametredir. C parametresi hem vektörü verilere göre en uygun hale getirmekte hem de marjın içindeki örnek miktarın minimum olmasını sağlamaktadır. Bu durumda C parametresi değiştirilerek, en doğru analize ulaşılabilir.

C parametresi 606 olarak bulunmuştur. C parametresi ve epsilon değerleri deneme yanılma ile seçilmiştir. DVM doğrusal analiz sonucu 15.867 saniyede çıktıya ulaştırmaktadır. Model geliştirme için analiz sonucunda R^2 olarak ifade edilen değer 0.908'dir. Durma kriteri yani hata toleransı olarak kullanılan değer; 1e-09'dir. RMSE, yaklaşık hataların ortalama karekökü olarak ifade edilmektedir. Bu analizde, 0.303'tür. Test için yapılan analizde R^2 değeri 0.867, RMSE değeri 0.355'tir.

Şekil 4.4'te doğrusal DVM regresyon analizi ile ilgili 1960-2014 yıllarındaki verilerin grafikleştirilmiş hali yer almaktadır.



Şekil 4.4 Türkiye'de 1960-2015 yıllarında Doğrusal DVM metodu ile CO_2 emisyonu hesaplama

Şekil 4.4'teki siyah nokta ile temsil edilenler kullanılan veri setine kıyasla yapılan emisyonları ifade eder. Mavi çizgi kullanılan hazır veri setini ifade eder. Bu grafiğe bakıldığında, kullanılan modelin doğruluğu gözlemlenebilmektedir.

Tablo 4.11'de 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonuna ait veriler yer almaktadır. Emisyon birimi kt olarak ifade edilmiştir.

Tablo 4.11 Doğrusal DVM kullanılarak 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini

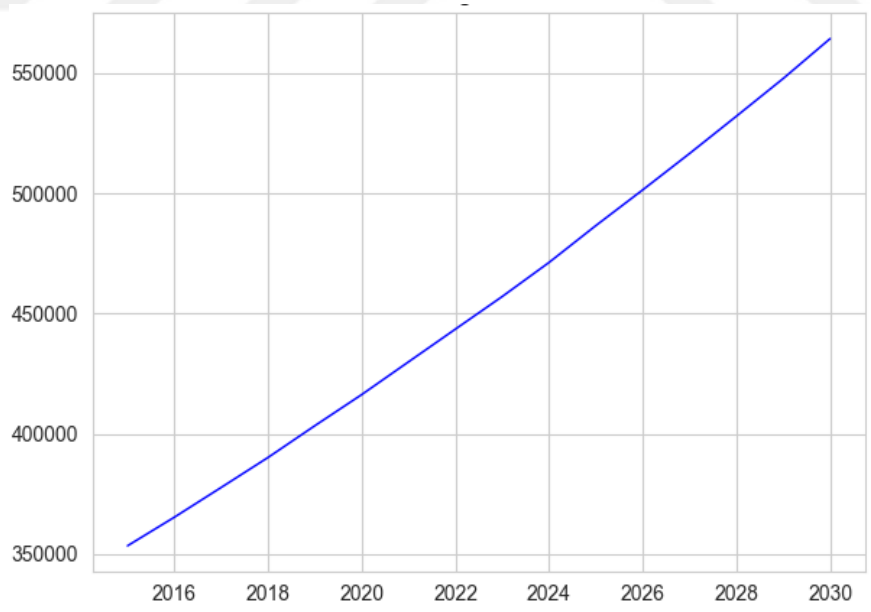
Yıllar	**CO_2 Emisyon Miktarı (Kt)**
2015	353,496.678
2016	365,376.984
2017	377,754.381
2018	390,206.789
2019	403,420.831
2020	416,349.991
2021	429,966.943
2022	443,563.556

Tablo 4.11 Doğrusal DVM kullanılarak 2015-2030 yıllarındaki CO_2 emisyon tahmini (devamı)

Yıllar	CO2 Emisyon Miktarı
2023	457,119.040
2024	471,287.756
2025	486,619.843
2026	501,456.012
2027	516,578.232
2028	532,081.853
2029	547,755.383
2030	564,306.688

Bu modele göre 2030 yılındaki CO_2 gazı emisyonu 564,306.688 kt olarak hesaplanmıştır.

Doğrusal DVM ile yapılan, Türkiye'deki 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonu tahmin modeli Şekil 4.5'te yer almaktadır.

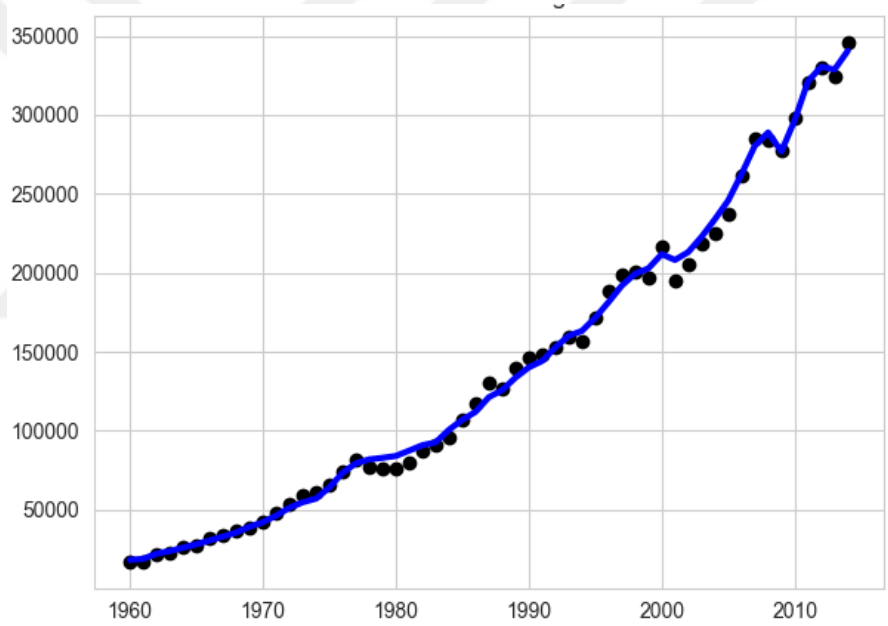


Şekil 4.5 Doğrusal DVM ile Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonları (kt)

Doğrusal olmayan regresyon için, model sonucunda C parametresi 694 olarak bulunmuştur. 1. dereceden grafik elde edilmiştir. Analiz sonucu 56.549 saniye olarak çıktı vermiştir. Model geliştirme için, R^2 değeri 0.9976 olarak hesaplanmıştır. Durma kriteri yani hata toleransı olarak kullanılan değer 1e-05'dir. Yine model geliştrime için yaklaşık hataların ortalama kare kökü (RMSE) olarak ifade edilen değer 0.4619'dur. Test için doğrusal olmayan regresyon için R^2 değeri 0.9956, RMSE değeri 0.4832'dir.

Kullanılan model, doğrusal regresyon olarak çıktığı için bu model test amaçlı denenmiştir.

Şekil 4.6'da doğrusal olmayan DVM regresyon analizi ile ilgili 1960-2014 yıllarındaki verilerin grafikleştirilmiş hali yer almaktadır.



Şekil 4.6 Türkiye'de 1960-2015 yıllarında Doğrusal Olmayan DVM metodu ile CO2 emisyonu hesaplama

Şekil 4.6'daki siyah nokta ile temsil edilenler kullanılan veri setine kıyasla yapılan emisyonları ifade eder. Mavi çizgi kullanılan hazır veri setini ifade eder. Bu grafiğe bakıldığında, kullanılan modelin doğruluğu gözlemlenebilmektedir.

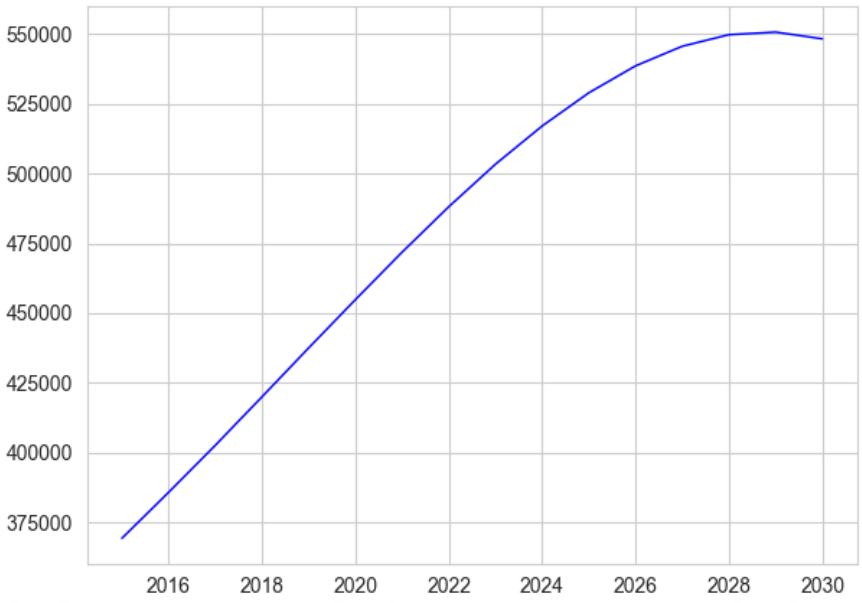
Tablo 4.12'de 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonuna ait veriler yer almaktadır. Emisyon birimi kt olarak ifade edilmiştir.

Tablo 4.12 Doğrusal Olmayan DVM kullanılarak 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini

Yıllar	CO_2 Emisyon Miktarı (kt)
2015	369,258.981
2016	385,723.209
2017	402,588.324
2018	419,969.628
2019	437,508.289
2020	454,806.263
2021	471,828.550
2022	488,115.286
2023	503,378.674
2024	517,075.452
2025	528,983.757
2026	538,629.760
2027	545,665.838
2028	549,805.989
2029	550,737.973
2030	548,322.288

Bu modele göre 2030 yılındaki CO_2 gazı emisyonu 548,322.288 olarak hesaplanmıştır.

Doğrusal olmayan DVM ile yapılan, Türkiye'deki 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonu tahmin modeli Şekil 4.7'de yer almaktadır.



Şekil 4.7 Doğrusal Olmayan DVM ile Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonları (kt)

Bu veri seti için kullanılan doğrusal olmayan SVM metodu yanlış çalıştığı gözlenmiştir. Veri seti ile kullanılan model birbirine uygun değildir.

4.2.3 Yapay Sinir Ağları Modelleme Sonuçları

Bu model kullanılırken veri seti için 3 adet gizli katman oluşmuştur. Hata toleransı 0.0001'dir.

MLP olarak ifade edilen, çoklu katman algılayıcı için model geliştirme için R^2 değeri 0.9890'dır. Model geliştirme için yaklaşık hataların ortalama kare kökü (RMSE) ise 0.033'dür.

Test için R^2 değeri 0.987'dir. Test için yapılan gözlem verilerinin RMSE değeri ise 0.037'dir. Yapılan analiz sonucu 94.82 saniyede cevap bulmuştur.

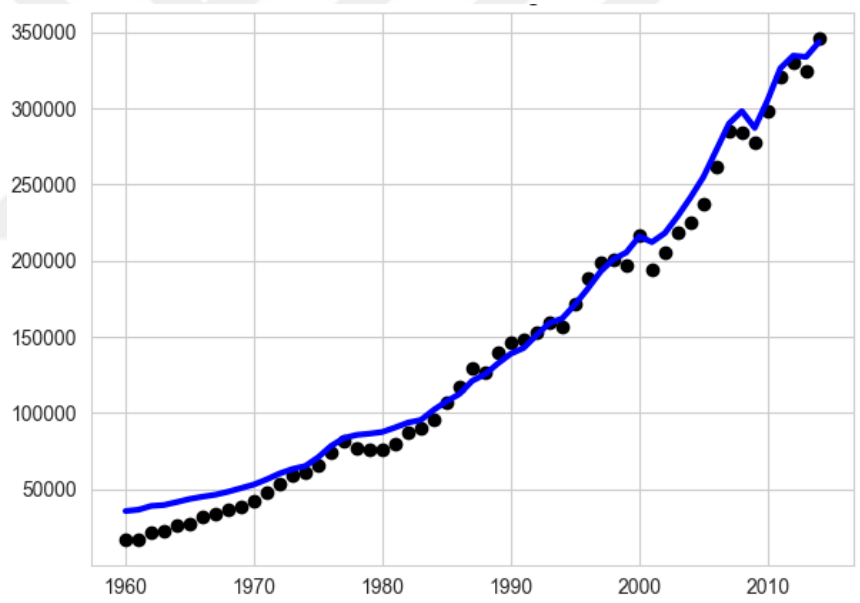
Yapay sinir ağlarında oluşan katmanlar Şekil 4.8'de gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Yapay Sinir Ağları modelindeki katmanlar

5 adet girdi parametresi bulunmaktadır. Modelde 3 adet gizli katman yer almaktadır. Çıktı olarak, tahmin edilen 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonu yer almaktadır.

Şekil 4.9'da yapay sinir ağları kullanılarak Türkiye'de 1960-2014 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonu verilerinin grafikleştirilmiş hali yer almaktadır.



Şekil 4.9 Yapay Sinir Ağları ile Türkiye'de 1960-2014 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonları (kt)

Şekil 4.9'deki grafiğe bakıldığında, kullanılan modelin doğruluğu gözlemlenebilmektedir.

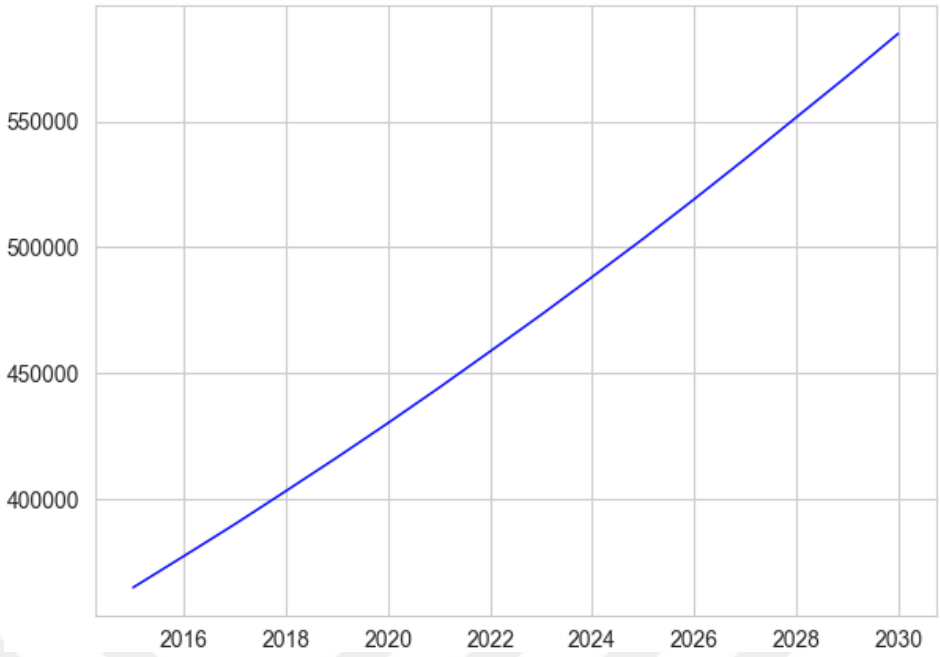
Tablo 4.13'te sinir ağları kullanılarak Türkiye'deki 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonuna ait veriler yer almaktadır. Emisyon birimi olarak kt olarak ifade edilmiştir.

Tablo 4.13 Yapay Sinir Ağları 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini

Yıllar	CO2 Emisyon Miktarı (kt)
2015	365,051.606
2016	377,590.809
2017	390,254.223
2018	403,407.611
2019	416,691.476
2020	430,356.684
2021	444,350.830
2022	458,732.587
2023	473,244.897
2024	488,240.839
2025	503,389.102
2026	519,101.591
2027	535,121.173
2028	551,550.211
2029	567,926.919
2030	584,793.526

Bu modele göre 2030 yılındaki CO_2 gazı emisyonu 584,793.526 kt olarak hesaplanmıştır.

Yapay sinir ağları ile yapılan, Türkiye'deki 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonu tahmin modeli Şekil 4.10'da yer almaktadır.



Şekil 4.10 Yapay Sinir Ağları ile Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonu tahmini (kt)

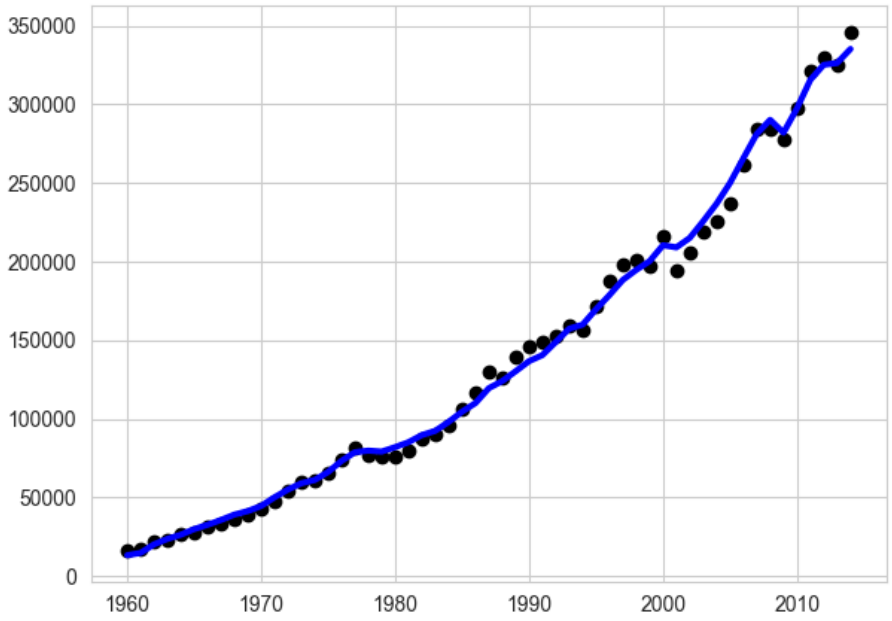
4.2.4 Bayesian Ridge Modelleme Sonuçları

Yapılan modellemede tolerans olarak 10^{-3} belirlenmiştir. $\alpha 1$ 10^{-5}, $\alpha 2$ 10^{-6}, $\lambda 1$ 10^{-5}, $\lambda 2$ 10^{-6} olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu 0.726 sn olarak çıktı vermiştir.

Model geliştirme(training) için R^2 değeri 0.9965 olarak hesaplanmıştır. Model geliştirme için yaklaşık hataların ortalama kare kökü (RMSE) olarak ifade edilen değer 0.0566'dır.

Test için R^2 değeri 0.988 olarak hesaplanmıştır. Test için, RMSE değeri 0.0544'tür.

Şekil 4.11'de Bayesian Ridge kullanılarak Türkiye'de 1960-2014 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonu verilerinin grafikleştirilmiş hali yer almaktadır.



Şekil 4.11 Bayesian Ridge ile Türkiye'de 1960-2014 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonları (kt)

Şekil 4.11'deki grafiğe bakıldığında, kullanılan modelin doğruluğu gözlemlenebilmektedir.

Tablo 4.14'te model olarak Bayesian Ridge kullanılarak Türkiye'deki 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonuna ait veriler yer almaktadır. Emisyon birimi olarak kt olarak ifade edilmiştir.

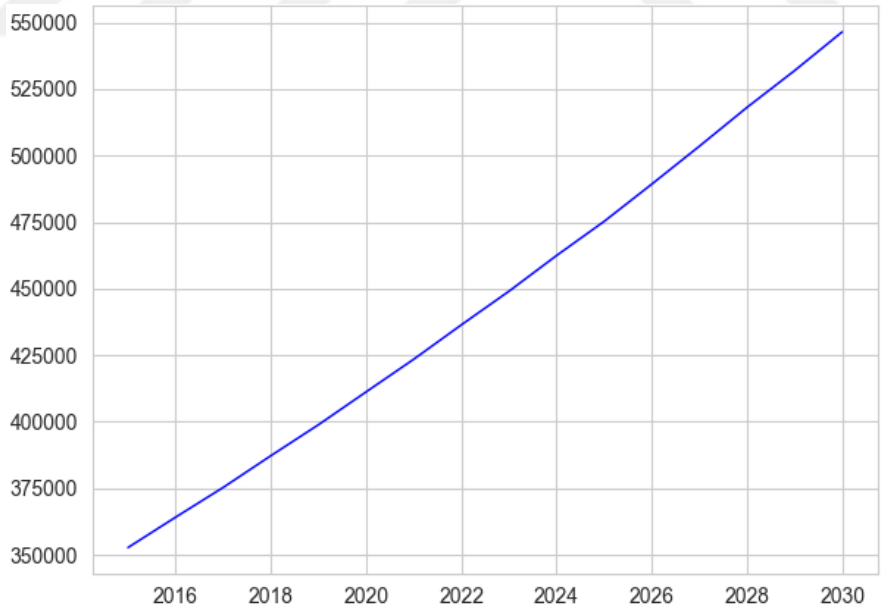
Tablo 4.14 Bayesian Ridge ile 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini

Yıllar	**CO_2 Emisyon miktarı (kt)**
2015	352,739.905
2016	364,149.799
2017	375,334.131
2018	387,244.661
2019	398,883.488
2020	411,211.213
2021	423,480.251
2022	436,392.047

Tablo 4.14 Bayesian Ridge ile 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 emisyon tahmini (devamı)

Yıllar	CO2 Emisyon miktarı (kt)
2023	449,024.198
2024	462,436.631
2025	475,268.357
2026	489,264.862
2027	503,511.683
2028	518,092.259
2029	531,917.309
2030	546,476.503

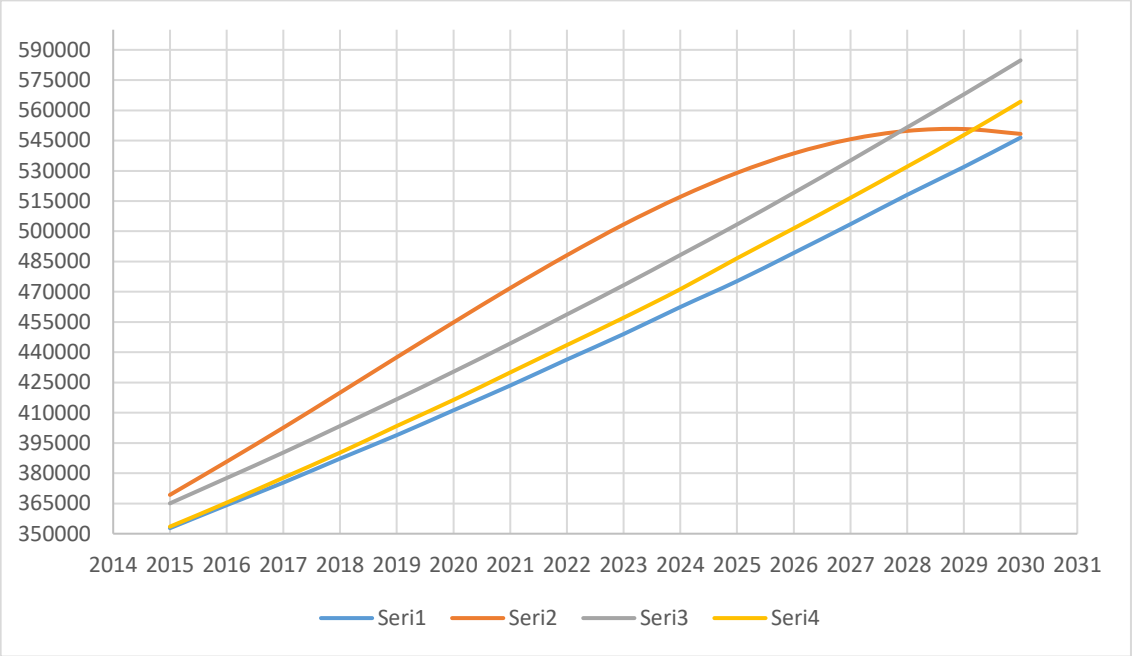
Bayesian Ridge ile yapılan, Türkiye'deki 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyonu tahmin modeli Şekil 4.12'de yer almaktadır.



Şekil 4.12 Bayesian Ridge İle Türkiye'de 2015-2030 yılları arasındaki CO_2 gazı emisyonu tahmini (kt)

Şekil 4.13'te yer alan grafikte Seri1 olarak ifade edilen kısım Bayesian Ridge'i, Seri2 olarak ifade edilen kısım DVM'yi, Seri3 olarak ifade edilen kısım yapay sinir ağlarını,

Seri4 olarak ifade edilen kısım ise çoklu lineer regresyonu temsil etmektedir. 2015-2030 yılları arasındaki tahmin verileri kullanılan bütün modellerle grafikleştirilmiştir.



Şekil 4.13 Bütün Modellerin 2015-2030 yıllarındaki CO_2 gazı emisyon tahmin sonuçları

Tablo 4.15'te 4 adet model için gözlem ve test sonuçları yer almaktadır. Modellerdeki verilerin 45'i geliştirme için, 10 tanesi test amaçlı kullanılmıştır.

Tablo 4.15 Model sonuçlarının hata analizleri

Model Adı	**Model geliştirme (Training)**		**Test**	
	45 adet gözlem sayısı		10 adet gözlem sayısı	
	R2	**RMSE**	**R2**	**RMSE**
Çoklu Lineer Regresyon	0.9973	0.028	0.999	0.035
Destek Vektör Makineleri	0.908	0.303	0.867	0.355
Yapay Sinir Ağları	0.989	0.033	0.987	0.037
Bayesian Ridge	0.9965	0.0566	0.988	0.0544

Bu çalışmalar sonucunda, Türkiye için yapılan başka tahmin modelleri ile karşılaştırılma yapılmıştır.

2016 yılında Eren Özceylan'ın yaptığı bir çalışmadı sürü zekası yöntemi tahmin modeli için kullanılmıştır. Bu çalışma için; enerji tüketimi, nüfus, GSYH ve motorlu araçlar veri seti kullanılmıştır. 1980 ve 2008 yıllarındaki veriler baz alınmıştır. 2009'dan 2030'a kadar olan yıllar modeller ve farklı senaryolar ile tahmin edilmiştir [90].

Bu çalışmadaki en iyi sonuçlar ile Özceylan'ın çalışması Tablo 4.15'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.16 Çoklu Lineer Regresyon ile Sürü Zekası çalışmalarının karşılaştırılması

Çoklu Lineer Regresyon		Sürü Zekası	
Yıllar	**Emisyon Tahminleri**	**Yıllar**	**Emisyon Tahminleri**
2015	351,093	2015	357,040
2016	362,302	2016	366,357
2017	372,878	2017	375,889
2018	384,545	2018	385,641
2019	395,394	2019	395,617
2020	407,442	2020	405,822
2021	419,010	2021	416,260
2022	431,592	2022	426,934
2023	443,936	2023	437,850
2024	456,976	2024	449,011
2025	468,489	2025	460,422
2026	482,063	2026	472,087
2027	495,866	2027	484,011
2028	509,974	2028	496,197
2029	522,982	2029	508,650
2030	536,501	2030	521,375

Bu sonuçlara bakıldığında, farklı modellerin kullanılmasına rağmen birbirine yakın tahminler yapıldığı gözlenmiştir.

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında yapılan Türkiye'deki CO_2 emisyonu tahmin modellemesinde, veri seti olarak nüfus, gayri safi yurtiçi hasıla, elektrik enerjisi ve ısı üretimi, elektrik tüketimi, gelir seviyelerine göre CO_2 emisyonu, konutlar, ticari ve kamu hizmetlerinden kaynaklanan CO_2 emisyonu, ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimi ve toplam CO_2 emisyonu kullanılmıştır. Girdi parametrelerinden CO_2 emisyonu ile ilişkisi düşük olanlar elimine edildiğinde, faydalı bir model elde edileceği düşünülen, 5 adet girdi ile modelleme yeniden düzenlenmiştir. Çıktı olarak da istenilen parametre CO_2 emisyonudur. Tahmin modellemesinde 2014 ile 2030 yılındaki CO_2 emisyonu verileri elde edilmiştir. Kullanılan parametrelerin her birinin teker teker grafikleri çıkartılmıştır. Ekler kısmında tahmin modellemesi için kullanılan kodlar yer almaktadır. Kullanılan modelleme için alt yapı olan Python çok fazla kod gerektirmeden, çok kısa sürede sonuç verdiği için veri bilimi için uygun bir program olarak düşünülmüştür.

Yapılan analizler sonucunda, ANOVA testi sonucunda p sayısı 0.05'ten büyük olduğu için gayri safi yurtiçi hasıla, elektrik ve ısı üretimi, aynı zamanda gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonları elenmiştir. Ancak aynı zamanda p değeri ile ilgili bir problem olmasa bile, GSYH'nin birimi dolar bazlı olduğu için, bu veriyi kullanmanın çok fazla sağlıklı sonuçlar vermeyeceği düşünülerek bu parametrenin elimine edilmesi gerektiği düşünülmüştür. Çünkü döviz kurunun ülkemizde iniş çıkış halinde olduğu bilinmektedir. İleri zamanlar için yapılacak tahminlerde GSYH hesaba katılırsa sonuçları olumsuz etkileyebilecektir. Aynı şekilde ülkelerin gelir seviyelerine göre CO_2 gazı emisyonu da çok fazla iniş çıkışlı olacağı için o da modelleme verileri arasına eklenmemiştir. Elektrik ve ısı tüketimi verisi de, ANOVA testi sonucunda p değeri olarak ifade edilen ve güven aralığını temsil eden 0.05'ten çok büyük bir sonuç olduğu için, bu parametre de veriler arasına eklenmemiştir.

Yapılan literatür araştırmasında, Türkiye ile ilgili CO_2 gazı emisyon modellerine bakıldığında Lineer Regresyon, Gri Model, Zaman Serileri gibi modeller ile

çalışılmıştır. Zaman Serileri ve Gri Model ile ilgili olan çalışmalarda çok fazla veriye ihtiyaç duyulmasına rağmen, az veri ile çalışılmıştır. Bu çalışmalar her ne kadar model olarak verimli sonuç verse de, gerçeği yansıtma konusunda zaman zaman eksik kalabilmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda özgün metotlar, özgün veriler ile bütünleştirilerek çalışılmıştır. Bu çalışmanın, hem birden fazla metodun aynı anda karşılaştırılması sebebiyle farklı bir bakış açısı, hem de literatürde daha önceden kullanılmayan modeller çalışıldığı için farklı bir model kazandırdığı düşünülmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde kullanılan parametrelere ek olarak, CO_2 gazı emisyonunu etkileyebileceği düşünülen ve tahmin modellemesinde faydalı olacağı yönünde başka parametreler, kullanılabileceği düşünülmüştür. Örneğin, yeşil alanların arttırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık üretimi gibi veriler CO_2 gazı emisyonunu azaltıcı yönde etki ettiği için tahmin için daha uygun olacağı bilinmektedir. Ancak Türkiye için toplanılan veri setinde 1960'dan 2014 yılına kadar olan verilere ulaşılamadığı için, bu veriler modeller için kullanılmamıştır. Ancak modelde iyileştirme için CO_2 gazı emisyonunu düşürücü etkiler kullanılırsa model için daha etkili olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmaya ek olarak, Türkiye ve küresel ölçekte yapılan modelleme çalışması birbiriyle karşılaştırılabilir veya aynı modeller kullanılarak Türkiye'nin CO_2 gazı emisyonu bakımından en yüksek konsantrasyona sahip şehirleri üzerinde çalışmalara geliştirilebilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Türkiye İstatistik Kurumu, "Sera Gazı Emisyonu," İstanbul, 2018.

[2] L. Abdullah and H. M. Pauzi, "Methods in Forecasting Carbon Dioxide Emissions," *Jurnal Teknologi,* 2015.

[3] N. P. Say and M. Yücel, "Energy Consumption and CO2 Emissions in Turkey: Empirical Analysis and Future Projection Based on an Economic Growth," *Energy Policy,* pp. 3870-3876, 2006.

[4] A. C. Köne and T. Büke, "Forecasting of CO2 Emissions from Fuel Combustion Using Trend Analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* pp. 2906-2915, 2010.

[5] M. Murad and R. I. Molla, "Climate Change and Agricultural Growth: An Examination of the Link in Malaysia," *International Journal of Climate Change Strategies and Management,* pp. 403-417, 2010.

[6] D. Radojević, V. Pocajt, I. Popović, and A. Perić-Gru, "Forecasting of Greenhouse Gas Emissions in Serbia Using Artificial Neural Networks," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects,* pp. 733-740, 2013.

[7] H. Pao and C. M. Tsai, "Modeling and Forecasting the CO2 Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth in Brazil," *Energy,* pp. 2450-2458, 2011.

[8] P. Liu, G. Zhang and X. Zhang , "Carbon Emissions Modeling of China Using Neural Network," in *2012 Fifth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, 2012.

[9] Y. Feng, S. Q. Chen and Z. X. Zhangh, "System Dynamics Modeling for Urban Energy Consumption and CO2 Emissions: A Case Study of Beijing," *Ecological Modelling,* pp. 44-52, 2013.

[10] H. Yılmaz and M. Yılmaz, "Forecasting Co2 Emissions For Turkey By Using The Grey Prediction Method," *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi,* pp. 141-148, 2013.

[11] A. M. Hajji and P. Lewis, "Development of Productivity-based Estimating Tool for Energy and Air Emissions from Earthwork Construction Activities," *Smart and Sustainable Built Environment,* pp. 84-100, 2013.

[12] C. Saleh, N. R. Dzakiyullah and J. Bayu Nugroho, "Carbon dioxide emission prediction using support vector machine," *Energy,* 2016.

[13] H. Pabuçcu and T. Bayramoğlu, "Yapay Sinir Ağları ile CO2 Emisyonu Tahmini : Türkiye Örneği," *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* pp. 762-778, 2016.

[14] S. M. Hosseini, A. Saifoddin and R. Shirmohammadi, "Forecasting of CO2 emissions in Iran based on time series and regression analysis," *Energy Reports,* pp. 619-631, 2019.

[15] E. I. George and D. G. T. Denison, "Bayesian Prediction with Adaptive Ridge Estimators," 2012.

[16] Ü. A. Şahin, C. Ayvaz and B. Onat, "Climate Change and Greenhouse Gases," in *Springer International Publishing AG*, İstanbul, 2019, p. 201.

[17] T. Van Hoa and K. Limskul , "Economic Impact of CO2 Emissions Growth and Climate Change Mitigation Policy: A Modelling Analysis"," *Economic Modelling,* pp. 651-658, 2013.

[18] S. Weart, "The discovery of global warming," Harvard University Press, Cambridge, 2008.

[19] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis , K. Averty , M. Tignor and H. Miller , "Contribution of Workin Group I to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate," Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

[20] J. Hardy, "Climate change: causes, effects, and solutions.," Wiley, Chichester, 2003.

[21] Kadıoğlu M, "Global climate change and Turkey,," Güncel, İstanbul, 2001.

[22] Uluslararası Enerji Ajansı, "World Energy Outlook 2017," Paris, Fransa, 2017.

[23] Metcalfe, S; Derwent, C, "In: Matthews J (ed) Atmospheric pollution and environmental;," Oxford University Press, New York, 2005.

[24] G. Walker and S. King, "The hot topic-how to tackle global warming and still keep the lights on," Bloomsbury, London, 2008.

[25] "SG National Emissions Inventory report," Turkey Statistical Institute (TSI), Ankara, 2007.

[26] Ministry of Environment and Urbanization, General Directorate of Environmental Management, "6NDR-National Declaration Report," 2016.

[27] S. O. Mercator-IPC, "A holistic view of climate change and its impacts in Turkey" 2013.

[28] C. S. Aksay, O. Ketenoğlu and L. Kurt, "Küresel Isınma ve İklim Değişikliği," *S Ü Fen Ed Fak Fen Derg,* pp. 29-41, 2005.

[29] W. W. F. WWF, "Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye," Türkiye, 2017.

[30] S. Kuşkaya and D. P. Gençoğlu, "OECD Ülkelerinin 1995-2015 Yılları İtibariyle Sera Gazı Salınımları Açısından Karşılaştırılması: İstatistiksel Bir Analiz," *International Journal of Disciplines Economics & Administrive Science,* pp. 177-188, 2017.

[31] Y. Arıkan and G. Özsoy, "A' dan Z'ye İklim Değişikliği Başucu Rehberi," *Bölgesel Çevre Merkezi, REC Türkiye,* p. 14, 2008.

[32] W. R. Institute, "CO2 Emissions Climb to an All-Time High (Again) in 2019: 6 Takeaways from the Latest Climate Data," 2019.

[33] Climate Action Tracker, Turkey, 2018.

[34] Anadolu Agency, "Firms from China, US, Turkey to build pumped-storage hydropower plant in Isparta," Isparta, 2010.

[35] Environmental Protection Agency (EPA), "Greenhouse Gases and Global Warming Potential Values," 2002.

[36] Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), "Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: İklim Değişikliği Özel İhtisas Raporu. 2532-548, 123.," 2000.

[37] Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), "Climate Change 2007," p. 1007, 2007.

[38] Environmental Protection Index EPI, "Climate,Energy and Transportation," 2018.

[39] Environmental Protection Agency, EPA, " Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2012. EPA 430-R-14-003," U.S.A., 2014.

[40] M. Uzunçakmak, "Ulaşım Modlarından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları Ve iklim Değişikliği Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması," in *Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi*, Ankara, 2014.

[41] Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), "Climate Change 2007: The Physical Science Basis.1007.," 2007.

[42] F. Akbulut, "İklim Değişikliğinde Alternatif Politikaların Etkinliği," Ankara Üniversitesi, Ankara, 2009.

[43] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) , "Kyoto Protokolü," 2018.

[44] N. C. C. A. P. NCCAP, "Republic of Turkey 2011–2023," Ankara,Turkey, 2011.

[45] B. Özer, "Türkiye Elektrik Sektöründe Co2 Emisyonu Azaltma Potansiyeli Üzerine Senaryo Analizleri," Nisan 2012.

[46] O. Bekiroğlu, "Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi," 2016.

[47] Kyoto Protokolü, "Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği ve Çerçeve Sözleşmesi," Kyoto, 1998.

[48] Z. Savaşan, "Climate governance in Turkey: a forward-looking perspective," 2019.

[49] Paris Anlaşması, Fransa, 2016.

[50] E. Karakaya, "Paris İklim Anlaşması: İçeriği Ve Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme," *Dergi Park,* 2016.

[51] Türkiye İstatistik Kurumu, "Türkiye'deki Sera Gazı Emisyonunun Sektörel Dağılımı," 2018.

[52] H. Pabuçcu and T. Bayramoğlu, "Yapay Sinir Ağları ile CO2 Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği," *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* pp. 762-778, 2016.

[53] M. Steinberg, "Production of hydrogen and methanol from natural gas with reduced CO2 emission," *Elsevier,* pp. 419-425, 1998.

[54] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Enerji Sektöründe Doğalgaz Kullanımı," Ankara, 2017.

[55] G. M. Şener, "Doğal Gaz Yeraltı Depolamanın Termodinamik Kritikleri," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 2016.

[56] D. N. Engin, "Enerji Kaynağı Olarak Doğalgaz ve Türkiye," *Marmara Coğrafya Dergisi,* pp. 233 - 244, 2010.

[57] F. B. Şanlı and K. Tuna, "Türkiye'de Petrol Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Analizi," *Maliye ve Finans Yazıları,* pp. 43-58, 2014.

[58] A. Kontorovich, "Estimate of Global Oil Resource and The Forecast for Global Oil Production in The 21st Century," *Elsevier,* pp. 237-242, 2009.

[59] Uluslararası Enerji Ajansı, "Emissions Reduction through Upgrade of Coal-Fired Power Plants Learning from Chinese Experience," Paris, 2014.

[60] A. Dikmen, Kömür Yakıtlı Termik Santrallerin Çevreye Olumsuz Etkileri ve Bu Etkilerin Bertarafı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2017, pp. 269-275.

[61] TEİAŞ, "Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre yıllar itibariyle gelişimi," 2009. [Online].

[62] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), "Seragazı Emisyon Envanteri, Haber Bülteni," 2017.

[63] İ. Öztürk and A. Çelik, "Dünya'da ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Kullanım Durumu ve Geleceğe Yönelik Beklentiler," *Atatürk Üniversitesi Zirat Fakültesi Dergi,* pp. 267-276, 2011.

[64] S. Çetin, E. Bayrakdar and E. Turan, "Türkiye'nin Güneş Enerjisi Politikaları," *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi,* 2019.

[65] Ö. C. Külekçi, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Önemi," 2010.

[66] E. Sözen, G. Gündüz and D. Aydemir, "Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi," *Bartın Orman Fakultesi Dergisi,* 2017.

[67] S. Karayılmaz, N. Saraçoğlu and Y. Çubuk, "Biyokütlenin Türkiye'de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi," *Bartın Orman Fakültesi Dergisi,* pp. 63-75, 2011.

[68] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı," 2016.

[69] Intended National Determined Contribution, "Climate Change Convention," 2018.

[70] G. Uzel and S. Gürlük, "Türkiye'nin Tarım Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarındaki Durumu," in *XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi* , 2014.

[71] H. Köknaroğlu and T. Akünal, "Küresel Isınmada Hayvancılığın Payı ve Zooteknist Olarak Bizim Rolümüz," 2010.

[72] Food and Agriculture Organization of the United Nations, 29 April 2014. [Online]. Available: http://faostat.fao.org/site/707/default.aspx#ancor, 12.05.2020

[73] R. E. e. a. Gullison, Science 316, 2007.

[74] D. Van Der Werf, *CO2 emissions from forest loss,* 2009.

[75] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018. [Online]. Available: https://iklim.csb.gov.tr/gonullu-karbon-piyasalari-i-4391, 08.04.2020

[76] Dünya Bankası Grubu, "Türkiye'de Nüfus Verileri," 2019.

[77] Dünya Bankası Grubu, "Türkiye'de GSYH," 2019.

[78] Dünya Bankası Grubu, "Türkiye'de Elektrik ve Isı Üretimi," 2019.

[79] Dünya Bankası Grubu, "Türkiye'de Elektrik Tüketimi," 2019.

[80] Dünya Bankası Grubu, "Ülkelerin Gelir Seviyelerine Göre CO2 Emisyonu," 2019.

[81] Dünya Bankası Grubu, "Konutlar, Ticari ve Kamu Hizmetlerinden Kaynaklanan CO2 Emisyonu," 2019.

[82] Dünya Bankası, "Ulaşımdan Kaynaklı Yakıt Tüketimi," 2019.

[83] G. K. Uyanık and N. Güler, "A Study on Multiple Linear Regression Analysis," *Procedia - Social and Behavioral Sciences,* pp. 234-243, 2013.

[84] "Veri Bilimcisi," 2017. [Online]. Available: https://veribilimcisi.com/2017/07/18/coklu-dogrusal-regresyon-nedir-multivariate-linear-regression/, 11.04.2020

[85] H. Akpınar, "Data -Veri Madenciliği Veri Analizi," Papatya Bilim, 2014.

[86] K. Doya and D. L. Wang, "The Official Journal of the International Neural Network Society, European Neural Network Society & Japanese Neural Network Society," in *Neural Networks*, 2017.

[87] W. Koehrsen, "Introduction to Bayesian Linear Regression," 2018. [Online]. Available: https://towardsdatascience.com/introduction-to-bayesian-linear-regression-e66e60791ea7#:~:text=The%20output%2C%20y%20is%20generated,by%20a%20mean%20and%20variance.&text=Posterior%3A%20The%20result%20of%20performing,the%20data%20and%20the%20prior., 10.03.2020

[88] Q. Shi and M. Abdel-Aty, "A Bayesian ridge regression analysis of congestion's impact on urban expressway safety," *Elsevier,* pp. 124-137, 2016.

[89] Scikit Learn, "Curve Fitting with Bayesian Ridge Regression," 2019. [Online]. Available:https://scikitlearn.org/stable/auto_examples/linear_model/plot_bayesian_ridge_curvefit.html., 07.05.2020

[90] E. Özceylan , "Forecasting CO2 emission of Turkey:," *Int. J. Global Warming,* 2016.

[91] K. L. e. a. Denman, "IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis," p. 499–587 , 2007.

[92] "NCCAP (National Climate Change Action Plan)," Republic of Turkey, 2011-2023.

[93] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), "Paris Anlaşması," Fransa, 2016.

[94] A. Van Wijk and J. Coelingh, "OECD Ülkelerinde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli," Hollanda, 2003.

[95] R. Ilgar, "Ekolojik Bakışla Jeotermal Kaynaklara Dualist Yaklaşım," *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi,* pp. 88-98, 2005.

[96] S. Kubilay, "Binalar Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu," 2017.

A

MODELLEMEDE KULLANILAN KODLAR

```
from math import sqrt
import pandas as pd
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
import warnings
import time
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.linear_model import BayesianRidge
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from sklearn.svm import SVR
from sklearn.svm import LinearSVR
from sklearn.neural_network import MLPRegressor
from sklearn.model_selection import GridSearchCV

warnings.filterwarnings('ignore')
sns.set_style('whitegrid')
data = pd.read_excel('co2-emission-data.xlsx')
data = data[list(set(data.columns) - {'GSYH', 'Power and
Heat Production', 'CO2 by GSYH'})]
data = data.astype('int')
multiplier = {}
features = ['Population', 'Power Consumption', 'Fossil
Fuel', 'Residential Buildings', 'Transport']

future = pd.read_excel('co2-emission-feature-data.xlsx')
future = future[list(set(future.columns) - {'GSYH', 'Power
and Heat Production', 'CO2 by GSYH'})]
future = future.astype('int')

for item in list(set(data.columns) - {'Year'}):
    multiplier[item] = len(str(int(data[item].iloc[0]))) -
1
    data[item] = data[item].apply(lambda x: x / 10 **
multiplier[item])

for (key, value) in multiplier.items():
    future[key] = future[key].apply(lambda x: x / 10 **
value)

data.plot()
plt.show()
y = data['Total'].values
X = data[list(set(data.columns) - {'Total',
'Year'})].values
```

```
y_f = future['Total'].values
X_f = future[list(set(future.columns) - {'Total',
'Year'})].values

start = time.time()
print("***linreg***")
linreg = LinearRegression()
linreg.fit(X, y)
print("linreg Score: ", linreg.score(X, y))
y_pred = linreg.predict(X)
rmse = sqrt(mean_squared_error(y, y_pred))
print("RMSE", rmse)
y_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for item
in y]
y_pred_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for
item in y_pred]
plt.scatter(data['Year'], y_denormalized,  color='black')
plt.plot(data['Year'], y_pred_denormalized, color='blue',
linewidth=3)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
plt.title('Linear Regression')
plt.show()
print("test:", linreg.score(X_f, y_f))
y_f_predict = [item*(10**multiplier['Total']) for item in
linreg.predict(X_f)]
print(y_f_predict)
plt.plot(future['Year'], y_f_predict, color='blue',
linewidth=1)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
plt.title('Linear Regression Prediction')
plt.show()
equation = {}
for item in range(len(features)):
    equation[features[item]] = linreg.coef_[item]
print(equation, linreg.intercept_)
finish = time.time()
print("linear regression result time: ", finish-start)


start = time.time()
print("***BayesianRidge***")
bayesian = BayesianRidge()
bayesian.fit(X, y)
print("bayesian Score: ", bayesian.score(X, y))
y_pred = bayesian.predict(X)
rmse = sqrt(mean_squared_error(y, y_pred))
print("RMSE", rmse)
y_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for item
in y]
y_pred_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for
```

```
item in y_pred]
plt.scatter(data['Year'], y_denormalized,  color='black')
plt.plot(data['Year'], y_pred_denormalized, color='blue',
linewidth=3)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
plt.title('Bayesian Ridge Regression')
plt.show()
print("test:", bayesian.score(X_f, y_f))
y_f_predict = [item*(10**multiplier['Total']) for item in
bayesian.predict(X_f)]
print(y_f_predict)
plt.plot(future['Year'], y_f_predict, color='blue',
linewidth=1)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
plt.title('Bayesian Ridge Regression Prediction')
plt.show()
equation = {}
for item in range(len(features)):
    equation[features[item]] = bayesian.coef_[item]
print(equation, bayesian.intercept_)
finish = time.time()
print("Bayesian Ridge regression result time: ", finish-
start)


start = time.time()
print("***linear svr***")
print("***GridSearch***")
param_grid = {'C': range(600, 700), 'tol': [10**-i for i in
range(1, 10)]}
svm_cv = GridSearchCV(LinearSVR(), param_grid, cv=5)
svm_cv.fit(X, y)
print(svm_cv.best_params_)
print("best score", svm_cv.best_score_)
svm = LinearSVR(C=svm_cv.best_params_['C'],
tol=svm_cv.best_params_['tol'])
svm.fit(X, y)
print("svr Score: ", svm.score(X, y))
y_pred = svm.predict(X)
rmse = sqrt(mean_squared_error(y, y_pred))
print("RMSE", rmse)
y_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for item
in y]
y_pred_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for
item in y_pred]
plt.scatter(data['Year'], y_denormalized,  color='black')
plt.plot(data['Year'], y_pred_denormalized, color='blue',
linewidth=1)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
```

```
plt.title('SVM Linear Regression')
plt.show()
print("test:", svm.score(X_f, y_f))
y_f_predict = [item*(10**multiplier['Total']) for item in
svm.predict(X_f)]
print(y_f_predict)
plt.plot(future['Year'], y_f_predict, color='blue',
linewidth=1)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
plt.title('SVM Linear Regression Prediction')
plt.show()
equation = {}
for item in range(len(features)):
    equation[features[item]] = svm.coef_[item]
print(equation, svm.intercept_)
finish = time.time()
print("SVM linear regression result time: ", finish-start)


start = time.time()
print("***svr***")
print("***GridSearch***")
param_grid = {'C': range(600, 700), 'gamma': [10**-i for i
in range(1, 10)], 'degree': range(1, 4)}
svm_cv = GridSearchCV(SVR(), param_grid, cv=5)
svm_cv.fit(X, y)
print(svm_cv.best_params_)
print("best score", svm_cv.best_score_)
svm = SVR(C=svm_cv.best_params_['C'],
gamma=svm_cv.best_params_['gamma'],
degree=svm_cv.best_params_['degree'])
svm.fit(X, y)
print("svr Score: ", svm.score(X, y))
y_pred = svm.predict(X)
rmse = sqrt(mean_squared_error(y, y_pred))
print("RMSE", rmse)
y_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for item
in y]
y_pred_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for
item in y_pred]
plt.scatter(data['Year'], y_denormalized,  color='black')
plt.plot(data['Year'], y_pred_denormalized, color='blue',
linewidth=3)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
plt.title('SVM Non-Linear Regression')
plt.show()
print("test:", svm.score(X_f, y_f))
y_f_predict = [item*(10**multiplier['Total']) for item in
svm.predict(X_f)]
```

```
print(y_f_predict)
plt.plot(future['Year'], y_f_predict, color='blue',
linewidth=1)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
plt.title('SVM Non-Linear Regression Prediction')
plt.show()
equation = {}
finish = time.time()
print("SVM regression result time: ", finish-start)


start = time.time()
print("***neural***")
print("***GridSearch***")
param_grid = {'hidden_layer_sizes': range(1, 30), 'tol':
[10**-i for i in range(1, 10)]}
mlp = MLPRegressor()
mlp_cv = GridSearchCV(mlp, param_grid, cv=5)
mlp_cv.fit(X, y)
print(mlp_cv.best_params_)
print("best score", mlp_cv.best_score_)
mlp =
MLPRegressor(hidden_layer_sizes=mlp_cv.best_params_['hidden
_layer_sizes'], tol=mlp_cv.best_params_['tol'])
mlp.fit(X, y)
print("mlp Score: ", mlp.score(X, y))
y_pred = mlp.predict(X)
rmse = sqrt(mean_squared_error(y, y_pred))
print("RMSE", rmse)
y_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for item
in y]
y_pred_denormalized = [item*(10**multiplier['Total']) for
item in y_pred]
plt.scatter(data['Year'], y_denormalized,  color='black')
plt.plot(data['Year'], y_pred_denormalized, color='blue',
linewidth=3)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
plt.title('Neural Network Regression')
plt.show()
print("test:", mlp.score(X_f, y_f))
y_f_predict = [item*(10**multiplier['Total']) for item in
mlp.predict(X_f)]
print(y_f_predict)
plt.plot(future['Year'], y_f_predict, color='blue',
linewidth=1)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Total')
plt.title('Neural Network Regression Prediction')
plt.show()
print(mlp.coefs_, mlp.intercepts_, mlp.activation,
```

```
mlp.hidden_layer_sizes)
finish = time.time()
print("Neural Network regression result time: ", finish-
start
```

B

MODELLEMEDE TAHMİN EDİLEN VERİ SETİ

Yıllar	Toplam CO_2	Nüfus	Elektrik Tüketimi	Fosil Yakıt	Konut Kullanımı	Ulaşım	Tahmini CO_2
2015	350,77	77.75	3060.3	90.1	16.4	15.775	350,77
2016	361,46	78.68	3180.0	90.1	16.2	15.571	361,46
2017	372,36	79.61	3302.7	90.2	15.9	15.371	372,36
2018	383,48	80.54	3428.3	90.2	15.7	15.172	383,48
2019	394,81	81.47	3557.1	90.2	15.4	14.976	394,82
2020	406,37	82.40	3688.9	90.2	15.2	14.783	406,37
2021	418,14	83.33	3823.8	90.1	14.9	14.592	418,14
2022	430,14	84.26	3961.9	90.0	14.7	14.404	430,14
2023	442,36	85.19	4103.1	89.9	14.4	14.218	442,36
2024	454,81	86.12	4247.6	89.8	14.2	14.035	454,81
2025	467,49	87.05	4395.3	89.7	13.9	13.854	467,49
2026	480,40	87.98	4546.3	89.5	13.7	13.675	480,40
2027	493,55	88.91	4700.6	89.3	13.4	13.499	493,55
2028	506,94	89.84	4858.3	89.0	13.2	13.324	506,94
2029	520,57	90.77	5019.3	88.8	12.9	13.152	520,57
2030	534,44	91.70	5183.8	88.5	12.7	12.983	534,44

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: merveccimen@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. Çimen M, Akkaya, E. (2020), "Development of Prediction Model For CO_2 Gas Emissions In Turkey", 4. Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu (4th Engineers of Future International Student Symposium), EFIS 2020, II. Oturum, Ref. ID: 88, 07-08 Mayıs 2020, Zonguldak, Türkiye.