

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDE KARBONDİOKSİT
EMİSYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE GELECEK
PROJEKSİYONLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramin GULİYEV

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ

Haziran 2022

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDE KARBONDİOKSİT
EMİSYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE GELECEK
PROJEKSİYONLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramin GULİYEV

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 24/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Kemal ERMİŞ	Başarılı
Üye: Prof. Dr. Murat HOŞÖZ	Başarılı
Üye: Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ	Başarılı

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ramin GULİYEV

24/06/2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazımda yaptığım hataları düzeltmemde yardımcı olan ağabeyim Dr. Hüseyngulu GULİYEV'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca hep yanımda olan, desteklerini her zaman hissettim ve bugüne gelmemde yardımcı olan aileme çok teşekkürler ederim.

Türkiye'de yüksek lisans öğrenimimi sağlayan, eğitimim sırasında yardımını esirgemeyen ve bana burs veren YTB kurumuna teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	v
SİMGELER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xvi
SUMMARY	xvii

BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1

BÖLÜM 2.	
ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜ.....	9
2.1. Dünyada Enerji Verimliliği.....	10
2.2. Dünyada Ulaştırma Sektöründe Enerji Verimliliği.....	12
2.3. Türkiye’de Enerji Verimliliği	13
2.4. Türkiye’de Ulaştırma Sektöründe Enerji Verimliliği	14
2.5. Net Sıfır Emisyon Raporu.....	16

BÖLÜM 3.	
DÜNYADA ENERJİ TÜKETİMİ VE EMİSYONLAR.....	21
3.1. Dünyada Enerji Tüketimi	21
3.2. Dünyada Kaynaklara Ve Sektörlere Göre Enerji Tüketimi	22
3.3. Dünyada Sera Gazı Emisyonları	24
3.4. Dünyada Kaynaklara Ve Sektörlere Göre CO ₂ Emisyonu.....	27

BÖLÜM 4.	
TÜRKİYE’DE ENERJİ TÜKETİMİ VE EMİSYONLAR	29
4.1. Türkiyede Enerji Tüketimi	29
4.2. Türkiye’de Kaynaklara Ve Sektörlere Göre Enerji Tüketimi.	29
4.3. Türkiye’de Sera Gazı Emisyonları.....	33

4.4.	Türkiye Kaynaklara Ve Sektörlere Göre CO ₂ Emisyonu	34	
BÖLÜM 5.			
TÜRKİYE'DE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜ			36
5.1.	Türkiye'de Ulaştırma Sektörü Enerji Tüketimi	36	
5.2.	Türkiye'de Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları.	37	
5.3.	Türkiye'deki Motorlu Kara Taşıtları.....	40	
BÖLÜM 6.			
TÜRKİYE'DE ELEKTRİK.....			43
6.1.	Türkiye'de Elektrik Üretimi.....	43	
6.2.	Elektrik Üretiminden Kaynaklanan CO ₂ Emisyonu	46	
BÖLÜM 7.			
KARAYOLUNDA KULLANILAN ARAÇ TÜRLERİ.....			47
7.1.	İçten Yanmalı Motorlu Araçlar	48	
7.2.	Hibrit Araçlar	49	
7.3.	Elektrikli Araçlar.....	53	
BÖLÜM 8.			
MATERYAL VE METOD.....			55
8.1.	Türkiye'de Gelecek Yıllar İçin Araç Sayısı Projeksiyonu.....	55	
8.2.	Gelecekteki Araç Türüne Göre Gözönüne Alınan Emisyon Senaryoları ..	58	
8.2.1.	Senaryo 1 (%100 İYMA).....	60	
8.2.2.	Senaryo 2 (%100 HA).....	61	
8.2.3.	Senaryo 3 (%100 EA)	61	
8.2.4.	Senaryo 4 (%50 İYMA ve %50 EA).....	62	
8.2.5.	Senaryo 5 (farklı oranlarda İYMA, HA ve EA).....	63	
8.3.	Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi İle Otomobil Sayısı Tahmini Ve CO ₂ Projeksiyonları.....	64	
BÖLÜM 9.			
BULGULAR VE TARTIŞMA.....			66
9.1.	Araç Sayısı Hesabı (Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi)	66	
9.2.	Araçların CO ₂ Emisyon Hesabı	68	
9.2.1.	Senaryo 1A (%100 İYMA-dizel)	68	
9.2.2.	Senaryo 1B (%100 İYMA-benzin)	70	
9.2.3.	Senaryo 2A (%100 HEA-dizel)	71	
9.2.4.	Senaryo 2B (%100 KHEA-dizel).....	73	
9.2.5.	Senaryo 2C (%100 HEA-benzin).....	75	
9.2.6.	Senaryo 2D (%100 KHEA-benzin).....	75	
9.2.7.	Senaryo 3A (%100 EA-mevcut politika)	76	
9.2.8.	Senaryo 3B (%100 EA-yenilenebilir enerji politikası)	78	
9.2.9.	Senaryo 3 (elektrik üretimi gelecek senaryolarına göre %100 EA)...	79	
9.2.10.	Senaryo 4A (2025 yılından %50 İYMA ve %50 EA)	81	

9.2.11.	Senaryo 4B (2035 yılından %50 İYMA ve %50 EA).....	84
9.2.12.	Senaryo 5 (farklı oranlarda İYMA, HA ve EA).....	86
9.2.13.	Senaryoların karşılaştırılması.....	86
9.3.	Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi İle Otomobillerin CO ₂ Emisyonu Projeksiyonları	91

BÖLÜM 10.

SONUÇ VE ÖNERİLER..... 94

10.1.	Sonuçlar.....	94
10.2.	Öneriler	98

KAYNAKLAR 99



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACEE	: Enerji Verimli Ekonomi için Amerikan Konseyi
Ar-Ge	: Araştırma ve Geliştirme
BK	: Birleşik Krallık
BKA	: Belediyeye ait Katı Atık
BMİDÇ	: Birleşmiş Milletler İklim değışikliği Çerçeve Sözleşmesi
BP	: Britanya Petrol
CHP	: Kojenerasyon
CLRTAP	: Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi
COVID-19	: Korona Virüs Hastalığı 2019
EA	: Elektrikli araç
EPDK	: Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EV	: Enerji Verimliliği
EVK	: Enerji Verimliliği Kanunu
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GTAÇ	: Gaz Türbinli Açık Çevrim
GTKÇ	: Gaz Türbinli Kombine Çevrim
HA	: Hibrit Araç
HEA	: Hibrit Elektrikli Araç
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
İYMA	: İçten Yanmalı Motorlu Araç
KHEA	: Kablolu Hibrit Elektrikli Araç
LCA	: Yaşam Döngüsü Analizi
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

MPS	: Mevcut Politikalar Senaryosu
NEDC	: Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi
NSE	: Net Sıfır Emisyon
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OPEM	: Operation Emission Model
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
PV	: Fotovoltaik
RPS	: Resmi Planlar Senaryosu
SG	: Sera Gazı
SSP2	: Shared Socioeconomic Pathways version 2.0
TDK	: Türk Dil Kurumu
TEAM-UK	: Transport Energy and Air Pollution Model for United Kingdom
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TIMES	: The Integrated Market-EFOM System
TMOTEC	: Transportation Mode-Techonology-Energy-CO ₂
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UEVEP	: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
UKTCM	: United Kingdom Transport Carbon Model
WEO	: Dünya Enerji Görünümü
WTW	: Kuyudan Tekerleğe
WWF	: Dünya Doğal Hayatı Koruma Vakfı
YES	: Yenilenebilir Enerji Senaryosu

SİMGELER

a	: Doğrunun Y eksenini kestiği nokta
AS	: Araç sayısı
b	: Doğrunun eğim
C	: Araç sayısı
$^{\circ}C$: Celsius
c	: Şansa bağlı hata terimi
CFC	: Kloroflorokarbon
CH_4	: Metan
CI	: Elektrik üretimindeki karbon yoğunluğu
CI_i	: i kaynağına göre elektrik üretimindeki karbon yoğunluğu
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂ eşd.	: Karbondioksit emisyon eşdeğeri
CO ₂	: Karbondioksit
D	: Araç başına kat edilen ortalama mesafe
E_{EA}	: EA'ların toplam karbondioksit emisyonu
E_{HA}	: HA'ların toplam karbondioksit emisyonu
$E_{İYMA}$: İYMA'ların toplam karbondioksit emisyonu
EJ	: Exajoule
$E_{Komb.}$: İYMA ve EA kombinasyonun toplam karbondioksit emisyonu
F	: Elektrik üretimindeki kayıp veya enerji üretim verimsizlikleri için bir düzeltici faktör
G	: Kat edilen kilometre başına karbon dioksit emisyonu
gCO ₂	: Gram karbondioksit emisyonu
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasılat
GtCO ₂ eşd.	: Gigaton karbondioksit eşdeğer
GWh	: GigaWatt saat

H ₂ O	: Su
HFC	: Hidroflorokarbon
HHS	: Hanehalkı sayısı
K	: Enerji verimliliği
kgCO ₂	: Kilogram karbondioksit
km	: Kilometre
ktCO ₂ eşd.	: Kiloton karbondioksit eşdeğer
kWh	: kiloWatt saat
m ²	: Metrekare
MtCO ₂	: Milyon ton karbondioksit emisyonu
N ₂ O	: Diazotmonoksit
n_{EA}	: EA yüzdesi
NF ₃	: Nitrojentriflorid
n_{HA}	: HEA yüzdesi
n_i	: <i>i</i> kaynağı elektrik üretim oranı
$n_{İYMA}$: İYMA yüzdesi
NO	: Azotmonoksit
NO ₂	: Azotdioksit
NO _x	: Azot oksitleri
O ₃	: Ozon
OS	: Otomobil sayısı
PFC	: Per floro kimyasalları
PM10	: Partikül madde
R ²	: Belirlilik katsayısı
SF ₆	: Kükürthexafluoride
SO	: Kükürtmonoksit
SO ₂	: Kükürtdioksit
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TWh	: TeraWatt saat
USD	: Amerika Birleşik Devletleri doları
X	: Bağımsız değişken
Y	: Bağımlı değişken
YN	: 15-64 yaş nüfusu

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1: Türkiye’de ulaştırma türüne göre 2020 yılı için nihai enerji tüketimi	37
Tablo 5.2: Türkiye’de ulaştırma türüne göre 2017 yılı için sera gazı emisyonu.....	39
Tablo 6.1: Yaşam döngüsü sera gazı emisyonu yoğunlukları	46
Tablo 8.1: Çoklu regresyon modeli verilerin gösterimi	56
Tablo 8.2: Hesaplamalarda kullanılan istatiksels veriler	58
Tablo 8.3: Araçların 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu senaryo özetleri.....	59
Tablo 8.4: Elektrik üretimi projeksiyonlarına göre araçların 2015-2030 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu senaryo özetleri.....	59
Tablo 8.5: Farklı oranlarda İYMA, HA ve EA’ların entegre projeksiyonlarına göre araçların 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu senaryo özetleri.....	60
Tablo 9.1: Çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi istatistikleri	92
Tablo 9.2: Türkiye için mevcut ve yapılan regresyon analizleri sonucu bulunan otomobil sayısına göre CO ₂ emisyonları.....	93

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Net sıfır emisyonla ulaşmak için gerekli olan enerji verimliliği uygulamalarının görünümü.	9
Şekil 2.2: Enerji verimliliğinin fayda sağladığı alanlar	10
Şekil 2.3: Farklı sektörler için ülkelerin enerji verimlilik derecelendirmeleri	11
Şekil 2.4: Ulaştırma sektöründe enerji verimliliğinin artırılması	12
Şekil 2.5: Türkiye’de enerji verimliliği konusunda yapılan kamusal ve yasal düzenlemeler	14
Şekil 2.6: Enerji Verimliliği Kanunu madde 7 f fıkrası	15
Şekil 2.7: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 ulaştırma eylemleri..	15
Şekil 2.8: Dünyada 2020 yılı ve 2050 yılı NSE ve IPCC senaryoları için toplam nihai enerji tüketimi	16
Şekil 2.9: Dünyada 2020-2050 yılları arasında farklı sektörler için nihai enerji tüketimi.....	17
Şekil 2.10: Türkiye için baz ve NSE senaryosunda CO ₂ emisyonlarının sektörler için dağılımı ve yıllara göre değişimi.....	18
Şekil 2.11: Dünyada 2020-2050 yılları arasında enerji sektörü nihai enerji talep yoğunluğu.....	18
Şekil 2.12: Dünyada 2020-2050 yılları arasında ulaşım sektörü nihai enerji talep yoğunluğu (NSE).....	19
Şekil 2.13: Dünyada 2020-2050 yılları arasında sanayi sektörü nihai enerji talep yoğunluğu (NSE).....	19
Şekil 2.14: Dünyada 2020-2050 yılları arasında bina sektörü nihai enerji talep yoğunluğu (NSE).....	20
Şekil 3.1: Dünyada 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji tüketimi değişimi	21
Şekil 3.2: Dünyada kaynaklara göre 2020 yılı için toplam birincil enerji tüketimi	22
Şekil 3.3: Dünyada kaynaklara göre 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji tüketimi değişimi.....	23
Şekil 3.4: Dünyada kaynak oranlarına göre 1965-2019 yılları arasında birincil enerji tüketimi değişimi.....	23
Şekil 3.5: OECD ülkelerinde sektörler için 1971-2019 yılları arasında toplam nihai enerji tüketimi değişimi.....	24
Şekil 3.6: Dünyada 1990-2019 yılları arasında toplam sera gazı emisyonu değişimi	25
Şekil 3.7: Dünyada 2006-2020 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu değişimi....	26
Şekil 3.8: Dünyada kaynaklara göre 1970-2020 yılları arasında CO ₂ emisyonu değişimi	27
Şekil 3.9: Dünyada yakıt türlerine göre 2020 yılı için kişi başına düşen CO ₂ emisyonu	27

Şekil 3.10: Dünyada sektörlere göre 1990-2016 yılları arasında CO ₂ emisyonu değişimi	28
Şekil 4.1: Türkiye’de 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji tüketimi değişimi	29
Şekil 4.2: Türkiye’de kaynaklara göre 2020 yılı için birincil enerji tüketimi	30
Şekil 4.3: Türkiye’de kaynaklara göre 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji arzı değişimi	31
Şekil 4.4: Türkiye’de 2019 yılı için yakıt cinsine göre birincil enerji arzı.....	31
Şekil 4.5: Türkiye’de sektörlere göre 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji arzı değişimi	32
Şekil 4.6: Türkiye’de sektörlere göre 2020 yılı için birincil enerji arzı	32
Şekil 4.7: Türkiye’de 2000-2019 yılları arasında toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu değişimi.....	33
Şekil 4.8: Türkiye’de 2000-2019 yılları arasında toplam sera gazı emisyonu değişimi	34
Şekil 4.9: Türkiye’de 2006-2020 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu değişimi.	34
Şekil 4.10: Türkiye’de kaynaklara göre 1970-2020 yılları arasında CO ₂ emisyonu değişimi	35
Şekil 4.11: Türkiye’de sektörlere göre 1990-2019 yılları arasında toplam sera gazı emisyonu değişimi.....	35
Şekil 5.1: Türkiye’de ulaştırma türüne göre 1990-2020 yılları arasında nihai enerji tüketimi değişimi.....	37
Şekil 5.2: Türkiye’de ulaştırma türüne göre 1990-2017 yılları arasında sera gazı emisyonu değişimi.....	38
Şekil 5.3: Yeni Avrupa Sürüş Çevrimine göre, 2007’den 2017’ye Türkiye ve AB’de yeni kayıt altına alınan araçların ortalama CO ₂ emisyonu düzeyleri	40
Şekil 5.4: Türkiye’de 1966-2021 yılları arasında toplam motorlu kara taşıt sayısı değişimi	41
Şekil 5.5: Türkiye’de yakıt türüne göre 2004-2021 yılları arasında trafiğe kayıtlı otomobillerin dağılımı.....	41
Şekil 5.6: Türkiye’de taşıt türüne göre 1970-2020 yılları arasında motorlu kara taşıtlarının dağılımı	42
Şekil 5.7: Türkiye’de 2015-2019 yılları arasında motorlu kara taşıtlarının ortalama gittiği mesafe miktarları	42
Şekil 6.1: Türkiye’de kaynaklara göre 2016-2020 yılları arasında lisanslı elektrik üretiminin dağılımı	44
Şekil 6.2: Türkiye’de kaynaklara göre 2020 için lisanslı elektrik üretimi	44
Şekil 6.3: Türkiye’de kaynaklara göre 2020-2050 yılları arasında elektrik üretimi (%100 yenilenebilir enerjiye geçiş projeksiyonu).....	45
Şekil 6.4: Türkiye’de kaynaklara göre 2030 yılı için 3 farklı elektrik üretimi projeksiyonu	45
Şekil 7.1: Konvansiyonel (İYMA), hibrit (HEA), kablolu hibrit (KHA) ve elektrikli araçlar (EA).....	47
Şekil 7.2: İçten yanmalı motorlu araç sistemi	49
Şekil 7.3: Seri hibrit araç sistemi.....	50
Şekil 7.4: Paralel hibrit araç sistemi	50
Şekil 7.5: Hibrit elektrikli araç yapısı.....	51
Şekil 7.6: Kablolu hibrit elektrikli araç yapısı.....	52
Şekil 7.7: Elektrikli araç yapısı.....	54

Şekil 9.1: Türkiye’de otomobil sayısı gelecek senaryosu	66
Şekil 9.2: Türkiye’de minibüs sayısı gelecek senaryosu.....	66
Şekil 9.3: Türkiye’de otobüs sayısı gelecek senaryosu	67
Şekil 9.4: Türkiye’de kamyonet sayısı gelecek senaryosu	67
Şekil 9.5: Türkiye’de kamyon sayısı gelecek senaryosu	68
Şekil 9.6: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	68
Şekil 9.7: Türkiye’deki minibüslerin %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	69
Şekil 9.8: Türkiye’deki otobüslerin %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	69
Şekil 9.9: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	69
Şekil 9.10: Türkiye’deki kamyonların %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	70
Şekil 9.11: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	70
Şekil 9.12: Türkiye’deki minibüslerin %100 benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini.....	71
Şekil 9.13: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini.....	71
Şekil 9.14: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	72
Şekil 9.15: Türkiye’deki minibüslerin %100 hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	72
Şekil 9.16: Türkiye’deki otobüslerin %100 hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	72
Şekil 9.17: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	73
Şekil 9.18: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 kablolu hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	73
Şekil 9.19: Türkiye’deki minibüslerin %100 kablolu hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini.....	74
Şekil 9.20: Türkiye’deki otobüslerin %100 kablolu hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini.....	74
Şekil 9.21: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 kablolu hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini.....	74
Şekil 9.22: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 hibrit benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	75
Şekil 9.23: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 hibrit benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	75
Şekil 9.24: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	76

Şekil 9.25: Türkiye’deki minibüslerin %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	76
Şekil 9.26: Türkiye’deki otobüslerin %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	77
Şekil 9.27: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	77
Şekil 9.28: Türkiye’deki kamyonların %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	77
Şekil 9.29: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini.....	78
Şekil 9.30: Türkiye’deki minibüslerin %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	78
Şekil 9.31: Türkiye’deki otobüslerin %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	79
Şekil 9.32: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	79
Şekil 9.33: Türkiye’deki kamyonların %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) olduğu kabul edil kullanımı için erek 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	79
Şekil 9.34: Türkiye’deki otomobillerin %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	80
Şekil 9.35: Türkiye’deki minibüslerin %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	80
Şekil 9.36: Türkiye’deki otobüslerin %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	80
Şekil 9.37: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	81
Şekil 9.38: Türkiye’deki kamyonların %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	81
Şekil 9.39: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre 2025 yılından itibaren %50 benzin yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini.....	82
Şekil 9.40: Türkiye’deki minibüslerin 2025 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini.....	82

Şekil 9.41: Türkiye’deki otobüslerin 2025 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	83
Şekil 9.42: Türkiye’deki kamyonetlerin 2025 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	83
Şekil 9.43: Türkiye’deki kamyonların 2025 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	83
Şekil 9.44: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre 2035 yılından itibaren %50 benzin yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	84
Şekil 9.45: Türkiye’deki minibüslerin 2035 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	84
Şekil 9.46: Türkiye’deki otobüslerin 2035 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	85
Şekil 9.47: Türkiye’deki kamyonetlerin 2035 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	85
Şekil 9.48: Türkiye’deki kamyonların 2035 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	85
Şekil 9.49: Türkiye’deki otomobillerin farklı yakıt kullanımı gelecek senaryolarına (EA, HEA ve KHEA) göre 2015-2050 yılları arasında toplam CO ₂ emisyonu tahmini	86
Şekil 9.50: Türkiye’deki otomobillerin farklı yakıt kullanımı gelecek senaryolarına (EA, HEA ve KHEA) göre 2015-2050 yılları arasında araç başına CO ₂ emisyonu tahmini	86
Şekil 9.51: Türkiye’de otomobil için toplam CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	87
Şekil 9.52: Türkiye’de otomobil için araç başına CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	87
Şekil 9.53: Türkiye’de minibüs için toplam CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	88
Şekil 9.54: Türkiye’de minibüs için araç başına CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	88
Şekil 9.55: Türkiye’de otobüs için toplam CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	89
Şekil 9.56: Türkiye’de otobüs için araç başına CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	89
Şekil 9.57: Türkiye’de kamyonet için toplam CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	90
Şekil 9.58: Türkiye’de kamyonet için araç başına CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.	90

Şekil 9.59: Türkiye’de kamyon için toplam CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	91
Şekil 9.60: Türkiye’de kamyon için araç başına CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	91
Şekil 9.61: Türkiye’de günümüzde ve gelecek otomobil sayısı tahminleri.	92
Şekil 9.62: Türkiye’de otomobil için toplam CO ₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması	93



TÜRKİYE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDE KARBONDİOKSİT EMİSYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE GELECEK PROJEKSİYONLARI

ÖZET

Fosil yakıtların aşırı ve dengesiz şekilde kullanımı ile sera gazı (SG) emisyonları gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde Türkiye’de ulaştırma sektöründe kullanılan araçların büyük kısmı içten yanmalı motorlu araçlar (İYMA) olmaktadır. Enerjini verimli kullanmak ve emisyon miktarının azaltılması için hibrit araçlar (HA) ve elektrikli araçlara (EA) geçiş yapılması önemlidir.

Bu çalışmada Türkiye’deki farklı araç entegrasyon projeksiyonları dikkate alınarak, İYMA, HA ve EA’ların 2015-2050 yılları arasında CO₂ emisyonları tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Taşıt sayıları regresyon analizi ile bulunarak, 2015-2050 yılları arasında üreteceği CO₂ emisyonlarının 5 temel senaryo grubuna göre projeksiyonları yapılmıştır. Temel senaryolar olarak; (1) %100 İYMA, (2) %100 HA, (3) %100 EA, (4) %50 İYMA ve %50 EA ve (5) farklı oranlarda İYMA, HA ve EA dikkate alınmıştır. Temel gruplar için taşıt türüne göre alt senaryo projeksiyonları yapılmıştır.

İlk aşamada çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemi ile Türkiye’deki taşıtların gelecek sayıları tahmin edilmiştir. 2050 yılı için otomobilde en yüksek CO₂ emisyonu 45,45 MtCO₂ (Senaryo 1B), en düşük CO₂ emisyonu 3,69 MtCO₂ (Senaryo 3B) olacaktır. Aynı şekilde minibüste en yüksek 3,63 MtCO₂ (Senaryo 1B), en düşük 0,42 MtCO₂ (Senaryo 3B) olacaktır. Otobüste en yüksek 10,06 MtCO₂ (Senaryo 1A), en düşük 0,57 MtCO₂ (Senaryo 3B) olacaktır. Kamyonette en yüksek 14,83 MtCO₂ (Senaryo 1A), en düşük 1,81 MtCO₂ (Senaryo 3B) olacaktır. Kamyonda en yüksek 40,13 MtCO₂ (Senaryo 1A (EURO 6)), en düşük 3,72 MtCO₂ (Senaryo 3B) olacaktır. Diğer aşamada ise çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile Türkiye’deki otomobillerin gelecek sayıları tahmin edilmiştir. 2050 yılı için otomobilde en yüksek CO₂ emisyonu 53,18 MtCO₂ (Senaryo 1B), en düşük CO₂ emisyonu 4,32 MtCO₂ (Senaryo 3B) olacaktır.

Elde edilen sonuçlar ve grafikler ayrıntılı olarak sunulmuş ve açıklanmıştır. İYMA’ların yerine HA ve EA’ların kullanımı ile CO₂ emisyon miktarının düşmesi beklenirken kullanılan elektriğin üretim şekline göre CO₂ emisyon değerinin değiştiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ulaştırma sektörü, Sera gazı emisyonları, CO₂ emisyonu, Motorlu kara taşıtları, Regresyon analizi.

EVALUATION OF CARBON DIOXIDE EMISSION IN TURKEY

TRANSPORT SECTOR AND FUTURE PROJECTIONS

SUMMARY

The excessive and unbalanced use of fossil fuels increases greenhouse gas (GHG) emissions day by day. Today, most of the vehicles used in the transportation sector in Turkey are internal combustion engine vehicles (ICEV). It is important to replace to hybrid vehicles (HV) and electric vehicles (EV) in order to use energy efficiently and reduce the amount of emissions.

In this study, it is aimed to estimate the CO₂ emissions of ICEV, HV and EVs between the years 2015-2050, considering the different vehicle integration projections in Turkey. The number of vehicles was found by regression analysis, and the projections of the CO₂ emissions to be produced between 2015-2050 were made according to 5 basic scenario groups. As basic scenarios; (1) 100% ICEV, (2) 100% HV, (3) 100% EV, (4) 50% ICEV and 50% EV, and (5) different rates of ICEV, HV and EV were taken into account. For the main groups, sub-scenario projections were made according to the type of vehicle.

In the first stage, the future numbers of vehicles in Turkey were estimated using the multiple linear regression analysis method. For 2050, the highest CO₂ emissions in the car will be 45,45 MtCO₂ (Scenario 1B), the lowest CO₂ emissions will be 3,69 MtCO₂ (Scenario 3B). Likewise, in the minibus will be the highest 3,63 MtCO₂ (Scenario 1B) and the lowest 0,42 MtCO₂ (Scenario 3B). In the bus will be the highest 10,06 MtCO₂ (Scenario 1A), the lowest 0,57 MtCO₂ (Scenario 3B). In the small truck will be the highest 14,83 MtCO₂ (Scenario 1A) and the lowest 1,81 MtCO₂ (Scenario 3B). In the truck will be the highest 40,13 MtCO₂ (Scenario 1A (EURO 6)), the lowest 3,72 MtCO₂ (Scenario 3B). In the other stage, the future numbers of car in Turkey were estimated by using the multiple nonlinear regression analysis method. For 2050, the highest CO₂ emissions in car will be 53,18 MtCO₂ (Scenario 1B), the lowest CO₂ emissions will be 4,32 MtCO₂ (Scenario 3B).

Obtained results and graphs are presented and explained in detail. While the amount of CO₂ emissions is expected to decrease with the use of HV and EVs instead of ICEVs, it has been observed that the CO₂ emission value changes according to the type of electricity used.

Keywords: Transportation sector, Greenhouse gas emissions, CO₂ emissions, Motor vehicles, Regression.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ateşin keşfi ile insanlar enerji kaynaklarını kullanmaya ve onları korumaya başlamıştır. Enerji kullanımı insan hayatını kolaylaştırmış ve onların refah düzeylerinin artmasında büyük önem arz etmiştir. İnsanlık enerjinin bu gücüyle tanışınca yeni enerji kaynakları aramaya çalışmış ve bu enerji kaynaklarını daha verimli kullanmak için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Sanayi Devrimi'nden sonra insanlığın gelişmesi için en önemli ihtiyaç enerji olmuştur. Sanayi Devrimi ile birlikte enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların tüketimi artmıştır. Sanayi devrimi, sanayileşme ve kentleşmeyi harekete geçirdi. Sanayileşme ise ekonomiyi sosyal ve ekonomik modernleşmeye doğru yönlendirdi [1]. Bunun sonucunda fosil yakıt tüketimi hızlı bir şekilde büyüdü ve önemli miktarlarda sera gazları, özellikle CO₂ emisyonu üretildi [2]. Fosil yakıtların bu şekilde kullanılması ve üretilen sera gazı (SG) emisyonları sonucu küresel ısınma gibi büyük çevre sorunlarını oluşturdu.

Dünya enerji ihtiyacının %87'lik kısmını fosil yakıtlar karşılamaktadır. Artan nüfus ve onu karşılamak için kritik seviyeye ulaşan petrol rezervleri, 2017 yılı itibariyle yaklaşık 1,7 trilyon olup, yeni keşiflerin yapılması ile 2040 yılına kadar fosil yakıtların kullanımı öngörülmektedir [3]. Bazı ülkeler fosil kaynak bakımından enerji zengini olmasına rağmen diğer ülkeler fosil kaynak bakımından fakirdir. Örnek olarak, Katar, Irak, Rusya, Azerbaycan, Kazakistan gibi ülkeler fosil kaynak bakımından zengin ülkeler olarak kabul edilebilir [4]. Dünya genelinde birçok ülke fosil kaynak bakımından zengin değildir. Türkiye için de son yıllar bulunan doğal gaz rezervlerine rağmen fosil kaynak zengini bir ülke olduğunu söyleyemeyiz.

Enerji kullanımında hidrojen, güneş, rüzgar, hidroelektrik, nükleer ve b. gibi diğer enerji kaynakları da mevcuttur. Yenilenebilir kaynakların kullanımının artmasına rağmen yapılan çalışmalar sonucu enerji tüketiminde fosil kaynak kullanımı uzun bir süre devam edecektir [5]. Fosil enerji kaynakları dışındaki enerji kaynaklarının kullanım teknolojileri

ya gelişmemiştir ya da kısıtlı olarak bir yönde gelişmiştir. Örnek olarak, hidrojen kaynaklı enerji daha çok uzay araçlarında kullanılmaktadır. Çünkü hidrojen hafif olup ancak çok güçlü bir uzay aracı yakıtıdır. Günümüzde bazı karayolu taşıtlarında da hidrojen yakıt kullanılmaktadır ancak bu tür yakıtlı taşıtlar için en büyük sorun altyapı eksikliğidir. Bunun başlıca sebebi ise hidrojenin depolanmasının zor olmasıdır.

Enerjinin avantajlarıyla tanışan insanoğlu, ilk başlarda bu fosil kaynakları bilinçsiz şekilde fazla kullanmıştır. Artan nüfus ve yeni teknolojiler ile fosil kaynak kullanımı da büyük ölçüde artmıştır. Bu fazla kullanılan kaynakların, kullanımı sırasında oluşturabileceği sorunlar hiç gözönüne alınmamıştır. Lakin o zamanlar ortaya çıkan sorunları günümüzde kolayca görebilmekteyiz. Fosil kaynakların kullanımı sonucu çıkan CO₂, CO, SO₂, SO, NO_x (NO, NO₂, N₂O ve d.) ve diğer gazlar iklim değişikliği, küresel ısınma, asit yağmurları, ormansızlaşma, insan ve hayvanlarda bazı hastalıklar gibi bir çok sorunlara neden olmaktadır. 1990 yılından bu yana sera gazı ve hava kirletici emisyonların azaltılması bağlamında sürdürülebilir kalkınma konusunda bir dizi çalışma yapılmıştır [6]. Özellikle, fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan CO₂ gazı ilk başta tehlikeli görülmesi de, günümüzde çok fazla CO₂ salınımının olması, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin başlıca nedeni olarak gösterilmektedir. CO₂ gazı başlıca SG'dir ve atmosferde sera etkisi yaratarak canlılık için gereken sıcaklığı dünyamızda sağlamaktadır. Yani bu miktarın doğal nedenler ile (Volkan püskürmesi, orman yangınları ve diğ.) artması doğal bir süreçtir. Ancak fosil kaynakların kullanımı ile atmosfere salınan SG'nin miktarı bu süreci hızlandırmaktadır. Bununla da günümüzde sıcaklık miktarı çok fazla artmaktadır. 2015 yılında küresel ortalama sıcaklığı 2 °C'nin altında tutmak için 189 ülke tarafından onaylanan Paris İklim Anlaşması kabul edildi [7]. Küresel ortalama sıcaklığı 1,5 °C ile sınırlamak için kümülatif emisyonları 420 ila 580 GtCO₂'nin altında tutulması öngörülmektedir [8].

Fosil kaynakların tükenebilir olması ve onların kullanımı sonucu çıkan zararlı gazların yaşam için tehlikeli olması nedeniyle bu kaynakların daha verimli kullanılması ve başka alternatif kaynaklara olan ilgiyi arttırmıştır. 1970 petrol krizi de enerjinin nasıl daha verimli kullanılabilir olması ile ilgili çalışmaların başlanılmasına sebep olmuştur [9]. Enerjinin verimli kullanılması ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için günümüzde tüm sektörlerde bir çok çalışmalar yapılmakta ve uygulanmaktadır.

Dünyada ve Türkiye’de enerji tüketiminin yaklaşık 1/4’ini ulaştırma sektörü karşılamaktadır [10] [11]. Ulaştırma sektörü denince insan, mal hizmet veya unsurların yer değiştirmesi anlaşılmaktadır. Ulaştırma sektörü, ekonominin ulaştırma ile ilgili işlerle ilgilinen bölümüdür. Ulaştırma sektörü bir çok ülkelerin sosyal, beşeri, ekonomik ve başka durumlarına dolaylı yada doğrudan bir çok etkisi olmaktadır. Ulaşımında daha çok fosil yakıtlar kullanıldığı için ulaştırma sektörü ekonomik başarısı genellikle petrol fiyatlardan etkilenmektedir.

Günümüzde ulaşımda (karayolu, havayolu, denizyolu ve demiryolu) daha çok fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Ancak fosil kaynakların zararları ve tükünebilir olduğu için yeni teknolojiler için çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynakları bulunmaya çalışılmaktadır. Bu sebeple motorlu kara taşıtlarında içten yanmalı motorlu araçların (İYMA) yerini hibrit araç (HA), elektrikli araç (EA) ve hidrojen yakıtlı araçlar gibi çevre dostu araçlar almaya başlamıştır [12]. Hem CO₂ emisyonunu düşürmek, hem de fosil kaynakların tükenebilirliği nedeniyle, EA’ların İYMA’ların yerini ala bilmesi için teşvikler ve Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları yapılmaktadır [13]. Bu konuda yapılan çalışmalar literatür özetlenerek aşağıda verilmektedir:

Logan ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada Birleşik Krallık (BK) ve Çin ulaştırma sektörünün gelecek emisyon değerleri İYMA ve EA’lar için bulunarak karşılaştırılmıştır [14]. Bu analizde elektrik üretimi için iki farklı senaryo kullanılarak otomobiller için 3 senaryo modellenerek BK ve Çin için yıllara göre toplam emisyonlar bulunmuştur: (1) %100 İYMA, (2) %100 EA; ve (3A) 2030’dan 50:50 İYMA ve EA; (3B) 2040’dan 50:50 İYMA ve EA. Sonuç olarak, 2017 ve 2050 yılları arasında toplam emisyonlar (1) için Çin’de % 56 ve BK’da ise %91 azaldığı, (2) için Çin’de % 55 ve BK’da ise %92 azaldığı ve (3) için Çin’de %10 arttığı ve BK’da ise %43 azaldığı bulunmuştur.

Logan ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada BK’ın net sıfır emisyon (NSE) ulaşma hedefi hakkında bilgi vermek için basit bir OPEM’in (Operation Emission Model) bir yaşam döngüsü analizi (LCA) TEAM-UK (Transport Energy and Air Pollution Model) yaklaşımı ile karşılaştırmalarını incelenmiştir [15]. 3 araç senaryosunda TEAM-UK ve OPEM kullanılarak 2017 ve 2050 yılları arasında İYMA ve EA’lardan kaynaklanan CO₂ emisyonu bulunarak karşılaştırıldı. Senaryolar: Senaryo 1 %100 İYMA, Senaryo 2 2040’tan yasaklanan yeni İYMA ve Senaryo 3 2030’tan yasaklanan yeni İYMA. OPEM

Senaryo 1’de %19 daha fazla emisyon tahmin etildi, Senaryo 2 ve Senaryo 3’de ise farklar küçük bulundu.

Brand ve Anable tarafından yapılan çalışmada yeni benzinli ve dizel araçlara satış yasakları uygulayarak farklı senaryolara göre emisyon değişimi bulunmuş ve karşılaştırılmıştır [16]. BK 2040 yılını hedef yılı seçerken, başka ülkeler daha zorlu hedef yılları seçmektedirler. Norveç ve Paris 2025, Almanya 2030, İskoçya ise 2032 yılını hedef yılı olarak seçmiştir. 2040 hedef yılındaki yasaklar ile daha iddiasız olmasına karşın, diğer yasaklarda ise sosyo-ekonomik düzende bazı yıkıcı değişiklikler gerektirecektir.

Güzel ve Alp tarafından çalışmada Türkiye’nin en kalabalık ve en fazla araca sahip olan şehri İstanbul için 2016-2050 yılları arasında SG emisyonları modellenmiştir [11]. Bu amaçla, teknoloji açısından zengin olan ve ekonomik model olan TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) kullanılmıştır. Çalışmada 3 farklı senaryo kullanılmıştır: elektrikli raylı ulaşım ile ilgili çalışmalar yapılan Senaryo 1, EA ve HA kullanılan Senaryo 2 ve sınırlı CO₂ emisyonları Senaryo 3. Sonuçlar 2050 yılında toplam SG İstanbulda senaryo 1 için %1,1, senaryo 2 için %11 ve senaryo 3 için ise %39 azaldığı bulunmaktadır.

Danyang ve Wenyang tarafından yapılan çalışmada Global TIMES modelini kullanılarak sıvı yakıtlı araçların ortadan kaldırılması olası etkileri senaryoları modellenmiştir [10]. Bu yasakların küresel ulaşım sektörünün enerji tüketiminin ve CO₂ emisyonlarının 2050 değerlerinin bulunmasını sağladı. Enerji tüketimi ve doğrudan karbon emisyonları 2050’de SSP2’ye (Shared Socioeconomic Pathways version 2.0) göre %54,1 ve %84,8 azalacaktır. EA’ların yüksek verimliliği nedeniyle, ikame sonrasında karayolu taşımacılığının küresel ortalama enerji yoğunluğu belirgin bir şekilde azalacaktır.

Kosai ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada İYMA, EA, HA ve yakıt hücreli araçlar için üretim aşamasındaki mazeme yapıları ve işletme aşamasındaki yakıt tüketimi açısından yaşam döngüsü kuyudan tekerleğe (WTW) araç verimliliği analiz edilmiştir [17]. Çeliğin alüminyum ile değiştirilmesi sonucu araç ağırlığı ve yakıt tüketimi değerlendirildi. Son olarak da 2020-2050 yılları arasında Japonya’da enerji verimliliği (EV) genel yaşam döngüsü WTW araç EV tahmin edildi.

Brand tarafından yapılan “çalışma sosyo-ekonomik ve politik etkilerden, yaşam döngüsü, karbon ve yerel hava kirletici emisyonları ve dış maliyetlere kadar bir dizi ulaşım, enerji

ve çevre konularını kapsayan stratejik bir ulaşım, enerji, emisyon ve çevresel etki sistemleri modelidir [18]. TEAM, ulaşımında enerji kullanımı ve kirletici emisyonlarını, yolcu ve yük taşımacılığı türleri için yıllık ulaşım arz ve talebi tahminlerini sağlar. 2100 yılına kadar her yıl için enerji kullanımını, kirletici emisyonları ve çevresel etkileri hesaplanmaktadır.

Peng ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada EA'ların yaşam döngüsü modeli enerji tüketiminin ve seragazi emisyonlarının bulunması için modellenmiştir [12]. Makalede akülü EA ve HA ile İYMA'ların SG emisyonları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, EA'ların SG emisyon azalımı İYMA'lara kıyasla daha az (%30-%80) olmaktadır.

Brand ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada ulaştırma sektörünün daha iddialı karbon emisyonu azaltma hedeflerine katkıda bulunma ihtiyacına odaklanılmaktadır [19]. Emisyon ve çevresel etkiler modeli olan UKTCM (United Kingdom Transport Carbon Model) kısa vadeli ve uzun vadeli tahmin senaryo modelleri arasındaki boşluğu kapatmaktadır. Çalışmada 3 tek politika ve 1 politika paketi senaryolarının sonuçları gösterilmektedir. Sonuç olarak model, değişken zaman aralıklarında farklı politikalarının hangisine öncelik verilmesi ile ilgili bilgi verebilmektedir.

Brand ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada NSE'ya ulaşmak için daha hırslı olsaydık etkilerin nasıl olacağını, iklim hedeflerine ulaşmak için ne kadar bozulmaya ihtiyaç olduğunu, yaşam tarzının ve sosyal değişimin rolünü ve olası sonuçları araştırmak için BK vaka çalışmasında yerleşik modelleme teknikleri ve olası senaryo analizlerini kullanılmaktadır [20]. Politikalar karbon azaltmada ve Paris anlaşması hedeflerini sağlamaktadır. Çalışmada bulunun sonuç daha iddialı politikalar ile istenen hedeflere ulaşılabilirliğini bulmaktadır.

Wang ve diğerleri tarafından yapılan TMOTEC (Transportation Mode-Techonology-Energy-CO₂) modeli kullanan çalışmada, Çin'in ulaştırma sektöründe enerji tüketimi ve CO₂ emisyonlarındaki azalmaların senaryo analizi yapılmıştır [21]. Sonuçlar, referasyon senaryosunda Çin için 2050 yılı ulaşımından kaynaklanan toplam enerji tüketimi 636 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) ve CO₂ emisyonları ise 1602 MtCO₂ olarak bulunmuştur. Kapsamlı kalkınma senaryosunda, Çin için 2045 yılı ulaşımından kaynaklanan toplam enerji tüketimi 497 milyon TEP ile zirve yapmaktadır ve CO₂ emisyonları 2040 ile 245 yılları arasında 1129 MtCO₂ olarak zirve yapmaktadır.

Teixeira ve Sodre tarafından yapılan çalışmada EA'ların akıllı şebekeye dahil edilmesinin enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir [22]. Sonuçlar gösteriyor ki, EA'ların oluşturduğu CO₂ emisyonu İYMA'ların oluşturduğu CO₂ emisyonlardan 10-26 kat daha fazla olacaktır. Ek olarak, elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını da hesaba kattığımızda bulunuyor ki, yine İYMA'lara oranda daha az CO₂ emisyon değerleri olacaktır.

Peng ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada yerel ekonomik kalkınma, nüfus ve politikaları göz önünde bulundurarak, Çin'in karayolu taşımacılığındaki gelecekteki enerji talebini ve SG emisyonlarını eyalet düzeyinde tahmin etmek için model oluşturulmuştur [23]. Sonuçlar, Çin'in motorlu kara taşıt sayısı 2050 yılında 543 milyona yükselmeye devam edecektir. 2050 yılı toplam petrol talebi 508 milyon TEP ve SG emisyonları ise 1500 MtCO₂ olarak bulunmuştur.

Logan ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada dört ulusal şebeke elektrik senaryosu altında 2017 ve 2050 yılları arasında geleneksel yakıtlı, elektrikli ve hibrit otobüslerden üretilen CO₂ emisyonları karşılaştırılması yapılmıştır [24]. Ek olarak, otobüs başına maksimum 80 yolcu ve kişisel araç başına 4 yolcu kabul edilerek geleneksel, elektrikli ve hidrojen yakıtlı otobüsler için farklı araç kapasitelerinde kişi başına emisyonlar bulunmuştur. Sonuçlar, konvansiyonel otobüsler 2050 yılına kadar kişi başına 16,3 gCO₂/km ürettiğini gösterdi. %100 kapasiteli iki dereceli senaryoda 2050 yılı için konvansiyonel otobüslerin emisyon değerleri elektrikli otobüslerden 36 kat, hidrojen yakıtlı otobüslerden 9 kat ve elektrikli otobüslerden ise 12 kat daha fazla olarak bulunmuştur.

Kutucu tarafından yapılan tez çalışmasında hanehalklarının mevcut araçlarını enerji verimli araçla değiştirmeleri durumunda oluşacak geri sekme etkisi hesaplanarak elde edilen sonuçlar iki farklı gelir grubu için karşılaştırılmıştır [5]. Çalışmada 4. %20'lik ve 5. %20'lik gelir grubunda bulunan hanehalkları için doğrudan geri sekme etkisi ortalama olarak %12 olarak bulunmuştur. 4. %20'lik ve 5. %20'lik gelir grubunda bulunan hanehalkları için dolaylı geri sekme etkisi sırası ile %18,5 ve %32 olarak bulunmuştur. Çalışma sonucu enerji verimli araçların Türkiye için adaptasyonunda geri sekme etkisinin oluşacağını göstermektedir.

Cirit tarafından yapılan tez çalışmasında Markal-Türkiye enerji modeli kullanılmıştır. Ve Türkiye’de 2006-2051 yılları arasında ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları bulunmuştur [25]. Karayolu, demiryolu, denizyolu, demiryolu ve havayolu için araştırma yapılmıştır. Çalışmada 3 senaryo grubuna göre CO₂ emisyonlarını analiz edilmiştir. Senaryo grupları ise 2 alternatif 1 baz olmak üzere kurgulanmıştır. Bütün bu durumların kombinasyonlarından oluşan 27 senaryo oluşturularak birbirileriyle karşılaştırılmıştır.

Tokgöz tarafından yapılan tez çalışmasında taşıt emisyonları kaynaklı hava kirletici emisyonlar tanıtılmıştır [26]. HA ve EA’lara geçiş süreci ile daha az CO₂ emisyon değerlerine ulaşılabileceği tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda %26 ile %56 arasında değişen CO₂ emisyonu kazanımı ve diğer hava kirleticilerinin şehir içi ve şehir dışı emisyon değerleri arasındaki farklar bulunmuştur.

Yeşil tarafından yapılan tez çalışmasında toplu taşımadaki EA’ların önemine yer verilmiştir [27]. Elektrikli tahrik sistemleri daha verimli ve çevre açısından fosil yakıtlı sistemlere göre az kirletici emisyon değerlerine sahiptir. Çalışmada batarya teknolojisi, araç türleri hakkında bilgiler verilerek dünyada ve İzmir özelinde yapılan saha çalışmalarının çevresel etkileri ve verimlilik açısından dizel tahrik sistemli araçlar ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Trofimenko ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada Rusya’da karayolu ulaştırma sektörü için 2050 yılına kadar olan enerji tüketimi ve SG emisyonları tahmin edilmiştir [28]. Çalışmada 3 senaryo (atalet, yenilikçi ve "1.5 derece") kullanılmıştır. Sonuç olarak, gaz silindirli, EA ve HA’ların rus motorlu araç filosu payındaki artış nedeniyle petrol yakıt tüketiminin 2050 yılına kadar önemli ölçüde azalması beklenmektedir. 2050 yılı benzin yakıtlı araçların azalması yakıt tüketimi yenilikçi senaryoda 5,4 kat, "1.5 derece" senaryoda ise 13,6 kat daha az yakıt tüketecektir. Araç filosundaki dizel araç sayısındaki olası artış nedeniyle, tahmin döneminde dizel yakıt tüketimindeki düşüş yenilikçi senaryoda % 12, "1.5 derece" senaryosunda ise 1,7 kat azalacaktır. Atalet ve yenilikçi senaryoların uygulanmasıyla gaz motorlu araç için yakıt tüketimi sırasıyla 4,31 ve 6,2 kat önemli artış bekleniyor.

Modaresi ve diğerleri tarafından yazılan makalede 2050 yılına kadar binek otomobillerinde kullanılan çelik ve alüminyum endüstrilerinden kaynaklanan SG

emisyolları tahmin ediliyor [29]. Makalede 2010-2050 yılları arasında geleneksel elik yerine farklı oranlarda yüksek mkavimimli elik ve alüminyum ile değiştirerek 4 farklı emisyon senaryosu önerilmektedir. Sonuç olarak, 2010-2050 yılları arasında binek otomobillerinin hafifletilmesi ile 9-18 GtCO₂ emisyonu tasarruf edileceği tahmin edilmiştir.

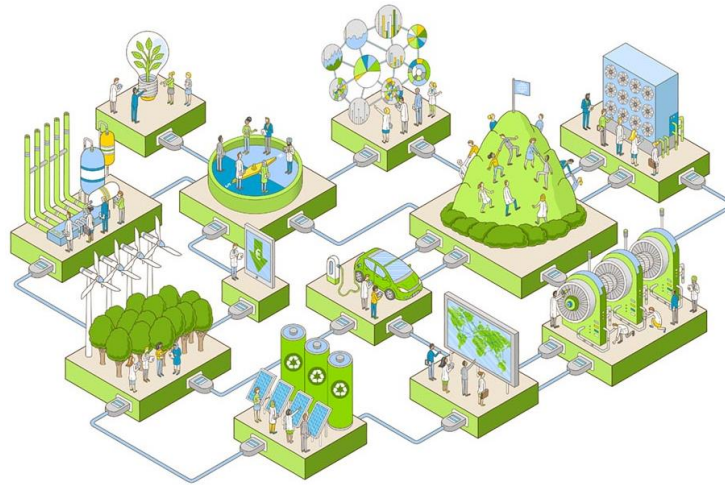
Bu çalışmanın amacı; Türkiye'deki taşıtların sayısını iki farklı aşamada tahmin ederek taşıtların farklı yakıt türü senaryoları için CO₂ emisyonunu tahminlerine göre hangi yakıt türünün CO₂ emisyonu miktarının gelecekdeki taşıtlar için uygun olduğunu incelemektir. Bu kapsamda ilk aşamada Türkiye için otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyon sayıları çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemi yapılarak bulunmuş ve bu taşıtların CO₂ emisyonlarının 2015-2050 yılları arasında projeksiyonları yapılmıştır. Diğer aşamada ise Türkiye için sadece otomobil sayıları çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi yapılarak bulunmuş ve aynı şekilde otomobillerin CO₂ emisyonlarının 2015-2050 yılları arasında projeksiyonları yapılmıştır. Son olarak elde edilen CO₂ emisyonu tahminleri sonucu yakıt trnnn CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

BÖLÜM 2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜ

“Energeia” kelimesinden türetilen “Enerji” kelimesi köken olarak Yunanca olup, “etki eden kuvvet” manasındadır. Türk Dil Kurumuna (TDK) göre enerji, “maddede var olan, ısı, ışık biçiminde ortaya çıkan güç, erke” olarak, “Verimlilik” kelimesi ise “verimkârlık, verimli olma durumu ve mübitlik” olarak tanımlanmaktadır [9]. Enerji verimliliği (EV), ekonominin enerji maliyetlerinin azaltılmasını, enerjideki arz güvenliğinin sağlanmasını, dış kaynaklarla ilişkili risklerin hafifletilmesini, çevrenin korunması gibi ulusal amaçları ve düşük karbonlu ekonomiye geçişi sağlayan alandır [30]. Enerji yoğunluğu, bir birim hasıla ürün üretebilmek için kullanılan enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır [5].

TDK’ye göre “Ulaştırma” kelimesi “İnsanların, malların, haberlerin ulaşmasını sağlayan işlerin ve araçların tümü”, “Sektör” kelimesi ise “Aynı işi yapan topluluk” anlamına gelmektedir [31].

Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) raporuna göre NSE’ya (net sıfır emisyon) giden yolda temel adım taşlarından biri de EV’dir. Şekil 2.1’de temiz enerji kaynakları, tasarruflu elektrik güç sistemleri, araçlar için piller, altyapı ve diğer konuları kapsayan raporun planı verilmiştir [32].



Şekil 2.1: Net sıfır emisyona ulaşmak için gerekli olan enerji verimliliği uygulamalarının görünümü [32].

EV, temel olarak aynı hizmetleri daha az enerji tüketimi ile elde etmenin yanı sıra, bu hizmetleri sağlamak için çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarını kullanmakla da ilgilidir [33]. Ulaştırma sektöründe de enerjinin verimliliğinin sağlanması önemlidir. Çünkü, ulaştırma sektöründe kullanılan araçların büyük bir kısmında fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmaktadır.

2.1. Dünyada Enerji Verimliliği

İnsanlık için enerji her zaman başlıca temel ihtiyaç olmuştur. İnsanoğlunun enerji ile tanıştıktan sonra, ilk önce amacı enerjiyi nasıl elde edeceği ve elde ettiği enerjiyi nasıl kullanacağı olmuştur. Daha sonraki dönemlerde ise bu enerjinin daha verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Enerji kullanımında ana öge olan enerji kaynakları, dünya genelinde ülkelere göre eşit olarak dağılmamıştır. Bu eşitsizlikler, ülkeleri hem farklı enerji kaynakları arayışlarına hem de ki mevcut enerji kaynaklarının daha verimli kullanabilecekleri yönünde araştırmalara yöneltmiştir.

EV, dünyadaki birçok ülkelerin iklim ve enerji konularındaki planlanan hedeflerine ulaşması açısından kritik bir konuma sahiptir. EV dünya genelindeki ülkelerin iklim değişikliği ve çevre olaylarıyla ilgili taahhütlerini yerine getirebilmek için geliştirilen uygun maliyetlerin en başında gelmektedir. EV'in çevre açısından olumlu olduğu gibi başka ekonomik ve sosyal yararları da vardır. EV'in fayda sağladığı alanlar Şekil 2.2'de verilmiştir [34].

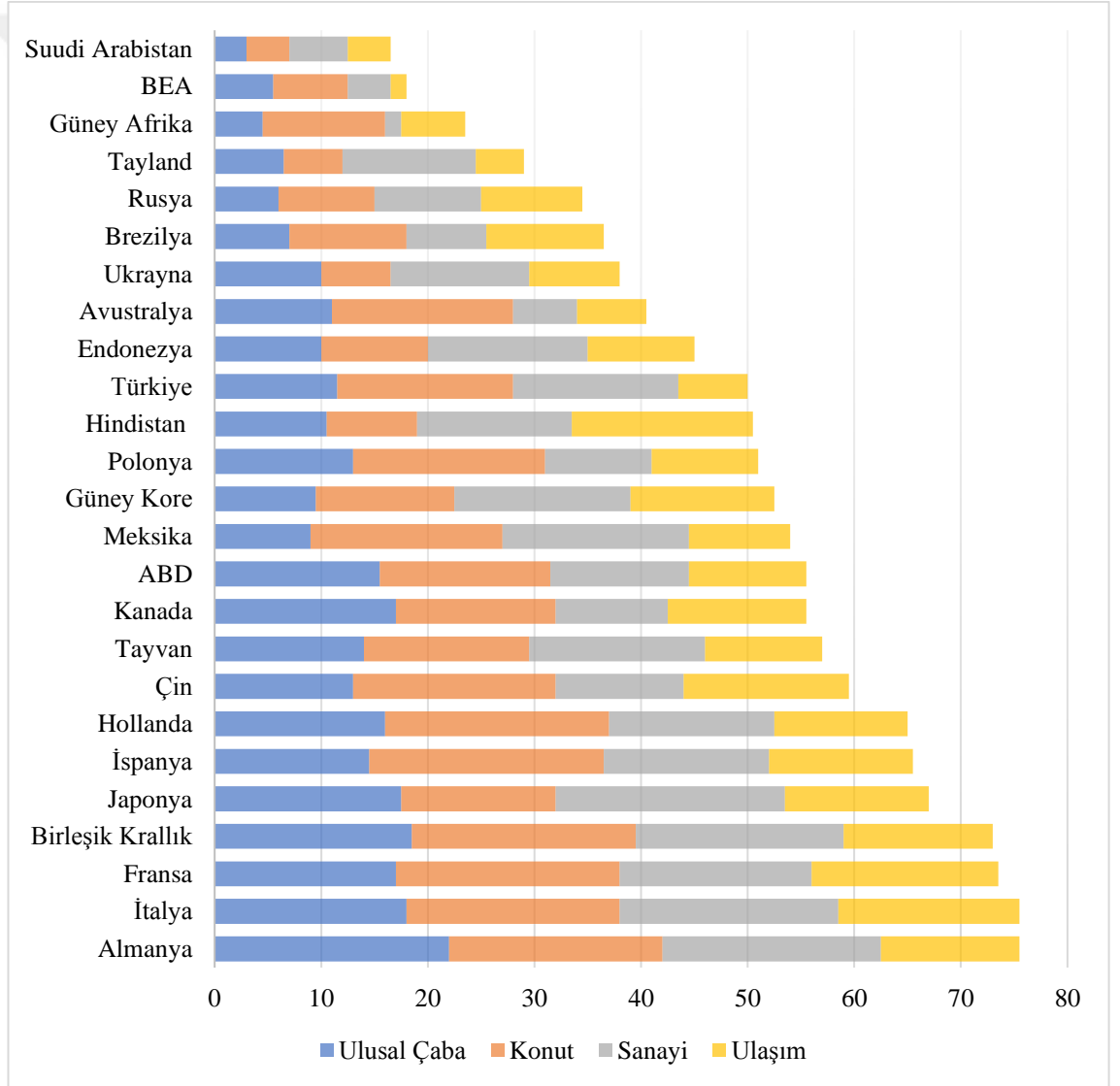


Şekil 2.2: Enerji verimliliğinin fayda sağladığı alanlar [34].

Dünyada EV çalışmaları, 1970'li yıllarda meydana çıkan petrol krizi ile bağlantılı olarak artan enerji fiyatları ile gündeme gelmiştir. Batı ülkeleri ve Japonya ilk EV stratejilerini

geliştirmeye ve uygulamaya başlayan ülkelerdir. Artan enerji talebi sonucunda, 1980’li yıllardan itibaren EV politikaları birçok ülkelerin kalkınma politikalarında üst sıralarda yer almaya başlamasıyla, önemini daha da arttırmıştır. Örnek olarak, 2016 yılından itibaren Almanya Avrupa’da EV alanın da kararlı politikalar uygulamaktadır. Almanya’nın 2050 yılı hedefine ulaşması için EV’i her yıl %2,1 artırması gerekmektedir. Ancak Almanya’nın 1990 yılından beri EV ortalaması %1,8’dir [9].

American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEE) raporunda ülkelerin enerji verimlilikleri dereceleri 100 üzerinden puanlandırılmıştır. Şekil 2.3’te 2018 yılı için EV alanında çalışma yapan başlıca ülkelerin enerji verimlilik dereceleri verilmiştir.



Şekil 2.3: Farklı sektörlere göre ülkelerin enerji verimlilik derecelendirmeleri (2018) [35].

Şekil 2.3'te Ulusal çaba- enerji yoğunluğu değişimini, EV'e yapılan yatırımları, enerji tasarruf hedefleri, vergi indirimlerini, EV konusundaki Ar-Ge (Araştırma ve Geliştirme) harcamalarını ve veri ulaşılabilirliğini içermektedir. Konut- cihaz ve donanım standartlarını, imar yönetmeliğini, bina güçlendirmelerini, binaların enerji yoğunluğunu göstermektedir. Sanayi- sanayi sektöründeki enerji yoğunluğunu, enerji yönetimini teşvik eden politikalarını, kullanılan ekipmanların minimum verimlilik standartlarını, zorunlu enerji denetimlerini ve Ar-Ge yatırımlarını ifade etmektedir. Ulaşım- yakıt verimliliği standartlarını, kişi başına düşen araç kullanımını, yük taşımacılığındaki enerji yoğunluğunu, toplu taşıma kullanımını, kara yolu ve demir yolu yapılan yatırımlarını göstermektedir. Şekil 2.3'e baktığımızda sıralamada gelişmiş ülkeler başlarda yer almaktadır. 2018 yılı için puan olarak Almanya ve İtalya 75,5 puan ile en verimli ülkeler olarak görülmektedir. Türkiye ise 50 puan ile 16. sırada yer almaktadır [34].

2.2. Dünyada Ulaştırma Sektöründe Enerji Verimliliği

Ulaştırma sektöründe EV üç farklı düzeyde teşvik edilebilir: sistem verimliliği, seyahat verimliliği ve araç verimliliği. Ulaştırma sektöründe EV'in artırılması için gerekli olan veriler Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: Ulaştırma sektöründe enerji verimliliğinin artırılması [36].

Sistem verimliliği, ulaşım talebinin nasıl oluşturulduğuyla ilgilidir. Kişi başına enerji tüketimi şehir yoğunluğu ile ters orantılıdır. Yapılan araştırmalarda, şehir yapılarının ve altyapıların ulaşım talebini etkiledikleri belirlenmiştir. Enerji verimli taşımacılıkta trafik hacminin azaltılması da önemlidir. Arazi kullanım planlaması, seyahat mesafesinin azaltılması (trafikten kaçınma) için, yerleşim ve üretim yapılarının konumlandırılması optimize edilmelidir. Yüksek sistem verimliliği için karma kullanımlara sahip yoğun bir kentsel yapı esastır. Çünkü böyle yapılar daha kısa seyahat mesafelerini ve kara yolu taşımacılığında şekil değişikliklerini (daha verimli ulaşım; yürüme, bisiklet ve toplu taşıma) içermektedir.

Seyahat verimliliği, farklı ulaşım türlerinin enerji tüketimi ile ilgilidir. Seyahat verimliliğinin ana parametreleri, farklı ulaşım araçlarının orantılı üstünlüğü ve araçların yük faktörüdür. EV'yi artırmanın en etkili yolu, yolcuları toplu taşıma ve motorsuz araçlar gibi daha verimli ulaşım biçimlerini kullandırmaya teşvik etmektir. Kentsel alanlarda yolcu taşımacılığının büyük kısmı 5 km'nin altındadır. Bu nedenle bu tür durumlarda insanları yürüyerek veya bisikletle gitmeye teşvik etmek için çeşitli tedbirler uygulanabilir. Daha uzun mesafelerde toplu taşıma alternatif olarak kullanılabilir. Toplu taşıma kullanımının artırılması otobüs ve trenlerde daha yüksek doluluk oranları ile EV'yi artıracaktır.

Araç verimliliği- Araçların km başına düşen yakıt tüketimini azaltılması araç verimliliklerini artırmaktadır. Bu, teknoloji ve tasarım iyileştirmeleri ile yapılabileceği gibi, verimli sürüş teknikleri ile de araç verimliliğinin artırılması mümkündür. Önlemler üç kategoride toplanabilir: mevcut araçların iyileştirilmesi, yeni yakıt planları ve yeni araba planlarının geliştirilmesi [36].

2.3. Türkiye’de Enerji Verimliliği

Türkiye fosil enerji kaynağı bakımından zengin bir ülke değildir. Onun için de Türkiye yeni enerji kaynakları aramakta ve mevcut enerjinin verimli şekilde kullanılmasıyla enerjinin sürdürülebilirliğini sağlamaya çalışmaktadır. Türkiye’de EV sağlamak için devlet bazında birçok düzenlemeler yapılmıştır. Şekil 2.5’te Türkiye’de EV alanında yapılan kamusal ve yasal düzenlemeler verilmiştir.

2007	• 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu
2008	• Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği • Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Ulusal ve Esaslar Hakkında Yönetmelik
2010	• Türkiye İklim Değişikliği Strateji Belgesi
2011	• Enerji Kaynaklarının ve Enerji Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik
2012	• Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023
2013	• Onuncu Kalkınma Planı (Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı)
2017	• Milli Enerji Maden Politikası • Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
2018	• Enerji Verimliliği Denetim Yönetmeliği

Şekil 2.5: Türkiye’de enerji verimliliği konusunda yapılan kamusal ve yasal düzenlemeler [34].

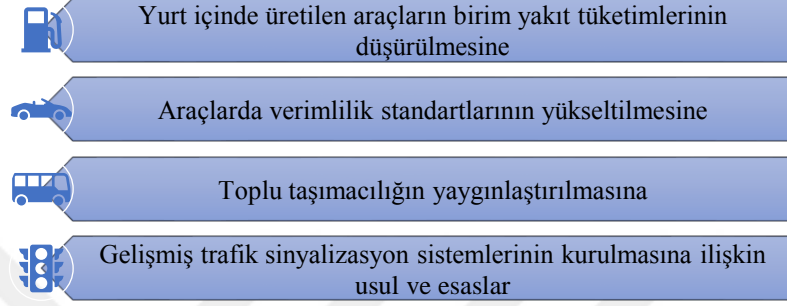
Türkiye’de EV konusunda ilk defa yasal düzenleme 2007 yılında 5627 numaralı Enerji Verimliliği Kanunu (EVK) kabulü ile başlanılmıştır. Bu EVK’nın amacı, enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır. EVK’a göre birçok alanda (sanayi, bina ve ulaştırma) enerjinin verimli şekilde kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanması için birçok uygulamalar kabul edilmiştir.

Türkiye EV alanında yapılan önemli çalışmalardan biri de Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) olmaktadır. Bu eylem planı 2017-2023 yıllarını kapsayan Türkiye’nin birinci EV eylem planı ve EV alanında ulusal hedeflere ulaşmak için atılacak adımları ve onların etkilerini içeren bir çalışmadır. Enerji kaynakları verimli bir şekilde ve çevresel bakımdan daha doğru şekilde kullanılması ile amacı ile bu eylem planı hazırlanmıştır. Türkiye’de 2017-2023 yılları arasında birincil enerji tüketimi kümülatif olarak 23,9 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) enerji tasarruf edilmesi UEVEP’a göre gerçekleşecektir [30].

2.4. Türkiye’de Ulaştırma Sektöründe Enerji Verimliliği

2020 verilerine göre diye biliriz ki, Türkiye’de birincil enerji tüketiminin %18’i ulaştırma sektöründen kaynaklanmaktadır. Onun için Türkiye, devlet çapında ulaştırma sektöründe

de enerjinin verimliliğinin sağlanmasına çalışılmaktadır. 2007 yılında kabul edilen EVK ile ulaştırma sektörü EV’i arttırmak için ilk adımlar atılmıştır. Ulaşımında EV’in artırılması ile ilgili olarak Şekil 2.6’daki düzenlemeler Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ile müşterek hazırlanarak, Ulaştırma Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulacak yönetmelik ile düzenlenmiştir.



Şekil 2.6: Enerji Verimliliği Kanunu madde 7 f fıkrası [37].

Türkiye’de ulaşırmada EV konusunu bir bütün olarak ele alan, inceleyen ve çözümler sunan UEVEP’da, sürdürülebilirliği sağlamak ve EV’i teşvik etmek amacıyla ulaştırma sektörüne yönelik 9 eylem yer almaktadır. UEVEP 2017-2023 yılları ulaştırma sektörü eylemleri Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 ulaştırma eylemleri [30].

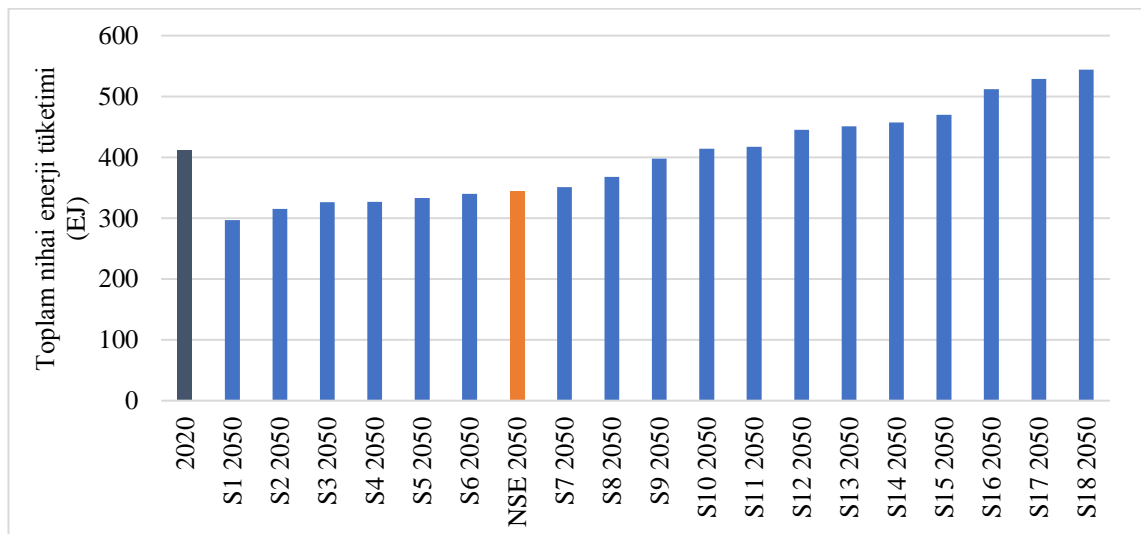
U1 (Enerji verimli araçların özendirilmesi) ve U2 (Alternatif yakıtlar ve yeni teknolojilerle ilgili karşılaştırılmalı çalışmanın geliştirilmesi) eylemleri ulaştırma sektörü UEVEP'nin önemli eylemlerindedir. U1 planı ile EV yüksek, emisyon seviyesi düşük, çevre dostu, küçük motor hacimli, elektrikli, hibrit ve yakıt pilli araçlara vergi avantajları sağlayarak, U2 planı ile ise alternatif yakıt kullanan veya yeni teknoloji araçları yaygınlaştırarak ulaştırmada EV'yi sağlayabiliriz.

Bu çalışmada da bu iki eylem planına göre yapıldığını söyleyebiliriz. Kısaca hibrit ve tamamen elektrikli araçlar kullanarak enerjinin verimliliğini sağlayarak, daha düşük emisyon seviyesi elde etmek planlamaktadır.

2.5. Net Sıfır Emisyon Raporu

IEA tarafından enerjinin daha verimli kullanılması için NSE senaryosu yapılmıştır. IEA'nın raporunda küresel enerji sektörünün 2050 yılına kadar NSE'ya nasıl ulaşabileceği araştırılmıştır. Bu senaryoya göre 2050 yılında dünyada küresel enerji talebi günümüzdekenden %8 daha düşük olacaktır ancak 2 kat daha büyük ekonomiye ve 2 milyar daha fazla nüfusa sahip olacaktır.

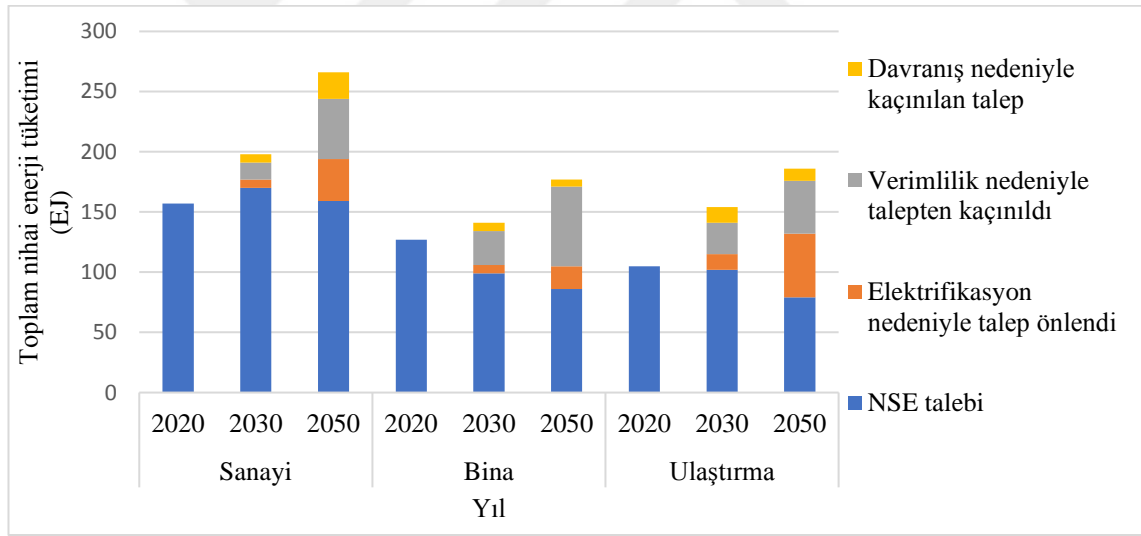
EV'in sağlanması için Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) NSE senaryosuna benzer veya ondan daha iddialı başka senaryolar yapmıştır. Şekil 2.8'de 2020 ile 2050 yılı senaryoları (NSE senaryosu ve IPCC senaryoları) göre nihai enerji tüketimi değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.8: Dünyada 2020 yılı ve 2050 yılı NSE ve IPCC senaryoları için toplam nihai enerji tüketimi [38].

Sanayide, binalarda ve ulaşımda EV önemi büyük olduğu için NSE senaryosu CO₂ emisyonların azalmasında büyük katkısı olabilir. Dünya genelinde EV politikaları şimdiden sonuç vermektedir. 2000 yılı ile bugün arasında Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Avrupa ve Çin de yeni binaların m² başına ortalama ısıtma ve soğutma talebi %40'tan daha fazla azalmıştır.

EV sağlayacak etkenlerden biri elektrifikasyondur. Örnek olarak, km başına EA'lar (elektrikli araç) İYMA'lara (içten yanmalı motorlu araç) göre %70 daha az enerji tüketmektedir. Hızlı elektrifikasyon ve teknoloji verimlilikleri uygulayarak 2050 yılında ortalama bir binek otomobili günümüze göre 4 kat ve ortalama bir ağır kamyon ise 3 kat daha verimli olacaktır. NSE senaryosunda, akülü, elektrikli ve yakıt hücreli kamyonların satışları, 2030 yılına kadar genel kamyon pazarının %50'sinin üzerine çıkması hedeflenmektedir. Şekil 2.9'da dünya için sektörlere göre NSE senaryosunun toplam nihai enerji tüketimi verilmiştir.

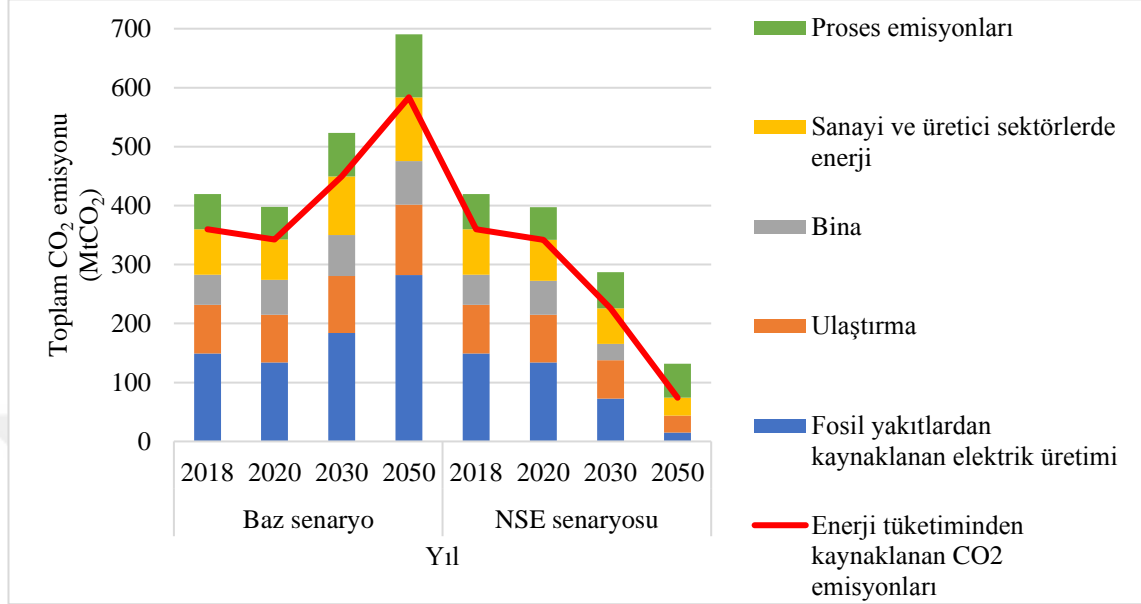


Şekil 2.9: Dünyada 2020-2050 yılları arasında farklı sektörlere göre nihai enerji tüketimi (NSE)[39].

2030 ve 2050 yılları arasında, küresel ekonominin enerji yoğunluğu, NSE senaryosuna göre yılda yaklaşık olarak %3 oranında iyileşmektedir. Bu, 2010 ve 2020 ortalama iyileşme oranlarından %70 daha hızlıdır.

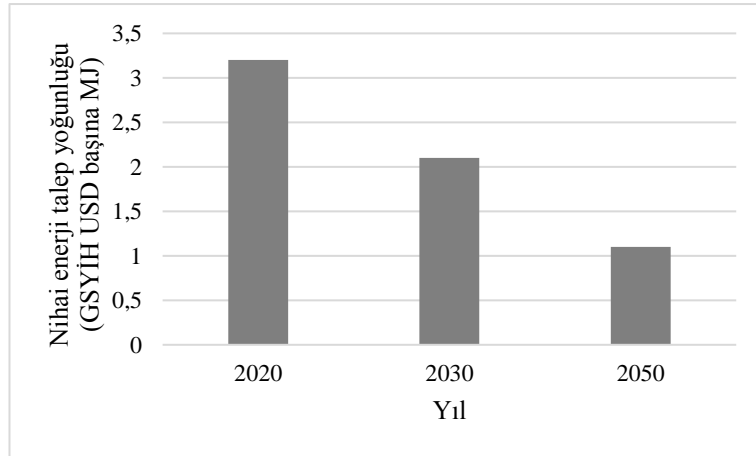
Türkiye NSE senaryosu uygulandığında CO₂ emisyonu 2020 yılından itibaren azalmaya başlayacaktır. Tüm sektörlerden kaynaklanan CO₂ emisyonu 2030 yılında 225 MtCO₂ olarak %37, 2050 yılında 74 MtCO₂ inerek %80 azalacaktır [40]. Şekil 2.10'da

Türkiye’de baz ve NSE senaryolarına göre toplam CO₂ emisyonları 2018-2050 yılları arasında sektörlere göre verilmiştir.



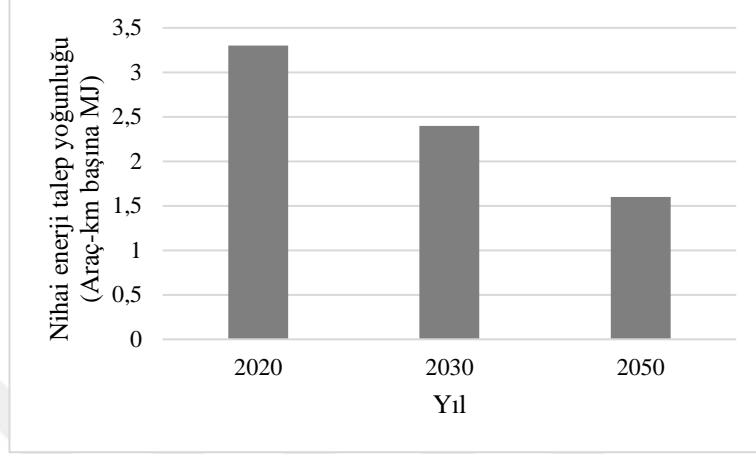
Şekil 2.10: Türkiye için baz ve NSE senaryosunda CO₂ emisyonlarının sektörlere göre dağılımı ve yıllara göre değişimi (2018-2050) [40].

Enerji sektörünün nihai enerji talep yoğunluğuna göre dünya için NSE senaryosu Şekil 2.11’de verilmiştir. Bu verilere göre nihai enerji talep yoğunluğu, 2020 yılından 2030 yılına göre %33,7, 2050 yılına göre ise %65,6 azalmıştır.



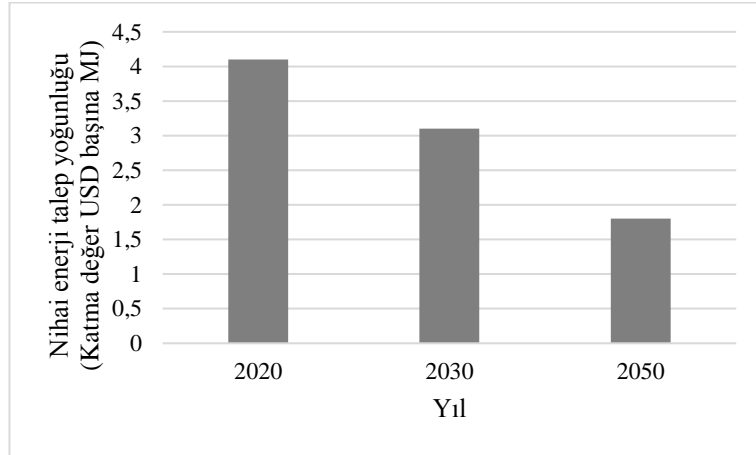
Şekil 2.11: Dünyada 2020-2050 yılları arasında enerji sektörü nihai enerji talep yoğunluğu (NSE) [39].

Ulaştırma sektörünün nihai enerji talep yoğunluğuna göre dünya için NSE senaryosu Şekil 2.12'da verilmiştir. Bu verilere göre nihai enerji talep yoğunluğu 2020'den 2030'a göre %27,27, 2050'ye göre ise %51,5 azalmıştır.



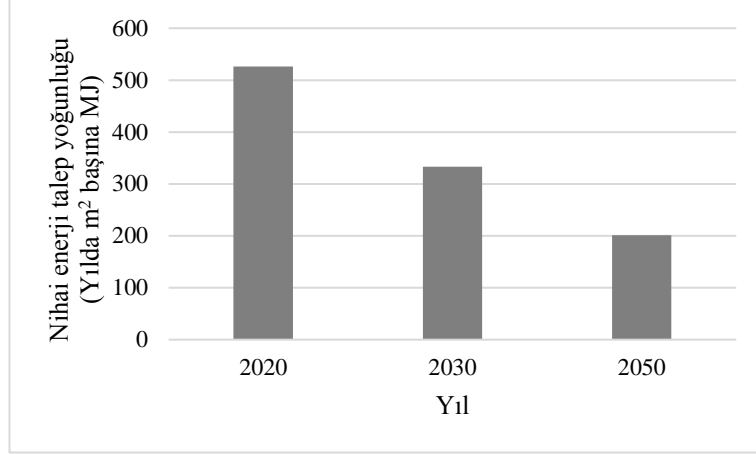
Şekil 2.12: Dünyada 2020-2050 yılları arasında ulaşım sektörü nihai enerji talep yoğunluğu (NSE) [39].

Sanayi sektörünün nihai enerji talep yoğunluğuna göre dünya için NSE senaryosu Şekil 2.13'te verilmiştir. Bu verilere göre de nihai enerji talep yoğunluğu 2020 yılından 2030 yılına göre %24,4, 2050 yılına göre ise %56,1 azalmıştır.



Şekil 2.13: Dünyada 2020-2050 yılları arasında sanayi sektörü nihai enerji talep yoğunluğu (NSE) [39].

Bina sektörünün nihai enerji talep yoğunluğuna göre dünya için NSE senaryosu Şekil 2.14'te verilmiştir. Bu verilere göre nihai enerji talep yoğunluğu 2020'den 2030'a göre %36,7, 2050'e göre ise %61,8 azalmıştır.



Şekil 2.14: Dünyada 2020-2050 yılları arasında bina sektörü nihai enerji talep yoğunluğu (NSE) [39].

NSE senaryosu ile uzun vadede ekonomik büyümeyi sağlarken enerji talebini azaltmak için on yılda bir büyük Ar-Ge çalışmaları yapılması gerekmektedir. Bu senaryoya göre 2030 yılı ortalarında dünya çapında satılan neredeyse tüm cihazların, klimaların, endüstriyel elektrik motorların verimlilikleri bugünkü en verimli modeller kadar verimli olması beklenmektedir. Ancak Ar-Ge çalışmalarına devam edildiğinde teknolojinin ve sistem performanslarının gelişmeye devam etmesi, daha fazla kazanç sağlayacaktır. Örnek olarak, hidrojen yakıt dönüşümünde, hidrojen elektrolizörlerinin ortalama dönüşüm verimliliği bugün %65 iken 2050’de bu değer %75’e kadar çıkmaktadır. Bu iyileştirme tek başına 2050 yılı için küresel elektrik talebinin neredeyse 2000 TWh kadar azaltmaktadır. Bu değer, ABD’nin toplam elektrik talebinin yarısına eşdeğerdir.

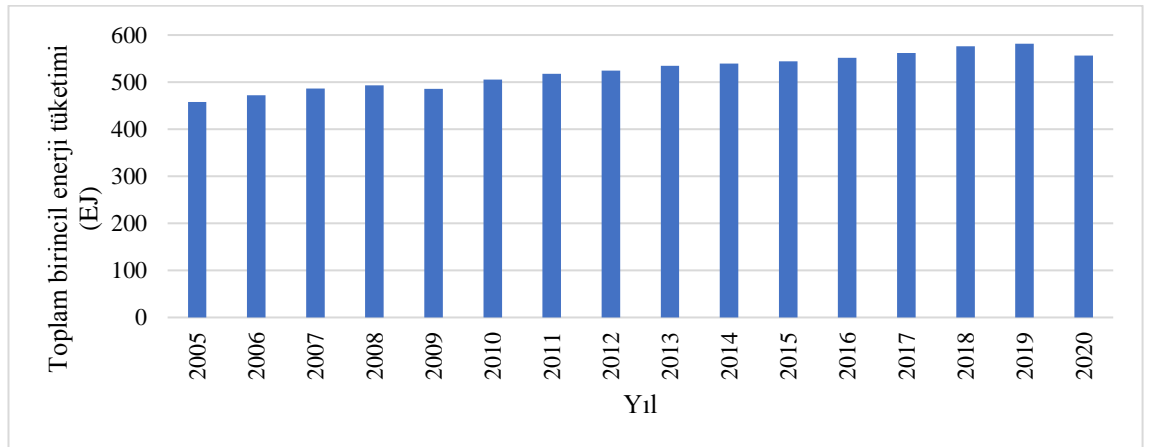
NSE senaryosuna göre dijitalleşme de EV’i iyileştirmede kilit bir rol oynamaktadır. 2050 yılına kadar birçok ev, ofis ve endüstriyel tesisler, enerji talebinin optimize edilmesini sağlayan akıllı kontroller, sensörler ve yapay zekâ iletişim ağlarıyla birbirine bağlanacaktır. Arabanızın gece vakti, her kes uyurken şarj edilmesini bu duruma örnek gösterilebilir. Tek başına bina sektöründe dijitalleşme ve akıllı kontroller kullanılarak, 2050’ye kadar CO₂ emisyonunu 350 MtCO₂ azaltılması beklenmektedir [39].

BÖLÜM 3. DÜNYADA ENERJİ TÜKETİMİ VE EMİSYONLAR

3.1. Dünyada Enerji Tüketimi

Enerji, insanlığın her döneminde önemini koruyarak gelişen teknolojiler, artan nüfus ve diğer faktörler sonucu yıllar itibariyle tüketimi artmıştır. Dünya ülkeleri enerjiye olan ihtiyaçlarını ödeye bilmek için farklı kaynaklar kullanmaktadırlar. Artan uluslararası fosil enerji tüketimi sonucu aşırı miktarda CO₂ emisyonları üretilmektedir. İklim değişikliği ve hava kirliliği sorunları dünya çapında endişe kaynağıdır. 2018’de küresel enerji tüketimi 2010’daki ortalama büyüme oranının yaklaşık olarak 2 katı kadar artmıştır [41].

Britanya Petrol (BP) istatistik raporlarına göre dünyada toplam birincil enerji tüketimi 2005 yılında 458 EJ (1 Exajoules=10¹⁸ Joules) iken, 2019 yılında ise 581,5 EJ’a yükseldiği raporlanmıştır. Bu verilere göre dünyada toplam birincil enerji tüketimi %26,95 artmıştır. 2020 yılında meydana çıkan COVID-19 (Korona virüs hastalığı 2019) salgını farklı enerji alanlarında çarpıcı bir etkisi olmuştur. İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra gerçekleşen en büyük birincil enerji tüketimi düşüşü 2020 yılında gerçekleşmiştir. 2020 yılı birincil enerji tüketimi 2019 yılına oranda %4,27 azalmıştır. Dünya için toplam birincil enerji tüketimi 2005-2020 yılları arasında değerleri Şekil 3.1’de verilmiştir.

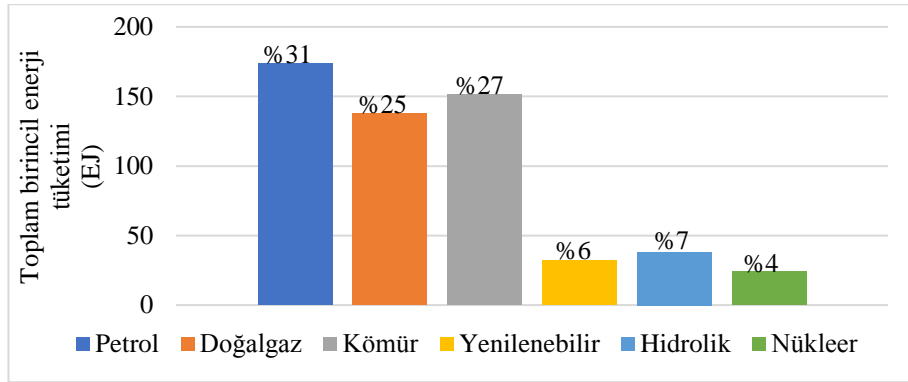


Şekil 3.1: Dünyada 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji tüketimi değişimi [42], [43].

Dünya birincil enerji tüketimindeki en büyük pay Çin'e aittir. 2020 yılı birincil enerji tüketimi Çin'de 145,46 EJ olarak hesaplanmıştır. Bu da toplam birincil enerji tüketiminin yaklaşık olarak %26'sına tekabül etmektedir. Çin'den sonra ikinci sırada 87,79 EJ enerji tüketimi ile ABD (Amerika Birleşik Devletleri) gelmektedir. Daha sonra Hindistan (31,98 EJ), Rusya (28,31 EJ), Japonya (17,03 EJ), Kanada (13,63 EJ), Almanya (12,11 EJ), İran (12,03 EJ), Brezilya (12,01 EJ), Güney Kore (11,79 EJ), Suudi Arabistan (10,56 EJ) gelmektedir. Diğer ülkelerin birincil enerji tüketimi 10 EJ altındadır.

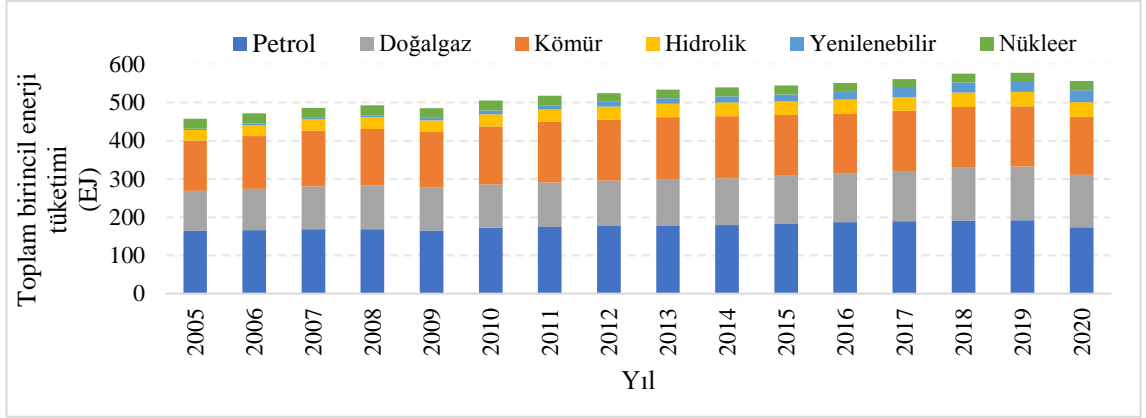
3.2. Dünyada Kaynaklara Ve Sektörlere Göre Enerji Tüketimi

2020 yılında dünyada petrol, doğal gaz, kömür, yenilenebilir, hidrolik ve nükleer gibi kaynaklar kullanılarak 556,63 EJ birincil enerji tüketilmiştir. Fosil kaynak olarak petrol, doğal gaz ve kömür toplam enerjinin %83'üne eşittir. Kalan %17'lik kısım ise yenilenebilir, hidrolik ve nükleer enerji kaynakları oluşturmaktadır. 2020'de birincil enerji tüketiminde tüketilen fosil yakıtlar içinde en büyük payı, %31 ile petrol almaktadır. Şekil 3.2'de 2020 yılı için tüketilen birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre miktarı verilmiştir [42].



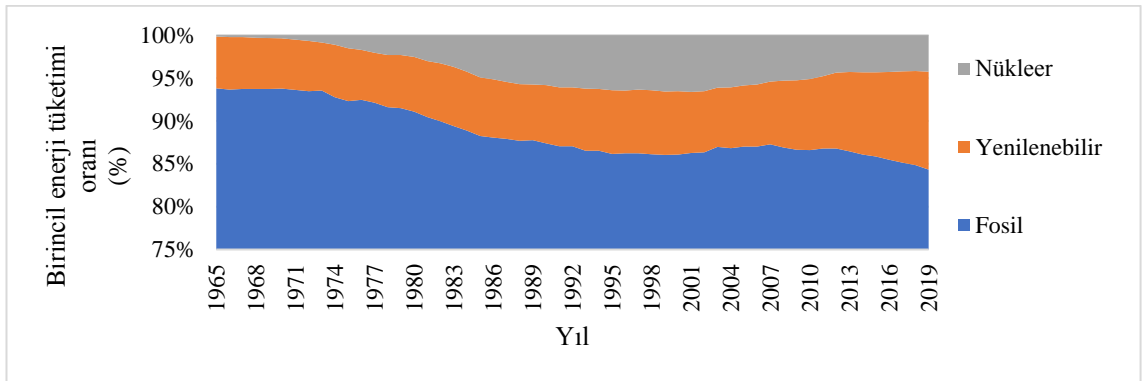
Şekil 3.2: Dünyada kaynaklara göre 2020 yılı için toplam birincil enerji tüketimi [42].

Dünyada birincil enerji tüketimi yıllar itibariyle arttığı için bu tüketimi sağlayan kaynakların da tüketim miktarı artmaktadır. 2005-2020 yılları arasında birincil enerji tüketimlerini kaynaklara göre karşılaştırdığımızda en çok artan %37,8 ile hidrolik kaynak olmuştur, nükleer enerji ise bu yıllara göre %8,57 azalmıştır. Şekil 3.3'te 2005-2020 yıllarında kaynaklara göre enerji tüketimi gösterilmiştir [42], [43].



Şekil 3.3: Dünyada kaynaklara göre 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji tüketimi değişimi [42], [43].

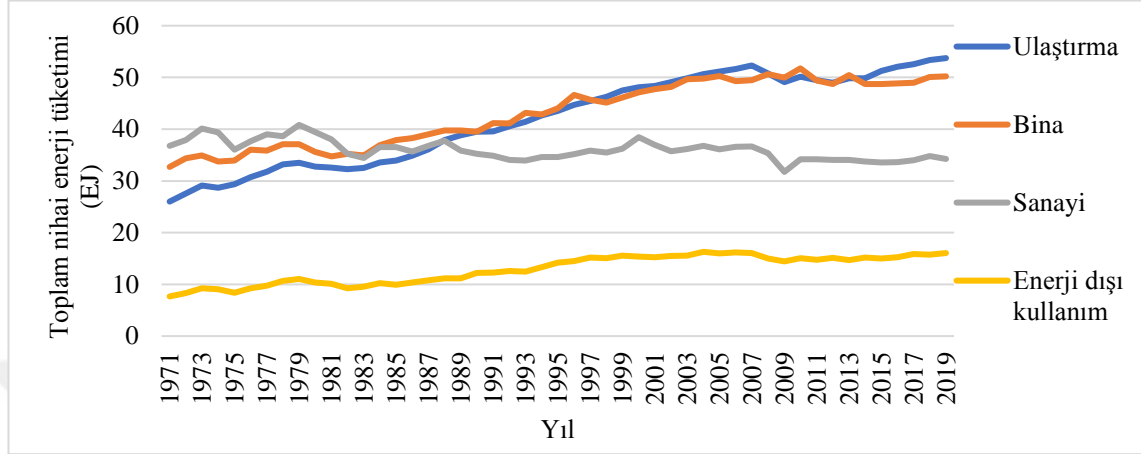
Dünya birincil enerji tüketiminde tüm zamanlarda en çok kullanılan kaynaklar fosil kaynaklar olmuştur. XX yüzyılda kolay bulunması ve yakıt olarak daha verimli olması nedeniyle fosil kaynaklar daha çok enerji tüketiminde kullanılmıştır. Bu nedenle 1965 yılında enerji tüketiminin yaklaşık %93'nü fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Sonraki yıllar itibariyle, hem petrol krizi hem de çevresel faktörlere göre fosil yakıtların kullanımını azaltılması istenmesi nedeniyle 2019 yılında %84'e kadar gerilemiştir. Buna karşın yenilenebilir kaynak kullanımı artış göstermiştir. 1965 yılında yenilenebilir kaynak kullanımı %6,04 iken 2019 yılında ise %11,41'e kadar artmıştır. Şekil 3.4'te dünyada 1965-2019 yılları arasında kaynaklara göre birincil enerji tüketimi yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 3.4: Dünyada kaynak oranlarına göre 1965-2019 yılları arasında birincil enerji tüketimi değişimi [44].

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkelerinde nihai enerji tüketimi ulaşırma, bina ve sanayi sektörlerine göre ele alınmıştır. 1971 yılında 26 EJ olan ulaşırma sektörü 2019 yılında 53,73 EJ olarak en büyük artış göstermiştir. Bina

sektöründe de nihai enerji tüketimi artmıştır. Ancak sanayi sektöründe 1971 yılı 36,8 EJ iken 2019 yılında 34 EJ değerine kadar gerilemiştir. Şekil 3.5'te OECD ülkelerinde 1971-2019 yılları arasında kaynaklara göre nihai enerji tüketimi verilmiştir [45].



Şekil 3.5: OECD ülkelerinde sektörlere göre 1971-2019 yılları arasında toplam nihai enerji tüketimi değişimi [45].

3.3. Dünyada Sera Gazı Emisyonları

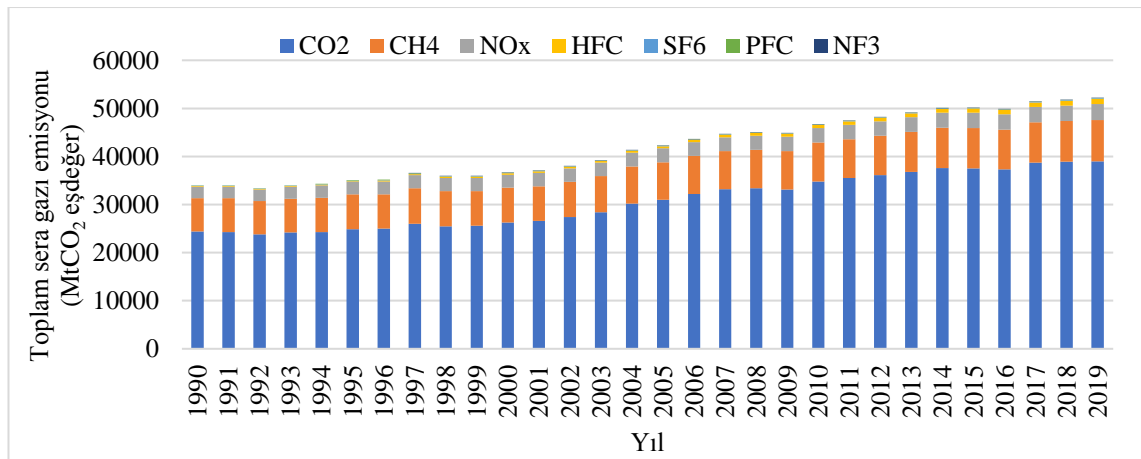
Fosil kaynakların kullanımı sonucu birçok gazlar ortaya çıkmaktadır. Bu gazların büyük kısmını sera gazları (SG) oluşturmaktadır. Su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), ozon (O₃), azot oksitleri (NO_x), kloroflorokarbonlar (CFC) ve hidroflorokarbonlar (HCFC) gibi birçok gazlar SG'leridir. Bu gazlar sayesinde, dünya için gereken sıcaklık sağlanmaktadır. Normalde, güneşten dünyaya gelen ışınların bir kısmı atmosfer tarafından geri yansıtılırken diğer bir kısmı ise SG'leri sayesinde sera etkisi oluşturmaktadır. Sera etkisi sayesinde dünyada yaşam için gereken sıcaklıklar sağlanmaktadır. Yeryüzünün orta sıcaklığı +15° C'dir. Ancak bu gazlar olmasaydı, sera etkisi olmadığından dolayı sıcaklık -18° C olacaktır.

Bu olayın doğal olay olmasına karşın günümüzde fosil kaynakların çok fazla kullanımı sonucu bu gazların atmosferdeki miktarını arttırmaktadır. Bunun sonucunda meydana gelen daha yoğun sera etkisi ise daha çok güneş ışını saklayarak, dünya sıcaklığının artmasına yol açmasıyla küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel ısınma da, iklim değişikliği sorununu ortaya çıkarmaktadır.

Küresel ısınma ile iklim değişikliği kavramları bazen karıştırılmaktadır. Küresel ısınma, dünyanın ortalama sıcaklığının artması ile, iklim değişikliği ise yerel bir bölgedeki mevsimsel sıcaklığın, yağışın ve nemin oranlarının değişmesi ile oluşmaktadır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinde (BMİDÇS) iklim değişikliği için “bir zaman periyodunda beklenen doğal iklim değişikliğine ilave olarak insan faaliyetleri sonucu doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşiminin bozulması sonucu iklimde oluşan değişiklikler anlaşılmaktadır” şeklinde tanım verilmiştir. Kısaca küresel ısınma, her zaman iklimde bir değişikliğine sebep olur ancak her iklim değişikliğinin kaynağı küresel ısınma değildir [46].

İklim değişikliği, son yıllarda küresel ölçekte en önemli sorunlardan biridir. IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) tarafından 2019 yılında yayınlanan Dünya Enerji Görünümü (WEO) raporuna göre mevcut politikalar ile devam ettiğimizde birincil enerji talebi 2040 yılına kadar yıllık %1,3 oranında artması ile SG'ları kesintisiz bir şekilde artması beklenmektedir [11].

Dünya sera etkisine, su buharından (%36-%70) sonra en çok katkısı olan CO₂ gazı (%9-%26) küresel ısınmanın 3/4'nün sorumlusudur. Diğer SG'ları (NO_x, SF₆, CO ve b.) ise kalan kısmı oluşturmaktadır. Diğer SG emisyon birimleri CO₂ eşd. (CO₂ emisyon eşdeğeri) veya metrik ton CO₂ terimlerine dönüştürerek basitleştirilmiştir. Şekil 3.6'ta toplam SG emisyonları verilmiştir.



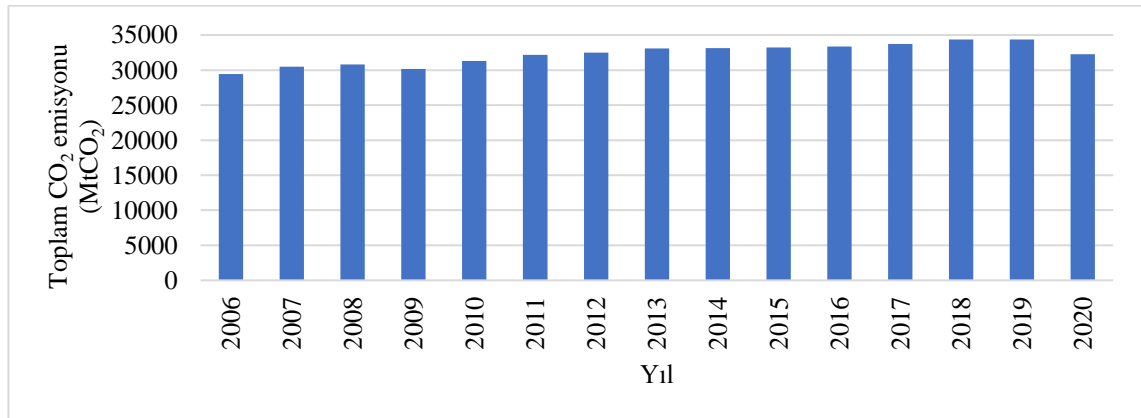
Şekil 3.6: Dünyada 1990-2019 yılları arasında toplam sera gazı emisyonu değişimi [47].

SG'ları karşılaştırıldığında görülüyor ki, diğer SG'ları, CO₂'den çok daha güçlü sera etki potansiyeli vardır. Ancak bu gazların daha düşük değerde salındığı ve atmosferi daha hızlı

terk ettiği için dünyadaki sera etkisinin oluşumunda CO₂ kadar yer almamaktadır. Örnek olarak enerji sektöründe kullanılan SF₆, CO₂'den yaklaşık 23 bin kat daha güçlüdür.

Diğer altı SG, gezegenin yükselen sıcaklığının yaklaşık %25'inden sorumludur. İkinci en yaygın SG, metandır. Küresel SG emisyonunun %17'sini metan oluşturmaktadır ve 2007 yılından itibaren önemli ölçüde artım göstermektedir. Metan gazının en yaygın kullanıldığı insan kaynaklı alanlar sanayi, çiftçilik ve hayvancılıktır. En önemli doğal kaynaklı alanlar ise sulak alanlar, göller, jeolojik sızıntılar ve termit kolonileridir. Küresel ısınma, yeni metan sızıntılarına neden olma potansiyeline sahiptir. Özellikle, eriyen arktik donmuş toprak büyük miktarlarda metan gazı serbest bırakabilir. SG emisyonlarının %6'lık miktarını NO_x karşılamaktadır. Çoğunlukla tarımda kullanılan gübreden, enerji santrallerinden ve dizel araçlardan kaynaklanmaktadır. Geriye kalan yaklaşık %2'lik kısım ise flor elementi içerdiği için “Flor gazları” olarak adlandırılır ve buzdolaplarında, klimalarda ve güç aktarım ekipmanlarında kullanılmaktadır [47].

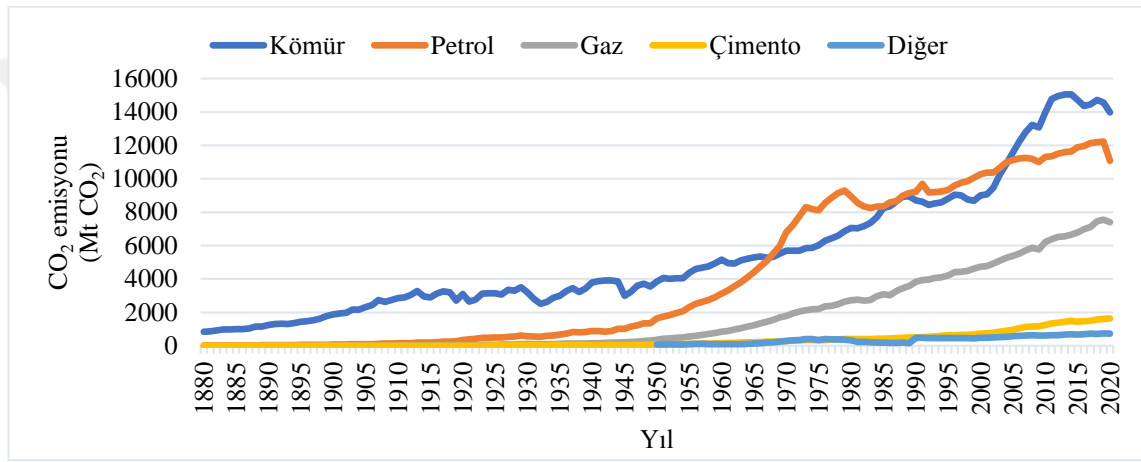
BP verilerine göre insan faaliyetinden kaynaklanan CO₂ emisyonu her yıl artmaktadır. Dünya için 2006 yılında 29,4 GtCO₂ olan CO₂ emisyonu, 2019 yılı için 34,4 GtCO₂'ye kadar artmıştır. Yani buradan görüldüğü gibi CO₂ emisyonu 13 yılda %16,73 artmıştır. COVID-19 nedeniyle 2020 yılında CO₂ emisyon değeri geçen yıllara göre azalmıştır. 2020 yılı enerji kullanımından kaynaklanan karbon emisyonları %6,3 oranında azalarak, 2012 yılından bugüne kadar en düşük seviyeye gerilemiştir. Birincil enerji tüketiminde olduğu gibi CO₂ emisyon miktarı da İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana görülen en büyük düşüşü 2020 yılında olmuştur [42], [48]. Şekil 3.7'de dünyadaki 2006-2020 seneleri arası toplam CO₂ emisyon değerleri verilmiştir.



Şekil 3.7: Dünyada 2006-2020 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu değişimi [42], [48].

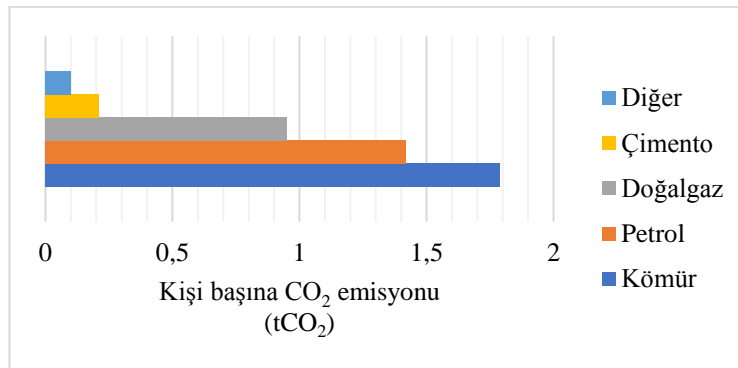
3.4. Dünyada Kaynaklara Ve Sektörlere Göre CO₂ Emisyonu

Dünya için kaynak bazında CO₂ emisyonu, 1970 yılından 2019 yılına kadar olan verilere göre en çok kömür kullanılmıştır. Kömür kullanımı 14 MtCO₂ fazla emisyonuna sebep olmuştur. Kömürden sonra petrol ve doğal gaz sırası ile 12,23 MtCO₂ ve 7,4 MtCO₂ emisyonu oluşturmuştur. Yani fosil yakıtların kullanımı CO₂ emisyonunun büyük bir kısmını oluşturmaktadır. 2020 yılında ise CO₂ emisyon miktarı, COVID-19 salgını sonucu düşüş eğilimi göstermiştir. Dünyada 1970-2020 yılları arasında kaynaklara göre toplam CO₂ emisyonu Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8: Dünyada kaynaklara göre 1970-2020 yılları arasında CO₂ emisyonu değişimi [49].

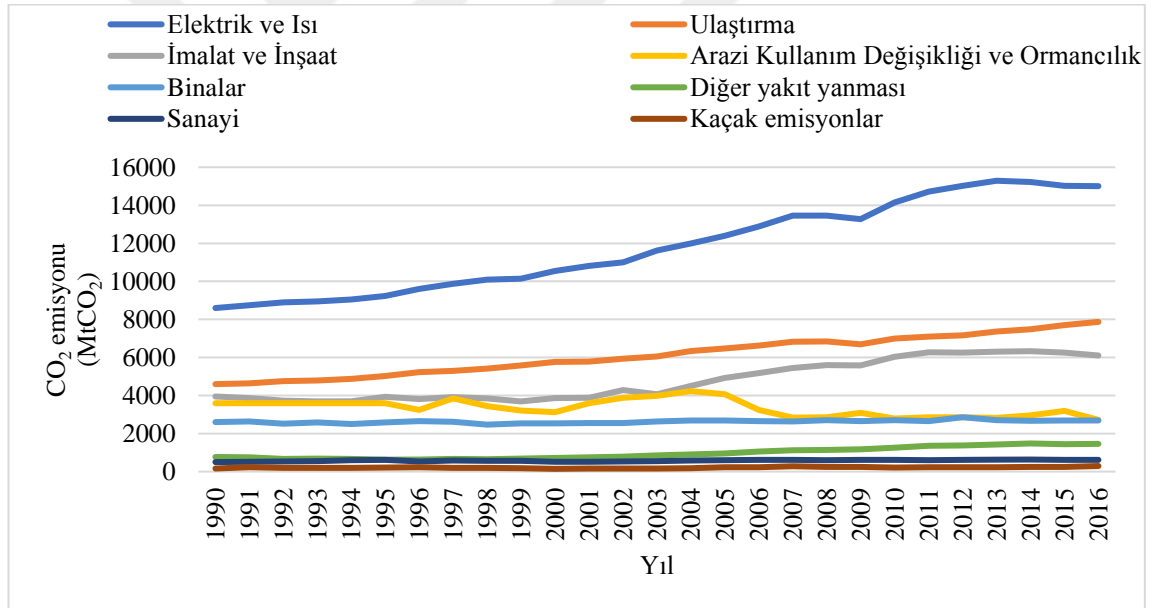
Dünya için 2020 yılında kişi başına düşen CO₂ emisyonu yakıt türüne göre en çok 1,79 tCO₂ emisyonu ile kömürden kaynaklanmaktadır. İkinci sırada ise 1,42 tCO₂ ile petrol gelmektedir. Şekil 3.9’da 2020 yılı için dünyada yakıt türüne göre kişi başına düşen CO₂ emisyonu verilmiştir.



Şekil 3.9: Dünyada yakıt türlerine göre 2020 yılı için kişi başına düşen CO₂ emisyonu [50].

COVID-19 sonrası 2021 yılı küresel enerji ile ilgili olarak CO₂ emisyonları, günümüze göre en büyük yıllık artışa doğru gitmektedir. Mevcut fosil yakıt talebi 2021'de belirli miktarda büyümesi beklenmektedir. Yalnız başına kömür talebi tüm yenilenebilir kaynak talebinden %60 daha çok artması öngörülmektedir. Bunun sonucu CO₂ emisyonu yaklaşık %5 veya 1500 MtCO₂'lık bir artışın görülmesi beklenmektedir. Beklenen bu artış ile 2020'deki düşüşün %80'ini tersine çevirerek 2019 emisyon seviyelerinin sadece %1,2 (veya 400 MtCO₂) altına düşmesiyle sonuçlanacaktır [51].

Dünyadaki CO₂ emisyonun sektörlere göre bakıldığında en büyük CO₂ emisyon üreten sektör elektrik ve ısı sektörleridir. İkinci sırada ise ulaştırma sektörü gelmektedir. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyon miktarı 2016 yılı için 7,87 MtCO₂ emisyonu olmuştur. Şekil 3.10'da dünyadaki sektörlere göre 1990-2016 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu verilmiştir.



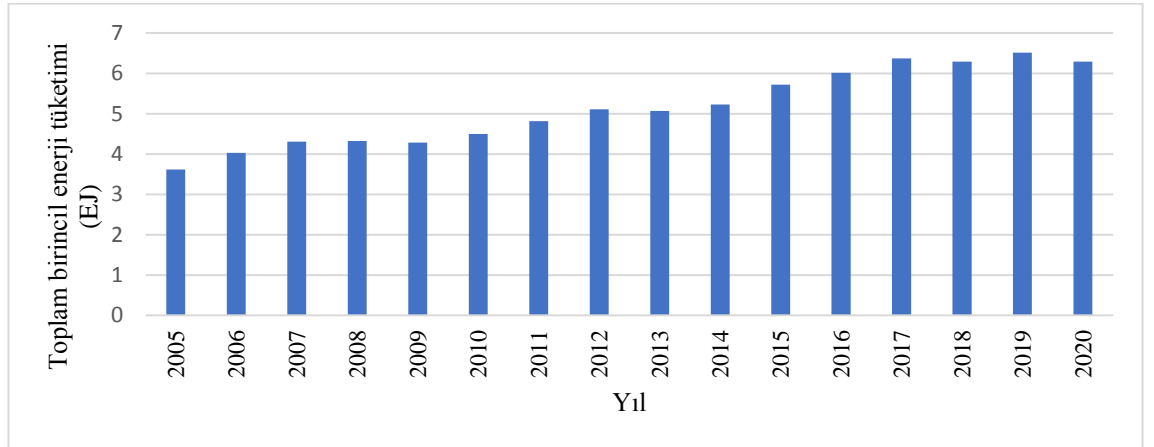
Şekil 3.10: Dünyada sektörlere göre 1990-2016 yılları arasında CO₂ emisyonu değişimi [52].

İklim değişikliği hızının azaltılması için küresel SG emisyonlarının mutlak ve sürekli olarak azaltılmasını gerekmektedir. Herhangi bir sektörde SG emisyonlarını azaltmak ise çözüm değildir. Çünkü bu sektörler her zaman birbirlerine bağlıdır. Örneğin bir sektördeki emisyonların azaltılması diğer sektörlerde emisyonu yoğun malzemelerin kullanımına sebep olmasıyla, o sektördeki SG emisyon miktarını artırabilmektedir [29].

BÖLÜM 4. TÜRKİYE’DE ENERJİ TÜKETİMİ VE EMİSYONLAR

4.1. Türkiyede Enerji Tüketimi

Türkiye’nin enerji tüketimi, dünyanın toplam birincil enerji tüketiminin %1’ini karşılamaktadır. Türkiye’nin fosil kaynaklarının yeterli miktarda olmaması nedeniyle, enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynakları ve dış kaynaklar kullanılmaktadır. BP (Britanya Petrol) verilerine göre, Türkiye’nin 2005 yılında 3,61 EJ olan birincil enerji tüketimi, %74,23 oranında artmasıyla 2020 yılında 6.29 EJ olmuştur. Dünya birincil enerji tüketimindeki gibi Türkiye’nin birincil enerji tüketimi 2020 yılında 2019 yılına göre COVID-19 (Korona virüs hastalığı 2019) nedeniyle azalmıştır. Şekil 4.1’de Türkiye için 2005-2020 yılları arasında birincil enerji tüketimi değerleri verilmiştir.

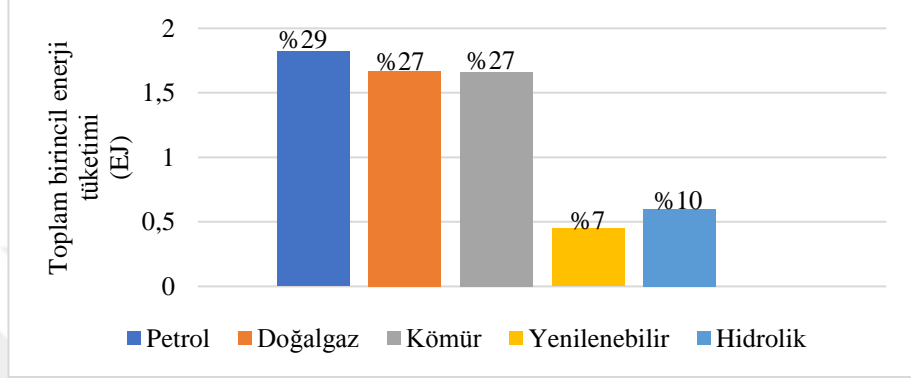


Şekil 4.1: Türkiye’de 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji tüketimi değişimi [42], [43].

4.2. Türkiye’de Kaynaklara Ve Sektörlere Göre Enerji Tüketimi.

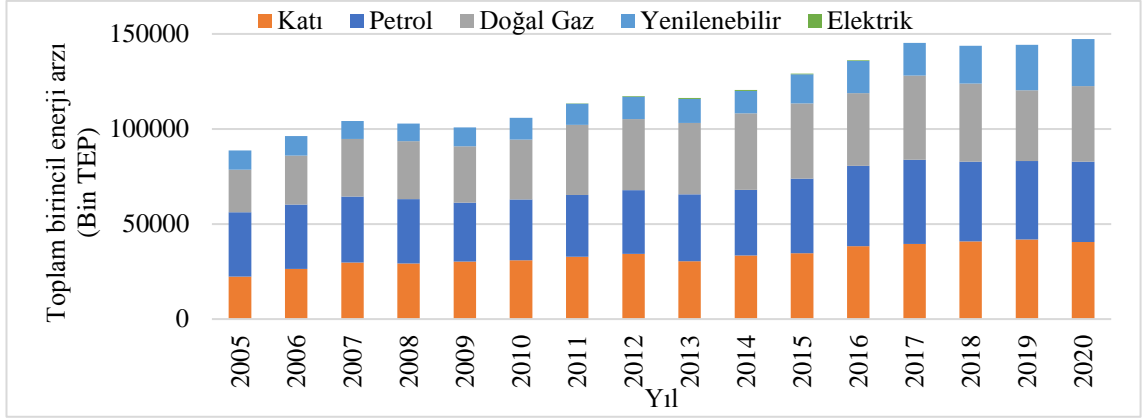
Türkiye’de 2020 yılında 6,29 EJ birincil enerji tüketilmiştir. Kaynaklara göre en çok petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar kullanılmıştır. Hidrolik ve yenilenebilir enerji kaynakları ise fosil kaynaklara oranda daha az kullanılmıştır. Nükleer enerji ise

hiçbir zaman kullanılmamıştır. Fosil kaynak olarak petrol, doğal gaz ve kömür toplam enerjinin %83 eşittir. Kalan %17 kısım ise yenilenebilir ve hidrolik enerji kaynakları oluşturmaktadır. 2020 yılı birincil enerji tüketiminde tüketilen fosil yakıtlara göre en çok payı %29 ile petrol almaktadır. Şekil 4.2’de Türkiye’de 2020 yılı birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre miktarı verilmiştir [42].



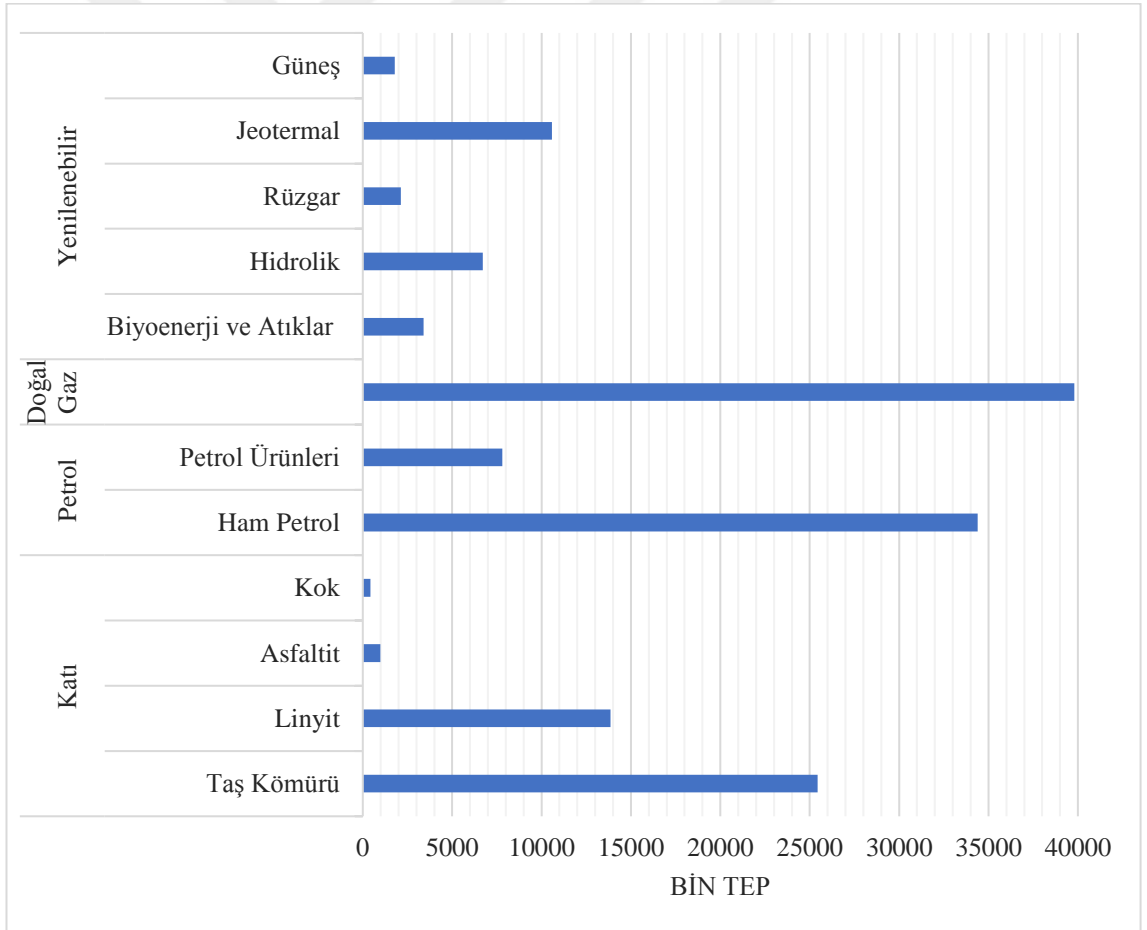
Şekil 4.2: Türkiye’de kaynaklara göre 2020 yılı için birincil enerji tüketimi [42].

Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) açıkladığı denge tablolarına göre, birincil enerji arzı 2005 yılı için 88,67 milyon TEP olurken 2020 yılında 147,17 milyon TEP değerine yükselmiştir. 2005 yılı için Türkiye’nin birincil enerji arzı katı yakıtların payı %25 olmuştur. Petrol ve petrol ürünlerinin payı %38 olurken, doğal gazın payı %25 ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %12 olmuştur. 2020 yılı itibariyle ise Türkiye’nin birincil enerji arzının %27’si katı yakıtlardan karşılanmıştır. Petrol ve petrol ürünlerinin payı %29’a düşerken, doğal gazın payı %27’e yükselmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları payı ise %17 seviyesindedir. Şekil 4.3’te Türkiye’de 2005-2020 yılları arasında yakıta göre birincil enerji arzı verilmiştir [53].



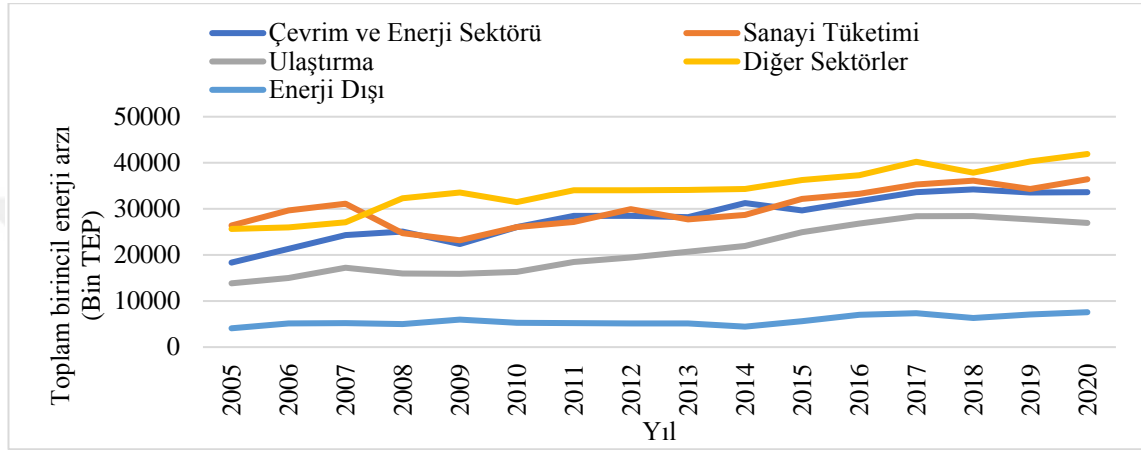
Şekil 4.3: Türkiye’de kaynaklara göre 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji arzı değişimi [53].

Türkiye’de 2019 yılında birincil enerji kaynağı olarak en çok doğal gaz kullanılmıştır. Türkiye 2019 yılı için yakıt kaynağına göre enerji arzı Şekil 4.4’te verilmiştir.



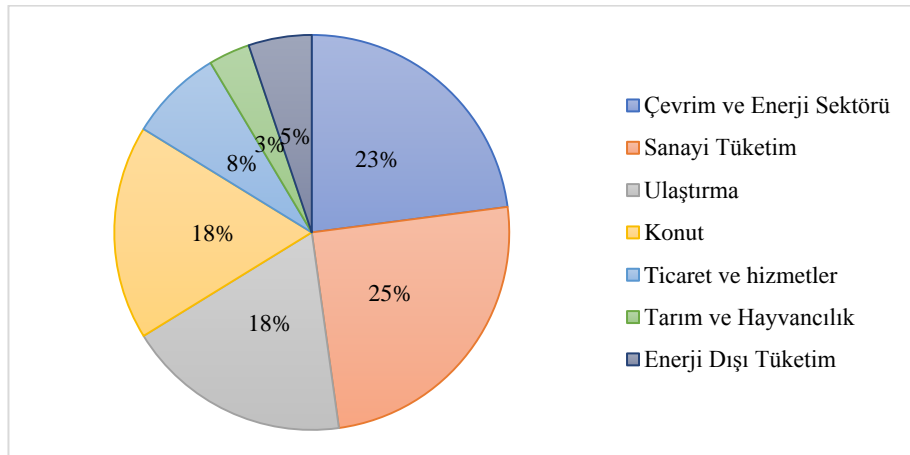
Şekil 4.4: Türkiye’de 2019 yılı için yakıt cinsine göre birincil enerji arzı [53].

Türkiye’de 2020 yılında sektörlerin birincil enerji arzı 147,17 milyon TEP olmuştur. 2005 yılına göre %65,96, 2015 yılına göre ise %13,96 oranında artmıştır. Türkiye birincil enerji arzını sanayi, ulaştırma ve enerji sektörlerine göre karşılaştırdığımızda 2005-2020 yıllarına göre en büyük artış %94,80 ile ulaştırma sektörü olmuştur. Enerji sektörü %83,12 ve sanayi tüketimi ise %37,92 artmıştır. Türkiye’de 2005-2020 yılları arasında birincil enerji arzı sektörler göre dağılımı Şekil 4.6’te verilmiştir.



Şekil 4.5: Türkiye’de sektörlere göre 2005-2020 yılları arasında toplam birincil enerji arzı değişimi [53].

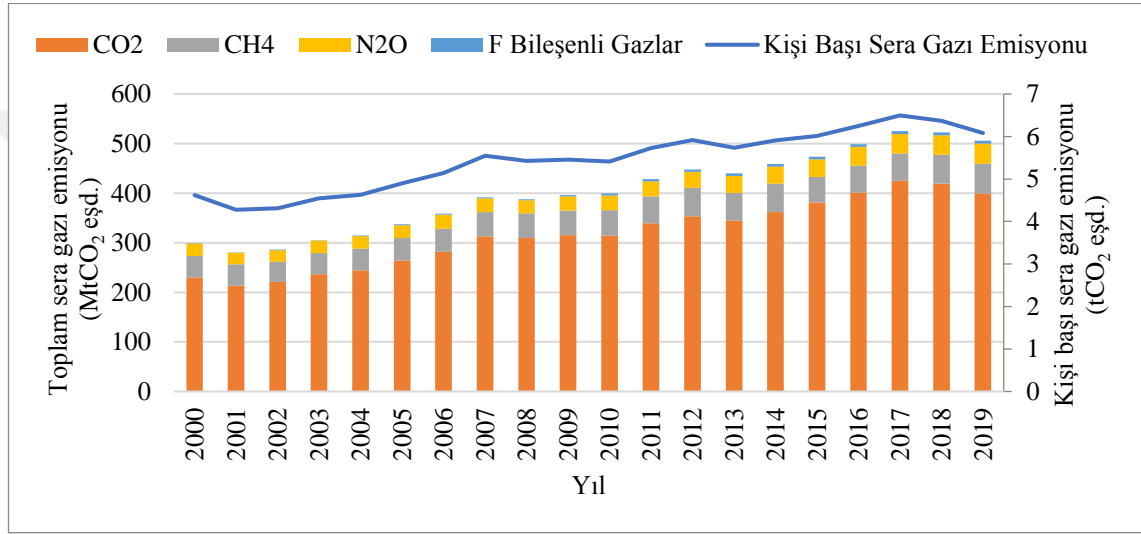
Türkiye’de 2020 yılında birincil enerji arz dağılımında en yüksek değer %25 ile sanayi sektörü ve %23 ile çevrim ve enerji sektöründe meydana gelmektedir. Bunu %18 ile konut, %18 ile ulaştırma, %8 ile ticaret ve hizmetler, %5 ile enerji dışı tüketim ve en son olarak ise %3 ile tarım ve hayvancılık takip etmektedir. Şekil 4.6’da Türkiye için birincil enerji arzı 2020 değerleri verilmiştir.



Şekil 4.6: Türkiye’de sektörlere göre 2020 yılı için birincil enerji arzı [53].

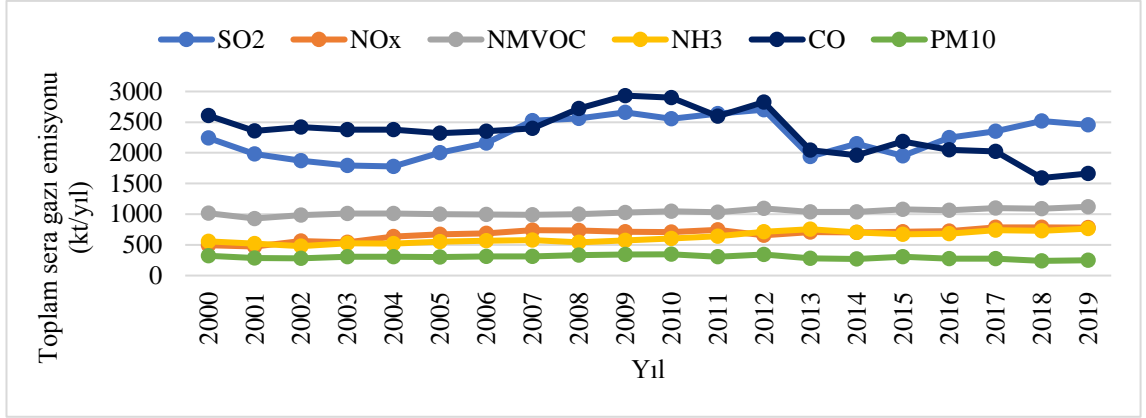
4.3. Türkiye’de Sera Gazı Emisyonları

Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) SG (sera gazı) envanteri sonuçlarına göre 2019 yılı toplam SG emisyonu bir önceki yıla göre %3,1 azalarak 506,1 MtCO₂ olarak hesaplanmıştır. Kişi başı toplam SG emisyonu 2000 yılında 4,6 tCO₂, 2018 yılında 6,37 tCO₂ ve 2019 yılında 6,08 tCO₂ olarak hesaplandı. Dünyada olduğu gibi Türkiye’de CO₂ emisyonu diğer SG’ları emisyonlarından daha fazladır. Şekil 4.7’de Türkiye’de 2000-2019 yılları arasında toplam ve kişi başına düşen SG’ları emisyon değerleri verilmiştir.



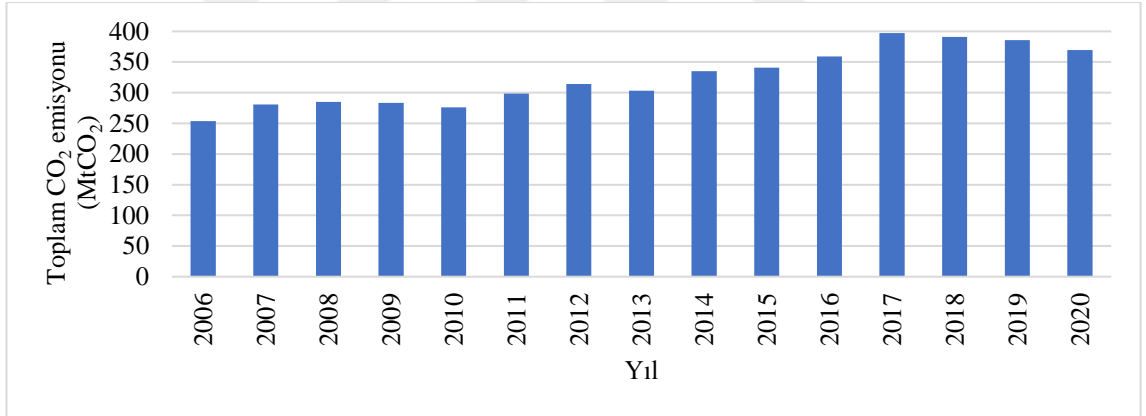
Şekil 4.7: Türkiye’de 2000-2019 yılları arasında toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu değişimi [54].

Türkiye, 2011 yılından bu yana Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi (CLRTAP) kapsamında ulusal toplama ve sektörel emisyonlara ilişkin veriler raporlamaktadır. 2000 ile 2019 yılları arasındaki toplam emisyonlar Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Türkiye’de 2000-2019 yılları arasında toplam sera gazı emisyonu değişimi [55].

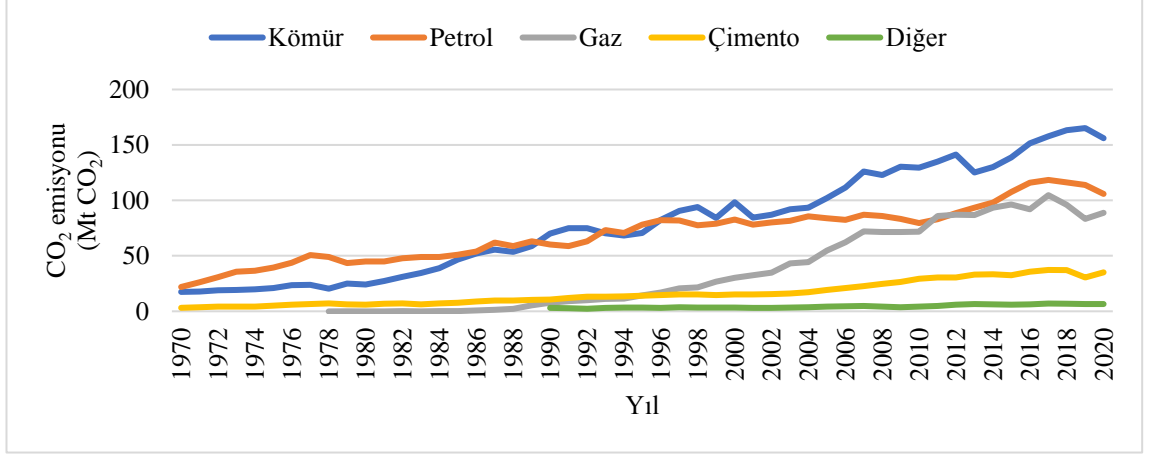
Toplam birincil enerji tüketiminde olduğu gibi CO₂ emisyon miktarında da Türkiye dünyanın toplam CO₂ emisyon miktarının %1’ini oluşturmaktadır. Türkiye’de 2006 yılında 253,7 MtCO₂ olan emisyon 2020 yılında %45,64 artarak 369,5 MtCO₂ olmuştur. Şekil 4.9’de Türkiye 2006-2020 yılları arasında CO₂ emisyon miktarı verilmiştir.



Şekil 4.9: Türkiye’de 2006-2020 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu değişimi [42], [48].

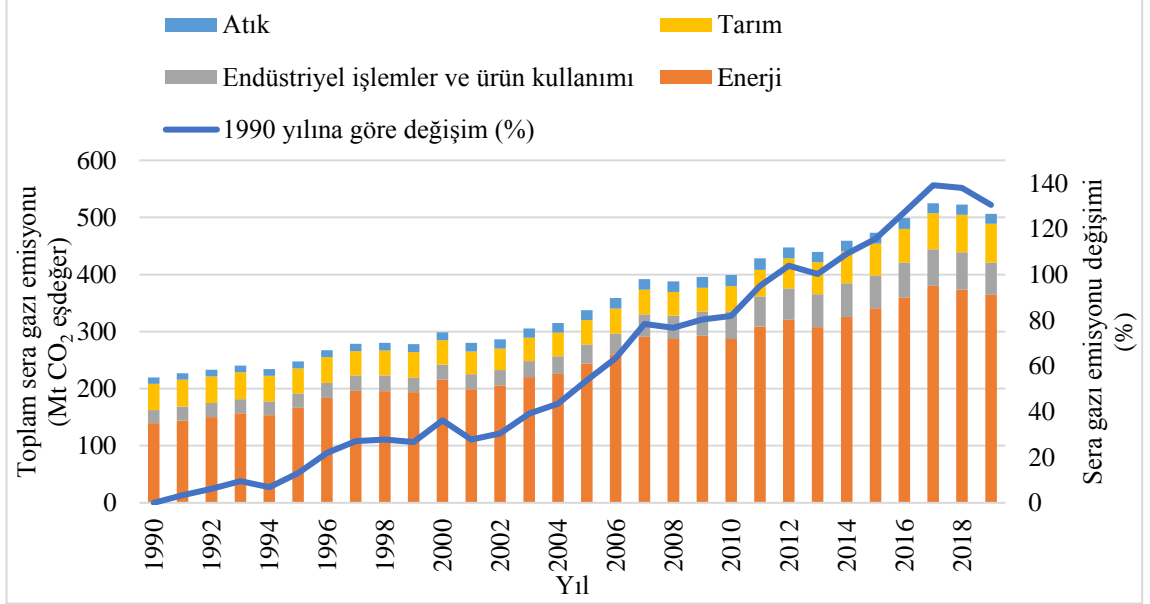
4.4. Türkiye Kaynaklara Ve Sektörlere Göre CO₂ Emisyonu

Türkiye için kaynak bazında CO₂ emisyonu 1970 yılından 2020 yılına kadar olan değerlere göre en çok kömür kullanılmıştır. Kullanılan kömür miktarı 156 milyon tondan çok CO₂ emisyonuna sebep olmuştur. Türkiye’de enerji kaynaklarına göre oluşan CO₂ emisyonun büyük kısmını fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Şekil 4.10’da Türkiye’de 1970-2020 yılları arasında kaynaklara göre toplam CO₂ emisyonu verilmiştir.



Şekil 4.10: Türkiye’de kaynaklara göre 1970-2020 yılları arasında CO₂ emisyonu değişimi [49].

TÜİK verilerine göre Türkiye’de sektörlerden kaynaklanan SG emisyonunda enerji sektörü en büyük paya sahiptir. 1990 yılında enerji sektöründen kaynaklanan SG emisyonu 139,6 MtCO₂ eşd. olmasına karşın, 2020 yılında %161 artarak 364,37 MtCO₂ eşd. olmuştur. Şekil 4.11’de Türkiye 1990-2020 yılları arasında sektörlere göre toplam SG emisyonları verilmiştir.



Şekil 4.11: Türkiye’de sektörlere göre 1990-2019 yılları arasında toplam sera gazı emisyonu değişimi [54].

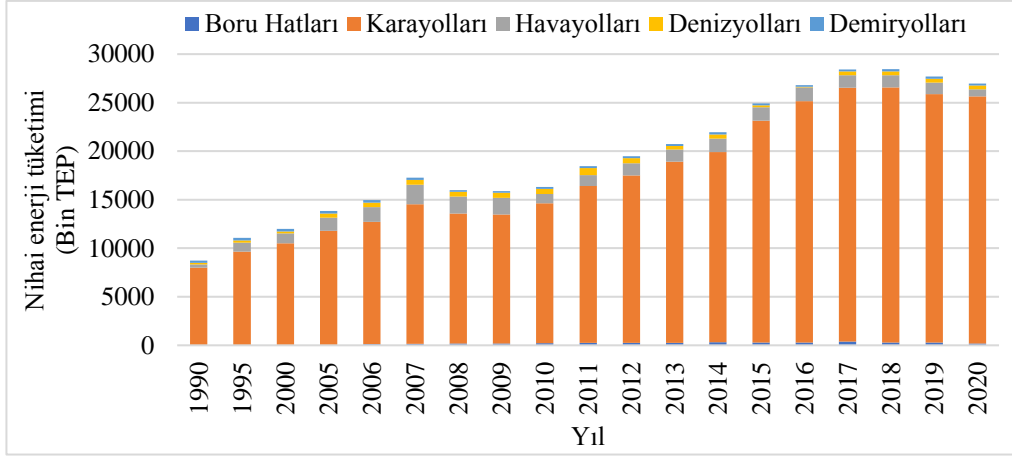
BÖLÜM 5. TÜRKİYE’DE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜ

5.1. Türkiye’de Ulaştırma Sektörü Enerji Tüketimi

Enerji kullanımında, ulaştırma sektörü petrole önemli bir ölçüde bağlıdır. 2015 yılı küresel bazda ulaştırma sektöründeki enerji kullanımının %95’lik payını petrol karşılamaktadır ve 1970’ler petrol krizinden sonra bile bu değer değişmemiştir [16].

Türkiye Cumhuriyeti’nin kuruluşundan itibaren 1950’li yıllara kadar, yeterli ulaştırma politikaları uygulanmadığı ve karayolu ağının yeterli seviyede olmadığı için demiryolu taşımacılığı sektörde büyük bir yere sahip olmuştur. 1950 yılı yolcu taşımacılığı payları demiryolu, karayolu, denizyolu ve havayolu için sırası ile %49,9, %42,2, %7,5 ve %0,6 oranlarında olmuştur. Yük taşımacılığında ise %55,1, %27,8, %17,1 ve %0 oranlarında olmuştur. Daha sonraki yıllarda, Karayolu Genel Müdürlüğü’nün kurulması (1950 yılında) ve Marshall Plan’ından sağlanan fonlar ile Türkiye’de karayolları gelişmiştir [25]. 2018 yılı verilerine göre karayolu ile yolcu taşımacılığının payı %88,8 ve yük taşımacılığının payı ise %89,2’e kadar artmıştır.

Türkiye’nin toplam birincil enerji arzının %18’ini ulaştırma sektörü karşılamaktadır. 1990 yılında Türkiye’de ulaştırma sektöründe 8,7 milyon TEP nihai enerji tüketilmiştir. 2020 yılında ise ulaştırma sektöründe tüketilen toplam nihai enerji miktarı %209,3 artarak yaklaşık 27 milyon TEP olmuştur. Şekil 5.1’de, 1990-2020 yılları arası için Türkiye’de ulaştırma sektörü nihai enerji tüketimi değerleri ulaştırma tipine göre verilmiştir.



Şekil 5.1: Türkiye’de ulaştırma türüne göre 1990-2020 yılları arasında nihai enerji tüketimi değişimi [53].

Türkiye’de ulaştırma sektörü nihai enerji tüketimi, 2018 yılından itibaren azalma eğilimi göstermektedir. Ulaştırma sektöründe karayolu ulaşımı önemli yere sahiptir. 2020 yılında Türkiye’de karayolu ulaşımında 25,4 milyon TEP nihai enerji tüketilmiştir. Türkiye’de 2020 yılında ulaştırma sektöründe kullanılan toplam nihai enerji tüketiminde boru hatları için kullanılan 171 bin TEP hariç tutulursa, 26,8 milyon TEP nihai enerjinin %95,02’i karayolu, %2,69’u havayolları, %1,54’ü denizyolları ve %0,75’si demiryolları karşılamaktadır. Tablo 5.1’de Türkiye ulaştırma sektörü nihai enerji tüketimi, 2020 yılı için verilmiştir.

Tablo 5.1: Türkiye’de ulaştırma türüne göre 2020 yılı için nihai enerji tüketimi [53].

Ulaştırma türü	Bin TEP
Boru Hatları	171
Karayolları	25472
Havayolları	722
Denizyolları	412
Demiryolları	201

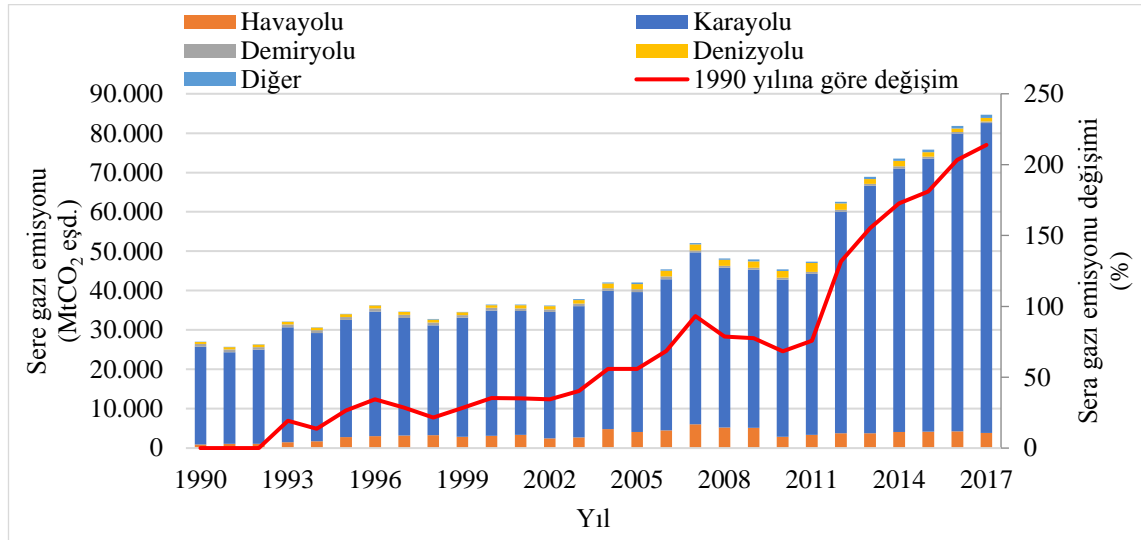
5.2. Türkiye’de Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları

Enerji talebinin ve SG (sera gazı) emisyonlarının azaltmanın zor ve pahalı olduğu sektörlerden biri ulaştırma sektörüdür [19]. Bu sektör enerji talebi büyürken emisyonları azaltma zorluğuyla karşı karşıyadır [56]. ABD (Amerika Birleşik Devletleri), Japonya ve Avrupa Birliği (AB) ülkeleri gibi gelişmiş ülkelerde ulaştırma sektöründen kaynaklanan

CO₂ emisyonu, fosil yakıtlardan kaynaklanan toplam CO₂ emisyonunun 1/4'i ila 1/3'i oluşturmaktadır [21]. Karayolu ulaşımı ise ulaştırma sektöründe toplam CO₂ emisyonunun 3/4'ünü karşılamaktadır [23]. Karayolu taşımacılığı şu anda AB'deki en büyük ikinci CO₂ emisyon kaynağıdır ve toplam emisyonların yaklaşık 1/4'ünü oluşturmaktadır. AB'nin ulaşım enerjisi ihtiyacının yaklaşık %94'ü bugün itibariyle petrol karşılamaktadır [56].

Dünyada ulaştırma sektörü 2010 yılında doğrudan 7 GtCO₂ eşd. SG'ları üretti ve bundan dolayı toplam enerji ile ilgili olan CO₂ emisyonlarının yaklaşık %23'ünden ulaştırma sektörü sorumludur. Agresif ve devamlı emisyon azaltma politikaları uygulanmaz ise 2050 yılında nihai enerji tüketiminden kaynaklanan SG emisyonları 12 GtCO₂ eşd. olacaktır [57].

TÜİK'in (Türkiye İstatistik Kurumu) SG emisyon envanteri verilerine göre, 2017 yılında Türkiye'nin 526,3 MtCO₂ eşd. olan toplam SG'nın, 84,7 MtCO₂ eşd.'ni ulaştırma sektörü karşılamaktadır. 1990 yılında ulaştırma sektöründeki SG emisyonları toplam SG emisyonlarının %12,8'ini karşılarken, 2017 yılında ise bu değer %16,1 olmuştur. Şekil 5.2'de Türkiye 1990-2017 yılları arasında ulaştırma türüne göre toplam SG emisyonu verilmiştir [58].



Şekil 5.2: Türkiye'de ulaştırma türüne göre 1990-2017 yılları arasında sera gazı emisyonu değişimi.

Ulaştırma sektöründe en büyük SG emisyonları üreticileri motorlu karayolu taşıtlarıdır. En çok emisyon üreten araçlar, otomobiller, spor hizmet araçları, kamyonetler, mini

vanlar ve hafif iş kamyonlarıdır. Bu araçlar ulaştırma sektöründen kaynaklanan SG'ları emisyonlarının yarısından fazlasını oluşturmaktadır [26].

TÜİK'in 2017 yılı SG emisyon envanteri verilerine göre ulaştırmadan kaynaklanan CO₂ emisyonunun %93'ü karayolundan, %4,5'i havayolundan, %1,1'si denizyolundan, %0,5'i demiryolundan ve %0,9'i ise diğer ulaştırma türlerinden kaynaklanmaktadır. Tablo 5.2'de Türkiye 2017 yılı için ulaştırma türüne göre SG emisyonu verilmiştir.

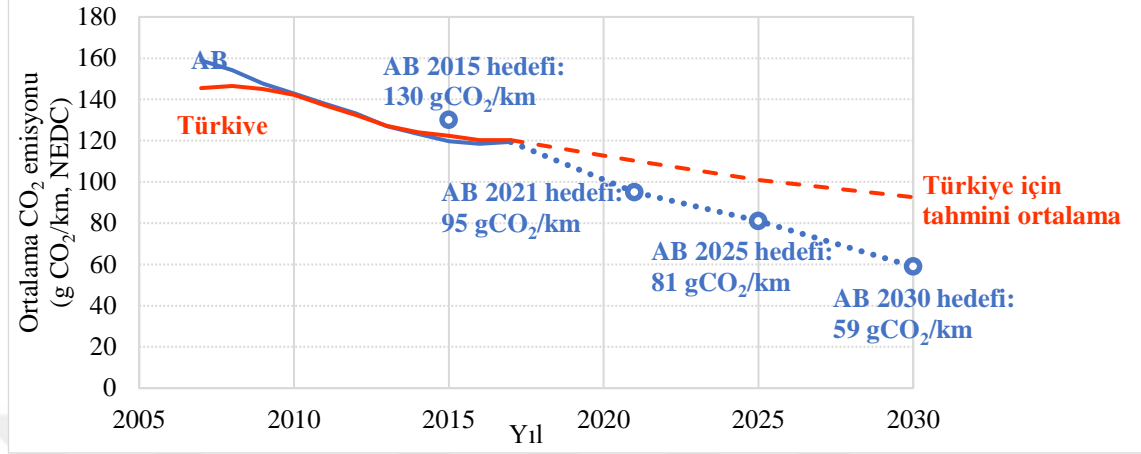
Tablo 5.2: Türkiye'de ulaştırma türüne göre 2017 yılı için sera gazı emisyonu [58].

Ulaştırma türü	ktCO ₂ eşd.
Diğer	758
Karayolları	78706
Havayolları	3838
Denizyolları	944
Demiryolları	413

Ulaştırma sektöründeki SG emisyonlarının azaltılması sadece egzoz borusu veya doğrudan emisyonları dikkate aldığı için diğer sektörlerden farklıdır. Örneğin, AB politikalarında karayolu taşıtlarının egzoz emisyonlarının azaltılması baskın hal almaktadır. AB Topluluk tüzüğü 2019/631'e göre yeni arabalar için 2015 yılından itibaren km başına CO₂ emisyonu 130 gCO₂/km olarak belirlemiştir [29]. 2021 yılından itibaren yeni araçların km başına CO₂ emisyonu 95 gCO₂/km altında CO₂ emisyonu üretmelidir. Bu da 100 kilometrede 4,1 litre benzin ya da 3,61 litre dizel yakıt tüketimine karşılık gelmektedir [15]. AB yasal düzenlemelerle 2030 yılında CO₂ emisyonunu 59gCO₂/km'ye kadar düşmesi hedeflenmektedir.

Türkiye için ise 2013 yılına kadar yeni araçların ortalama CO₂ emisyonları AB'ye kıyasla düşük olmaktadır. 2017 yılında ise daha ağır ve güçlü filoya sahip olan AB ülkeleri ile Türkiye ortalama CO₂ emisyonu değer olarak birbirine yakındır. Türkiye'de araç üreticilerine yönelik herhangi bir zorunluk olmadığı için motorlu kara taşıtlardan kaynaklanan CO₂ emisyonu yıllara göre muhtemelen ve önceki yıllar benzer hızda (yılıda yaklaşık 2,5 gCO₂/km) azalması beklenmektedir. Böylece 2030 yılına kadar yeni taşıt filosunun CO₂ emisyon ortalaması, AB'nin yeni taşıt filosunun CO₂ emisyon ortalamasının yaklaşık olarak %50 daha fazla olacaktır. Şekil 5.3'de 2007-2030 yılları

arasında Yeni Avrupa Sürüş Çevrimine (NEDC) göre Türkiye’de ve AB’de yeni araçların ortalama CO₂ emisyon düzeyleri verilmiştir [59].

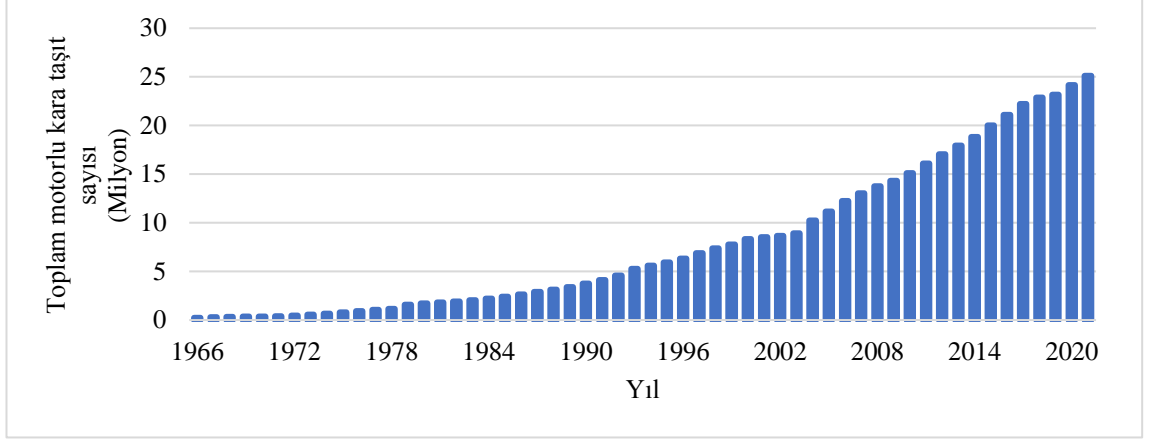


Şekil 5.3: Yeni Avrupa Sürüş Çevrimine göre, 2007’den 2017’ye Türkiye ve AB’de yeni kayıt altına alınan araçların ortalama CO₂ emisyonu düzeyleri [59].

Ulaştırma sektöründe fosil yakıtların mevcut zararları sebebiyle akaryakıt şirketleri, uluslararası enerji kuruluşları, çevre sivil toplum kuruluşları ve kamu hizmeti şirketleri birçok farklı senaryolar modellemişler. Senaryolarda benzer sonuçlar elde ederek, 2050 yılı ve sonrasında küresel olarak ulaştırma sektöründe çok sayıda fosil yakıt kullanılacağı beklenilmektedir [16].

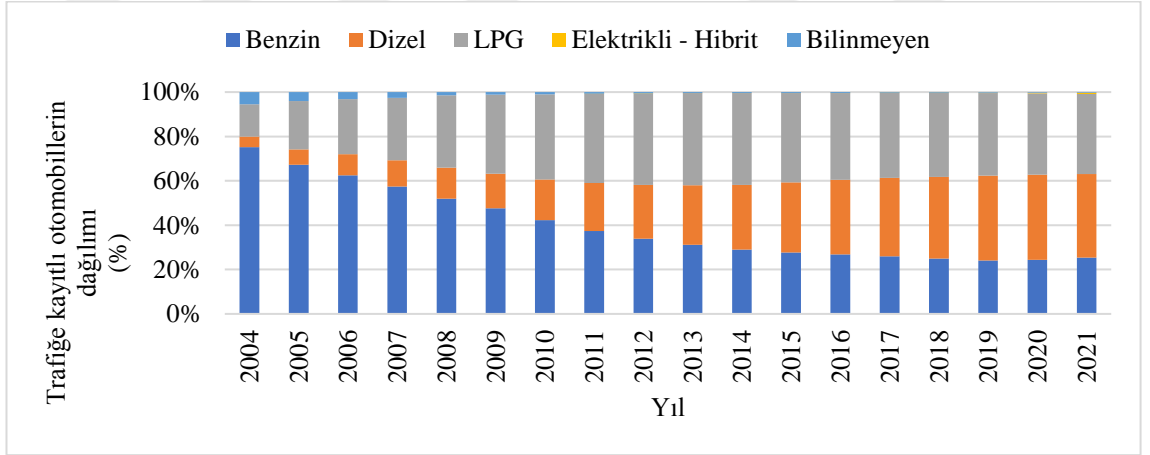
5.3. Türkiye’deki Motorlu Kara Taşıtları

TÜİK 2021 yılı ekim ayı verilerine göre, Türkiye’de 1966 yılında yaklaşık 232 bin olan motorlu kara taşıt sayısı, 2021 yılında 25,11 milyon değerine ulaşmıştır. Türkiye için yıllara göre motorlu kara taşıt artış hızı gün geçtikçe artmaktadır. Şekil 5.4’te Türkiye’de 1966-2021 yılları arasında motorlu kara taşıt sayısı verilmiştir.



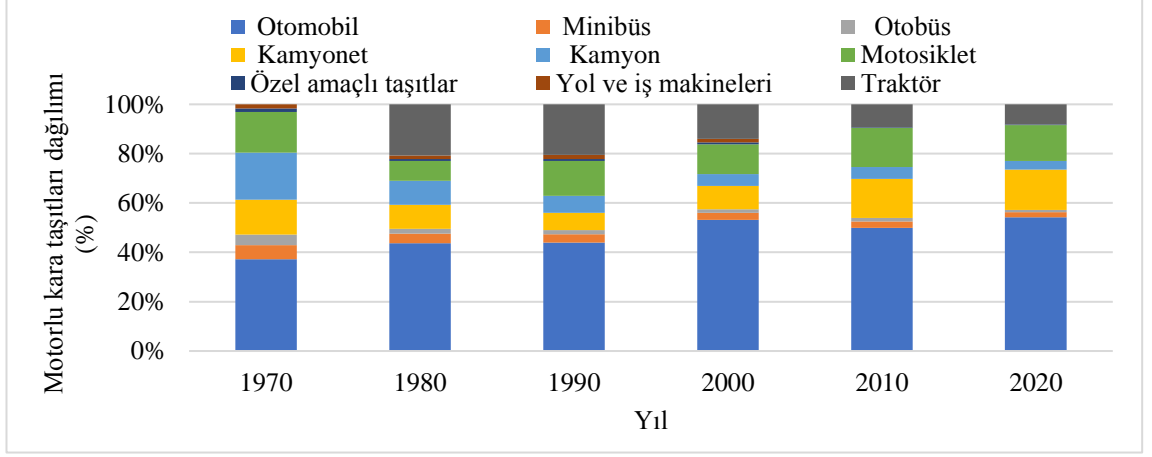
Şekil 5.4: Türkiye’de 1966-2021 yılları arasında toplam motorlu kara taşıt sayısı değişimi [60].

Türkiye’de otomobiller genellikle benzin, dizel ve Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) yakıtlarını tüketmektedir. Türkiye’deki trafiğe kayıtlı otomobillerde 2004 yılında en çok %75 oranda benzin kullanılmıştır. 2021 yılı ise trafiğe kayıtlı otomobillerde en çok %38 ile dizel, daha sonra %36 ile LPG ve %25 ile benzin yakıt kullanılmaktadır. Şekil 5.5’te Türkiye’de 2004-2021 (ekim ayı) yılları arasında trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt türüne göre dağılımı verilmiştir.



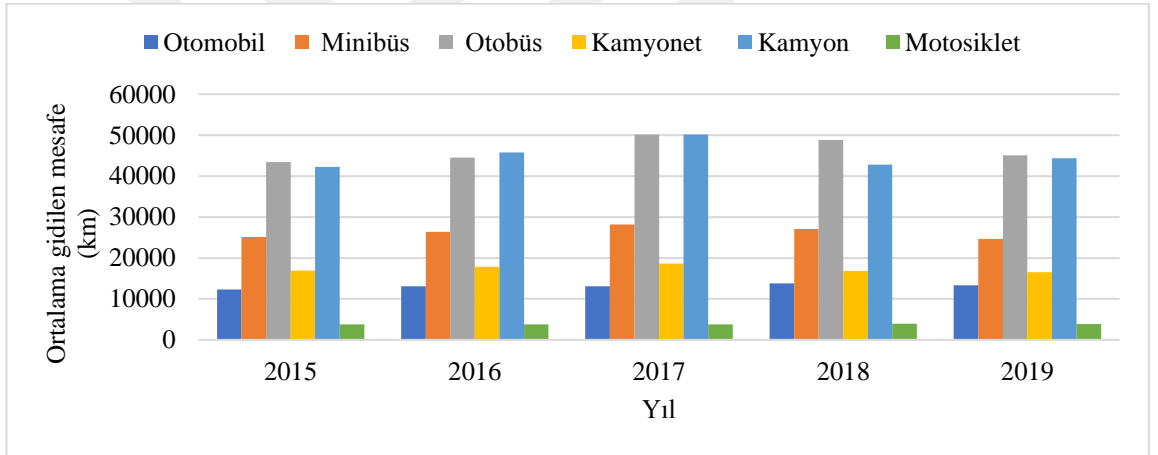
Şekil 5.5: Türkiye’de yakıt türüne göre 2004-2021 yılları arasında trafiğe kayıtlı otomobillerin dağılımı [60].

Türkiye’de 2021 yılında otomobillerin yakıt tüketiminde dizel yakıttan sonra gelen LPG yakıtlı otomobillerin EA’lara (elektrikli araç) geçmesi durumunda, oluşacak SG emisyonları azalacaktır. LPG kullanan otomobillerin emisyonlarının benzin veya dizel kullanan otomobillere oranda daha düşüktür [26]. Şekil 5.6’da Türkiye’deki taşıtların dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.6: Türkiye’de taşıt türüne göre 1970-2020 yılları arasında motorlu kara taşıtlarının dağılımı [60].

Şekil 5.7’de Türkiye 2015-2019 yılları arasında motorlu kara taşıtlarının ortalama gittiği mesafeler verilmiştir.



Şekil 5.7: Türkiye’de 2015-2019 yılları arasında motorlu kara taşıtlarının ortalama gittiği mesafe miktarları [61].

Türkiye’de ulaşım sektöründe hedeflenen çalışmalarda, düşük yakıt tüketimi SG emisyonlarına göre enerji verimli araçların kullanımının teşvik edilmesi planlanmaktadır [5].

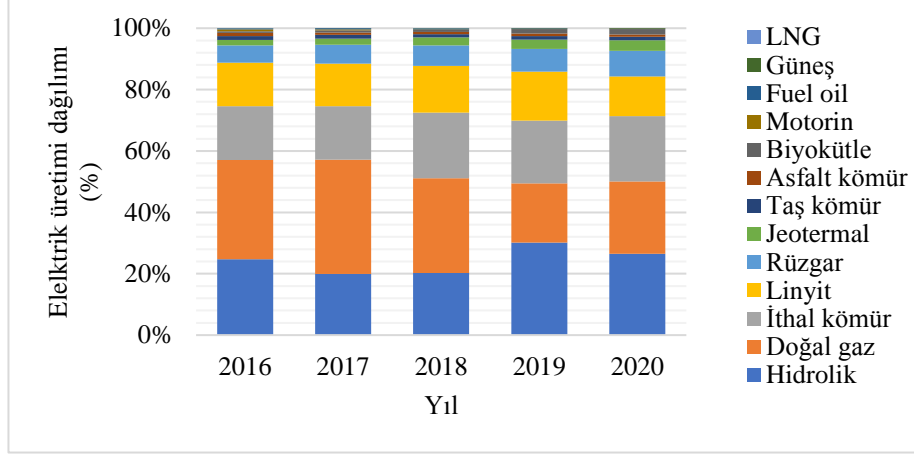
BÖLÜM 6. TÜRKİYE'DE ELEKTRİK

6.1. Türkiye'de Elektrik Üretimi

EA'lar (elektrikli araç) sürüş anında herhangi bir emisyon oluşturmamaktadır. Ancak elektrik üretiminde emisyonlar olduğu için EA'lar da dolaylı yolla olsa bile emisyon üretmektedir. Kısaca EA'ların ürettiği emisyon miktarı kullanılan elektriğin üretim şekline göre değişmektedir. Elektrik üretiminde fosil kaynaklar kullanıldığında emisyon miktarı da fazla olmaktadır. Ancak yenilenebilir kaynak kullanırsak o zaman çıkan emisyon miktarı da az olacaktır.

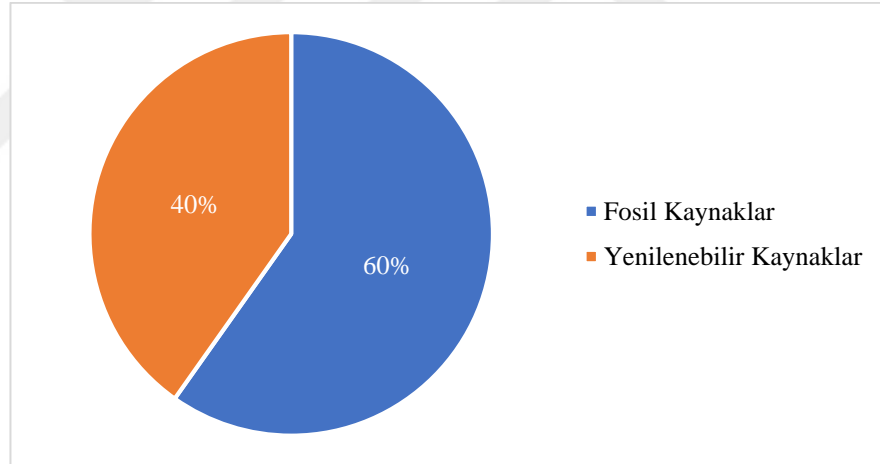
2018 yılı küresel enerji tüketiminde, güneş ve rüzgâr kaynaklı enerjilerde çift haneli büyüme göstermesine rağmen, başta doğalgaz olmak üzere tüm yakıtlara olan talep artmıştır. Elektrik'e olan yüksek talep enerji talebindeki artışın yarısından fazlasından sorumludur. Bununla da EV'de (enerji verimliliği) cansız bir iyileşme görülmektedir [62].

2018 yılında Türkiye'de fosil yakıt kullanılarak elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyon değerleri 149 MtCO₂ olarak, toplam CO₂ emisyonunun yaklaşık olarak %35'ni oluşturmaktadır [40]. Türkiye'de elektrik üretiminde fosil ve yenilenebilir kaynaklar kullanılmaktadır. Türkiye'de 2020 yılı lisanslı elektrik üretiminde en çok hidrolik kaynak kullanılarak 78,115 TWh elektrik üretilmiştir. Şekil 6.1'de Türkiye'de 2016-2020 yılları arasında lisanslı elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı verilmiştir.



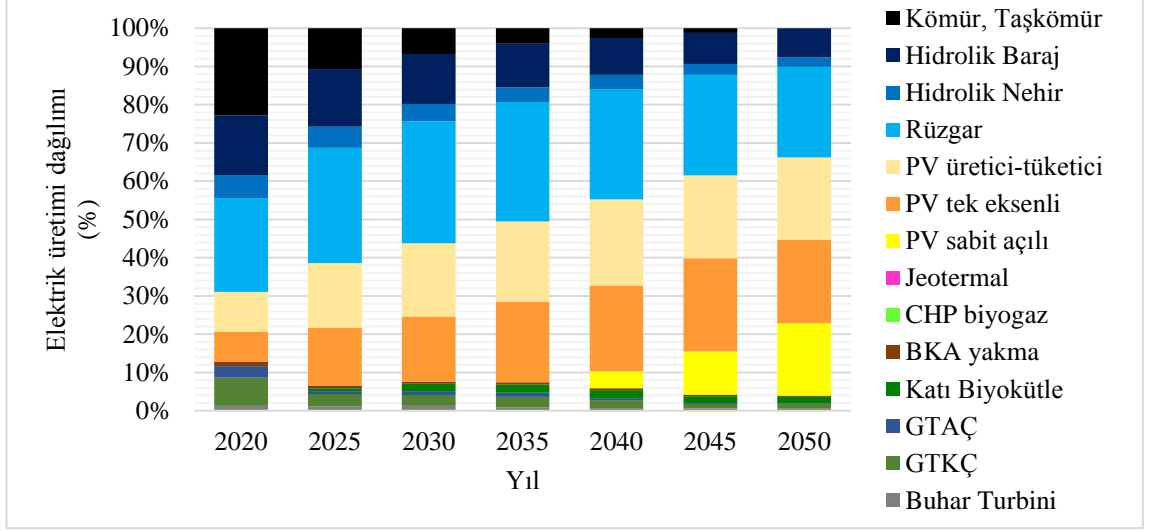
Şekil 6.1: Türkiye’de kaynaklara göre 2016-2020 yılları arasında lisanslı elektrik üretiminin dağılımı [63].

2020 yılı için Türkiye’deki lisanslı elektrik üretiminin %40’ı yenilenebilir kaynaklar karşılanmaktadır. Şekil 6.2’de Türkiye’de 2020 yılı için lisanslı elektrik üretiminin fosil ve yenilenebilir kaynaklarından üretilme oranları verilmiştir.



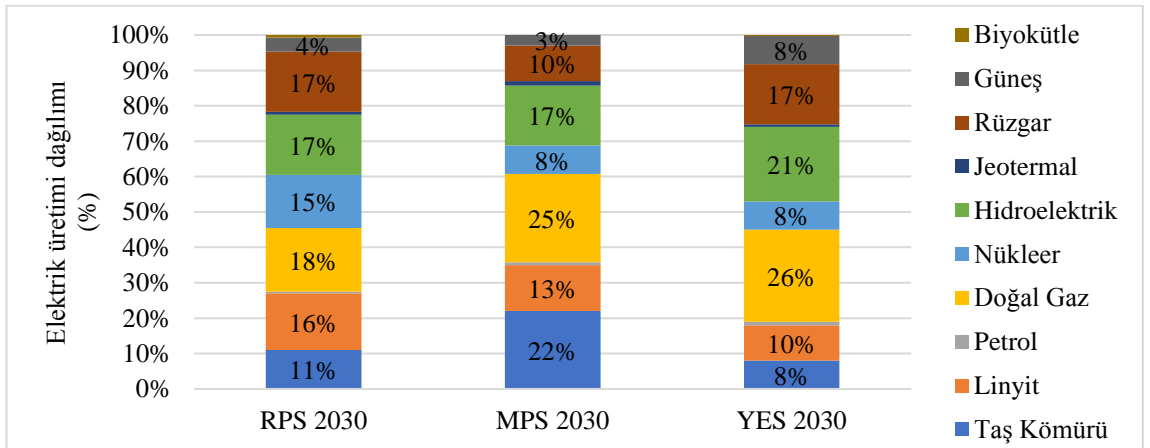
Şekil 6.2: Türkiye’de kaynaklara göre 2020 için lisanslı elektrik üretimi [63].

Türkiye için elektrik üretiminin gelecek için farklı senaryo projeksiyonları öngörülmektedir. Yapılan bir çalışmada, Türkiye için 2050 yılına kadar elektrik üretiminde %100 yenilenebilir enerjiye geçiş projeksiyonu belirtilmiştir [64]. Bu çalışmanın başlıca hedefi 2050 yılında elektrik üretiminde kömür kullanmamaktır. Şekil 6.3’de Türkiye’de 2020-2050 yılları arasında kaynaklara göre elektrik üretimi projeksiyonu verilmiştir.



Şekil 6.3: Türkiye’de kaynaklara göre 2020-2050 yılları arasında elektrik üretimi (%100 yenilenebilir enerjiye geçiş projeksiyonu) [64].

Türkiye’deki elektrik üretimi için başka bir projeksiyonda 2030 yılı elektrik üretimi için 3 farklı senaryoda yapılmıştır: Resmi Planlar Senaryosu (RPS), Mevcut Politikalar Senaryosu (MPS) ve Yenilenebilir Enerji Senaryosu (YES). RPS: resmi elektrik talep projeksiyonları, 2023 yılı kaynaklara göre kurulu güç hedefleri ve 2030 yılı resmi projeksiyonlara göre modellendi. MPS: Mevcut proje ve hükümet politikaları, sektörün ve elektrik piyasasının güncel durumuna göre modellendi. YES: Rüzgâr ve Güneşe dayalı kurulu gücün, kömür ve doğal gazın mevcut yerini alabileceği şeklinde modellendi. Senaryolar Şekil 6.4’te verilmiştir [65].



Şekil 6.4: Türkiye’de kaynaklara göre 2030 yılı için 3 farklı elektrik üretimi projeksiyonu [65].

6.2. Elektrik Üretiminden Kaynaklanan CO₂ Emisyonu

Dünyanın elektrik talebi her yıl artmaktadır. Artan bu talebi karşılamak için birçok kaynaklar kullanılarak farklı elektrik üretim yöntemleri uygulanmaktadır. Her bir elektrik üretim yönteminde belirli bir miktarda sera gazları (SG) oluşmaktadır. Kömürle çalışan elektrik santralleri gibi bazı üretim yöntemlerinde SG'ları üretimi de fazladır. Farklı elektrik üretim yöntemleri için yaşam döngüsü SG emisyon yoğunluğu Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Yaşam döngüsü sera gazı emisyonu yoğunlukları [66].

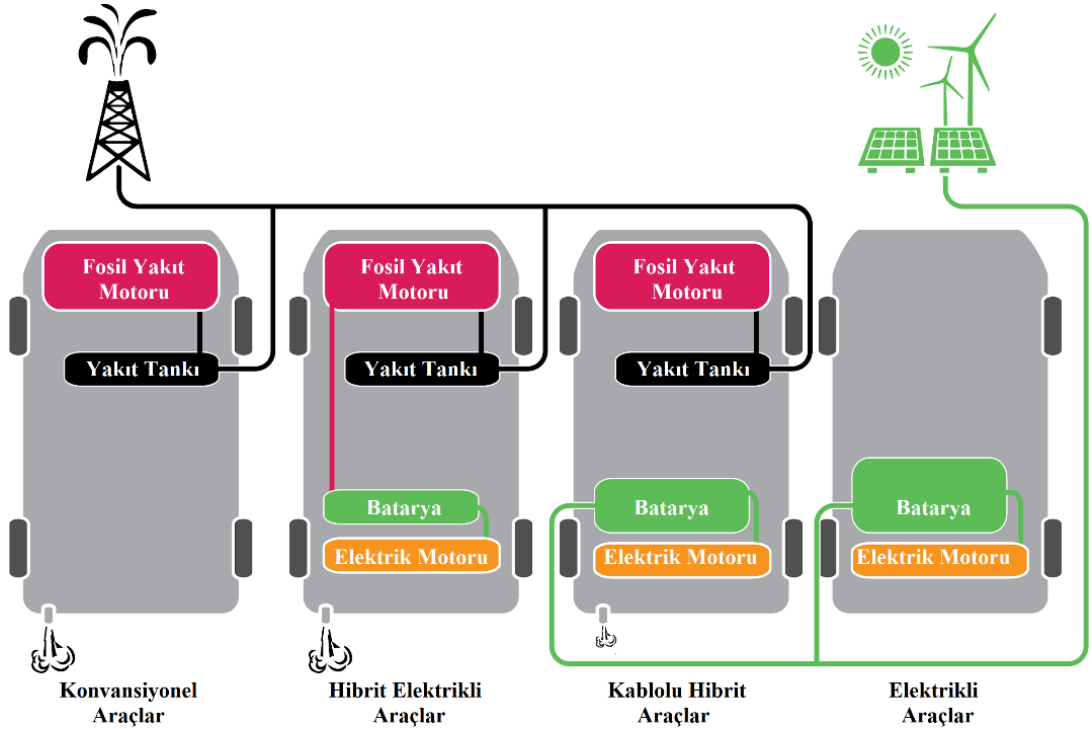
	Orta	Aşağı	Yüksek
	tCO ₂ eşd. GWh ⁻¹		
Linyit	1054	790	1372
Kömür	888	756	1310
Petrol	733	547	935
Doğal Gaz	499	362	891
Güneş	85	13	731
Biokütle	45	10	101
Nükleer	29	2	130
Hidroelektrik	26	2	271
Rüzgar	26	6	124

Tablo 6.1'e göre elektrik üretiminden kaynaklanan SG'larının emisyon yoğunluğu en çok olanlar fosil kaynaklardır. Yenilenebilir kaynakların ise emisyon yoğunluğu az olmaktadır. Elektrik üretiminde fosil kaynakların yerine yenilenebilir kaynakların kullanılması EV'i sağlamakla kalmayarak, SG emisyonlarının da azaltılmasını sağlayacaktır.

BÖLÜM 7. KARAYOLUNDA KULLANILAN ARAÇ TÜRLERİ

Ulaştırma sektörü dedikte ilk akla gelen, araçlar olmaktadır. Karayolu ulaşımda enerji tüketiminin azaltılması için araçların verimliliğini etkileyen potansiyel faktörler belirlenmesi önemlidir. Potansiyel faktörler iki gruba ayrılmaktadır: yerel çevre ve sürüş şekilleri. Yerel çevre faktörlerine yol eğimi, yol genişliği, sıcaklık gibi fiziksel özellikler ile trafik sıklığı bilgisi, trafik tasarımı gibi sosyal özellikler de ait edilmektedir. Sürüş şekilleri ise hız ve ivme gibi sürücünün davranışlarından kaynaklanan özellikler ait edilmektedir [17].

Araçları birçok özelliklerine göre sınıflandırabiliriz. Motor türüne göre araçlar içten yanmalı ve elektrik motorlu olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 7.1'de yakıt ve motor türüne göre araçlar verilmiştir.



Şekil 7.1: Konvansiyonel (İYMA), hibrit (HEA), kablolu hibrit (KHA) ve elektrikli araçlar (EA).

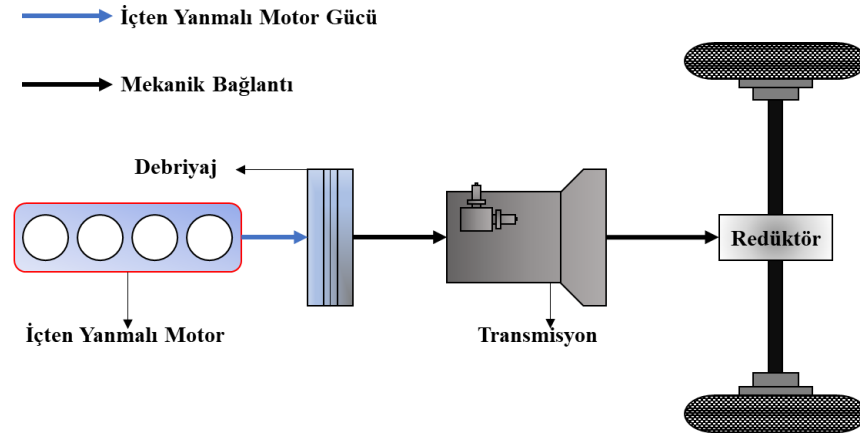
Araç motorlarında ve yakıtlarda çevre politikası ve teknolojik iyileştirmeler yapılarak araç başına yakıt verimliliğini artırılmaktadır. Ton-kilometre başına daha düşük yakıt kullanımı ile birim başına mal taşıma maliyetleri düşmektedir [67]. Düşük karbonlu ulaşım sistemlerine geçişi hızlandırmak için yeni İYMA'ların (içten yanmalı motorlu araç) satışının belirli tarihe kadar aşamalı olarak durdurmak hedeflenmektedir. Birçok ülke ve şehirlerde 2025-2040 yılları arasında İYMA'ların kullanımdan kaldırılması hedeflenmektedir [16].

7.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlar

Geleneksel araçlar olarak da isimlendirilen konvansiyonel araçlarda içten yanmalı motor kullanılmaktadır. Yakıt olarak benzin, dizel ve LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı) gibi fosil kaynaklı yakıtlar tüketilmektedir. Konvansiyonel araçların sistemi karışık ve bakımı (yağ değişimi ve dönemsel bakım gibi) da oldukça zordur. Bu tür araçların sistem verimliliğini düşüren birçok hareketli parçaları vardır. İYMA'lar için yakıt-hava karışımı oluşturan yakıt sistemi, yanma zamanı için gerekli olan ateşleme sistemi, aşınma ve sürtünmeyi azaltmak için gerekli olan yağlama sistemi ve egzoz gazlarını dışarıya atmak için gerekli olan egzoz sistemi gerekmektedir [68].

Türkiye'de 2021 yılı Ekim ayına kadar olan verilerde 13 milyondan fazla olan otomobillerin %99,18'ni İYMA oluşturmaktadır. İYMA'ların dünyada ve Türkiye'de bu kadar fazla kullanılmasının başlıca nedeni fosil yakıtlı araçların uzun süredir kullanılması ve onların verdikleri zararların göz ardı edilmesidir.

İYMA'ların avantajları, alt yapısının olması, fiyatlarının uygun olması, uzun sürüş mesafelerine sahip olması, yakıt deposunda yüksek hacimde sıvı yakıt depolayabilmesi ve yakıtı kolayca ve kısa sürede ulaşılabilmemesidir. İYMA'ların dezavantajları ise, benzin veya dizel yakıtı ihtiyacı olması, CO₂ emisyonunun fazla olması, mekanizma gürültüsünün olması ve motorun verimliliği %30 altında olmasıdır. Şekil 7.2'de İYMA'ların yapısı verilmiştir.



Şekil 7.2: İçten yanmalı motorlu araç sistemi.

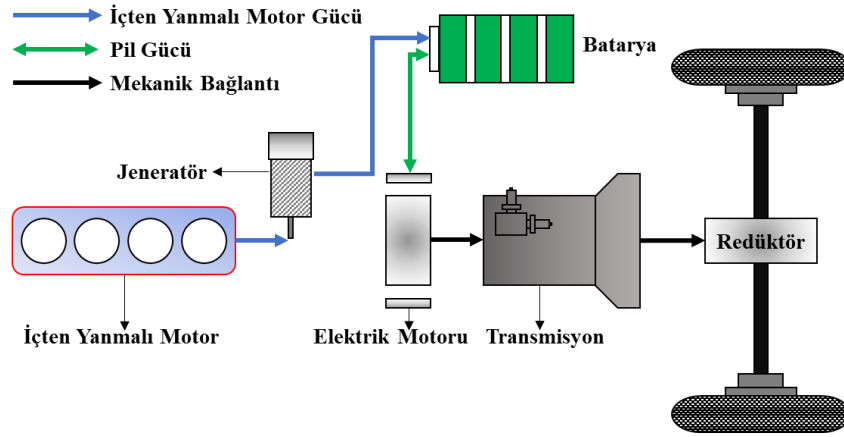
Eski zamanlarda İYMA'lar avantajlı görülmekteydi. Ancak günümüz koşulları için fosil yakıtların bitebilmesi ve çevresel zararları, bu araçların avantajlarını ortadan kaldırmaktadır. Buna göre İYMA'ların zamanının dolduğu söylenebilmektedir.

7.2. Hibrit Araçlar

Benzin ve elektrik kullanılarak çalışan melez anlamına gelen araçlara HA'lar (hibrit araç) denmektedir. HA'ların tahrik sistemi bir elektrikli motordan ve bir de içten yanmalı motordan oluşmaktadır. Hem aküde depolanan enerji ile hem de yakıt deposundaki yakıtla çalışmaktadır.

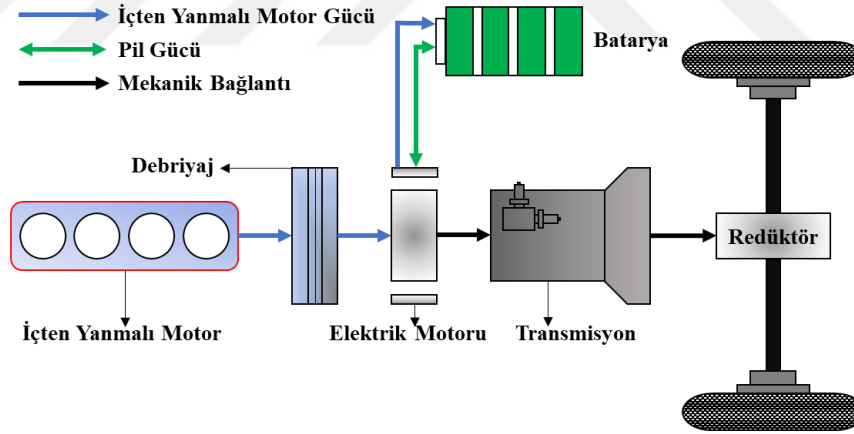
HA'ların kullanımı Türkiye'de ve dünyada artmaktadır. 2018 yılında Türkiye'de otomobil satışlarında HA'lara olan ilginin devam ettiği görülmektedir. Türkiye'de HA'larda yapılan teknolojik çalışmalar ve teşvikler ile araç satışlarında artan bir ivme görülmektedir. Türkiye'de HA satışlarının artmasının başlıca nedenlerinden biri de özel tüketim vergisi (ÖTV) indiriminin yapılmasıdır [68].

HA'lar motorların bağlanma şekline göre genel olarak iki farklı düzene sahiptirler: seri ve paralel. Seri HA'lar sadece tek adet enerji dönüştürücüsü ile aracın ilerlemesini sağlamaktadır. İçten yanmalı motor jeneratörü çalıştırarak elektrikli motorun bataryasına güç vermesini sağlamaktadır ve bataryanın belirli bir şarj seviyesinin altına düşmesini engellemektedir. Aracın hareket etmesini sağlayan güç elektrik motorundan sağlanmaktadır. Seri HA'ların tahrik sistemleri içten yanmalı motor ve jeneratör dışında EA'lar ile aynı olmaktadır [69]. Şekil 7.3'te seri HA sistemi verilmiştir.



Şekil 7.3: Seri hibrit araç sistemi [70].

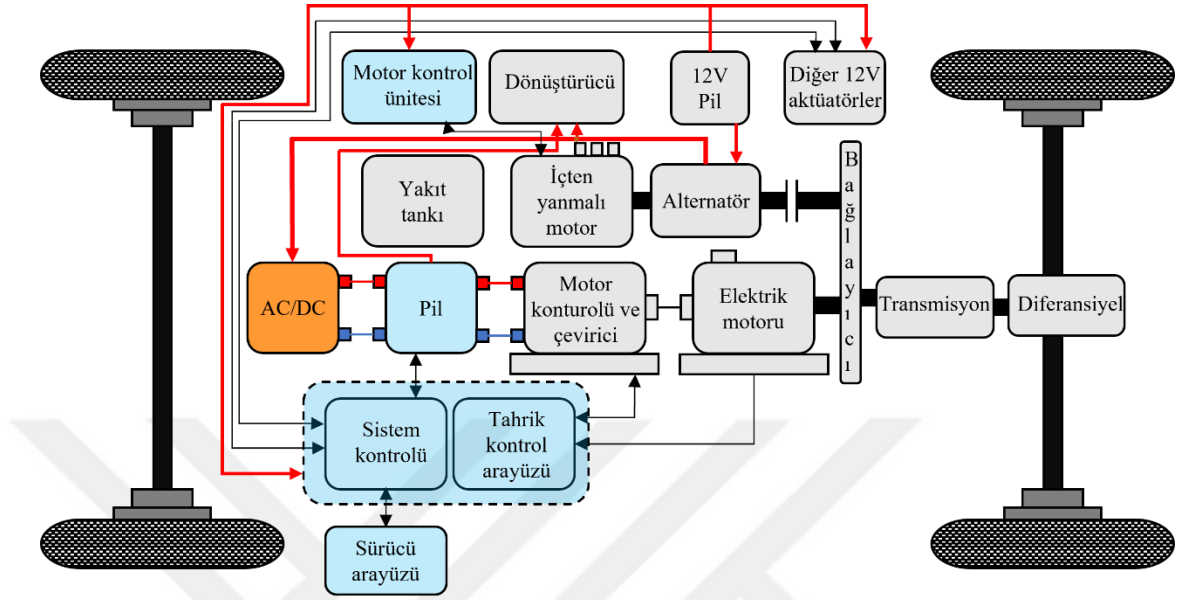
Paralel HA'larda birden fazla enerji kaynağı aracın ilerlemesini sağlamaktadır. Bu araçlarda içten yanma motoru ile elektrikli motor paralel şekilde bağlanmıştır. Bu tip HA'larda tahrik etmek için gerekli olan gücün büyük bir kısmını içten yanmalı motorla sağlandığı için elektrik motorunun gücü az tutulabilmektedir [69]. Şekil 7.4'te paralel HA sistemi verilmiştir.



Şekil 7.4: Paralel hibrit araç sistemi [70].

HA'ların bataryalarını şarj edilmesi açısından iki çeşidi vardır. Hibrit elektrikli araçlar (HEA) ve kablolu hibrit elektrikli araçlar (KHEA). HEA'da kullanılan elektrik, fosil yakıttan içten yanma motoru kullanılarak üretilmektedir [12]. HEA'ların avantajları altyapıda değişiklik gerektirmemesi, CO₂ emisyonunu azaltması, daha düşük yakıt tüketmesi ve piller az yer kaplaması olmasıdır.

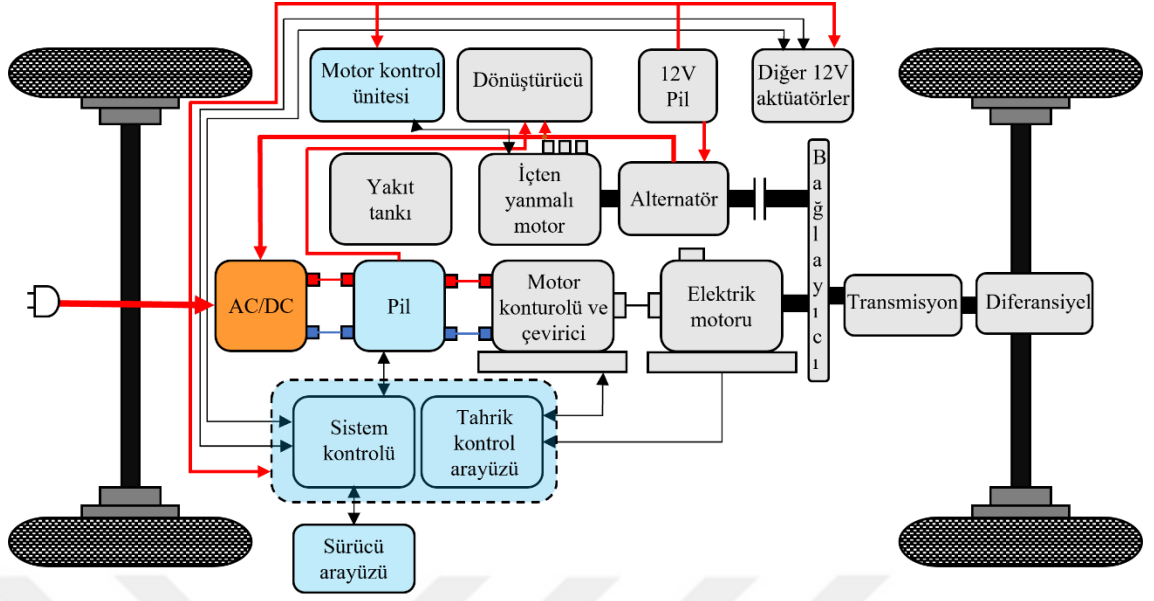
HEA'ların dezavantajları ise benzin veya dizel gerekmesi İYMA'lerden yapısal olarak daha karmaşık olmasını söyleyebiliriz. Şekil 7.5'de HEAların yapısı verilmiştir.



Şekil 7.5: Hibrit elektrikli araç yapısı [71].

HEA'larda içten yanmalı motor ve asıl görevi içten yanmalı motoru desteklemek olan elektrik motoru yer almaktadır. Bu tip araçlarda elektrik motorunun dışarıdan şarj edilebilmesi için gerekli olan ünite yoktur. Ek olarak HEA'ların frenleme durumlarında sürtünme enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesi sayesinde geri kazanım gerçekleşmektedir. HEA'larda hareket belirli bir hıza kadar elektrikli motor çalışması ile sağlanmaktadır. Daha yüksek hızlarda ise içten yanmalı motor devreye girmektedir [72].

KHEA'da elektrik, yalnız içten yanmalı motordan değil harici elektrik kaynağından alınarak pili şarj edilmektedir [12]. KHEA'ların avantajları, iyi bir mesafede (50 km) elektrik sürüş gerçekleştirmesi, daha düşük yakıt tüketmesi, CO₂ emisyonunu azaltması, frenleme enerjisinin geri kazanması, hafif malzemelerden üretilmesi, fosil yakıtlara daha az bağımlılık ve kamu elektrik şebekesini kullanarak arabayı şarj etme imkânı olmasıdır. KHEA'ların dezavantajları ise satın alma ve bakım maliyetinin yüksek olması, karmaşık yapısı, daha az güç, daha kötü yol tutuşu, akülerde yüksek voltaj ve yer kaplayan büyük bir pil gerekmesidir [13], [73]. Şekil 7.6'da KHEA'nın yapısı verilmiştir.



Şekil 7.6: Kablolu hibrit elektrikli araç yapısı [71].

Seri şekilde bağlanan KHEA'ların konfigürasyonu içten yanmalı motor, jeneratör, pil ve elektrik motorunda oluşmaktadır. Tamamen EA'larda olduğu gibi pilin harici bir elektrik kaynağından şarj edilebilme özelliği vardır. Seri bağlanan KHEA'larda güç talebinin büyük bir kısmını pil gücü sağlar ve elektrik motoru aracın hareket ettirilmesinde tam rol oynar. İçten yanmalı motor ise elektrik motoruna yardımcı olmak için jeneratörle birleşir ve fosil yakıt kullanarak pili şarj etmektedir. Tipik bir seri KHEA yapısında içten yanmalı motor tahrik sisteminden ayrıldığı ve doğrudan elektrik motoru için güç ürettiği için daha iyi araç performansı elde etmektedir. İçten yanmalı motoru yakıt genelde yakıtın en uygun olacağı yerlerde çalışmaktadır. Bu nedenle bu araçların yakıt verimliliği önemli ölçüde artar ve daha küçük bir içten yanmalı motor gerekmektedir. Sonuç olarak, yakıt deposu da nispeten küçük bir boyuta küçültülebilir [73].

Paralel bağlanan KHEA'lar hem birincil hem de ikincil enerji kaynağından gelen güç aracın hareketini sağlamaktadır. Pil, KHEA konfigürasyonunda birincil enerji kaynağı olarak hizmet etmektedir. İçten yanmalı motor ilave bir güç gerektiğinde doğrudan tahrik etmek veya hibrit çalışma modunda aküyü şarj etmek için kullanılmaktadır. Paralel HEA'lar ile paralel KHEA'ları karşılaştırıldığında gücün çoğunu sağlamak için içten yanmalı motor kullanılmadığı için mekanik güç sistemi daha küçüktür. Böylece paralel KHEA'larda daha küçük içten yanmalı motor ve yakıt deposu kurulmaktadır. Ancak gücü

elektrik sisteminin yeterli miktarda güç vermesi için büyük bir pil takımı ve daha güçlü bir elektrik motoru gerekmektedir [73].

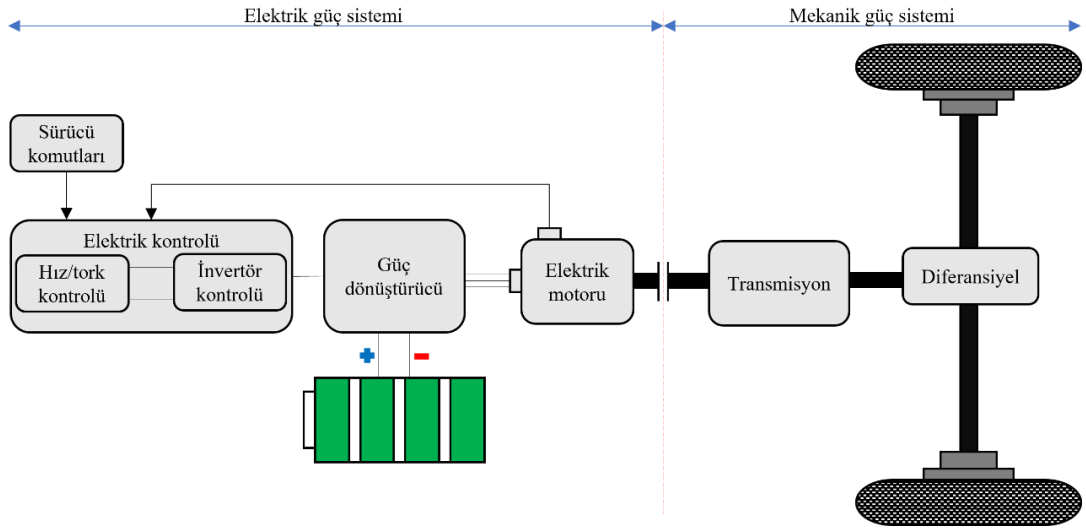
İYMA'lara oranda HA'ların çok belirli avantajlarının olması, onların günümüzde daha çok kullanımının teşvik edilmesine sebep olmaktadır. Günümüz için en doğru araçlar HA'lar olarak kabul edilmektedir. Çünkü İYMA'ların zararlarının olması ve EA'ların altyapı eksikliği nedeniyle EA'lara geçiş sürecini HA'lar sağlayabilmektedir.

7.3. Elektrikli Araçlar

Araç teknolojilerinde elektrik tahrik sistemleri ilk çalışılan konu olmuştur. EA'ların tarihi 1834'te başlamıştır, ancak içten yanmalı motorların icadı ile onlara rekabette kaybettiler. Yalnızca 19. yüzyılın sonlarında Kuzey Amerika, BK (Birleşik Krallık) ve Fransa'da bazı üniteler üretildi. Yüksek başlangıç maliyetleri, araç pillerinin kapasitelerinin az olması ve düşük otonomi gibi sınırlamalar nedeniyle elektrikli otomobiller 1930'larda piyasadan çekildi ve ancak 1970'lerden sonra bu teknolojiye olan ilgi geri geldi [22].

Son 10 yılda, dünyadaki elektrikli otomobil sayısı, 2005'te 1,37 binden 2016'da 2,01 milyona keskin bir şekilde yükselmiştir [10]. IEA'ya (Uluslararası Enerji Ajansı) göre 2015'teki EA üretimi 550.000'den fazla iken, %36'lık bir artışla 2016'da 750.000'denüzerine çıkmıştır. Çin, ABD (Amerika Birleşik Devletleri), Japonya, Kanada ve bazı AB (Avrupa Birliği) üye ülkelerdeki EA satışları dünya toplamının %95'ini oluşturuyor. Çin, 2016'da satılan 336.000 ve 2016 sonunda 1 milyonu aşan toplam EA sayısı ile küresel olarak en büyük EA pazarıdır [12]. EA fiyatlarının yüksek olması ve bazı teknik faktörler (seyir menzili gibi) sebebiyle EA'ların pazar rekabet gücü İYMA'lardan çok daha düşüktür. İngiliz ve Fransız hükümetleri, 2040'tan itibaren İYMA'ların satışını yasaklayan politikalar uygulayarak EA'ları teşvikini planlamaktadırlar [10]. Türkiye'de 2021 yılı için toplam elektrikli ve hibrit otomobil sayısı 84 binden fazladır. Bu da toplam otomobillerin %0,62 oluşturmaktadır.

EA'ların avantajları sıfır emisyonlu sürüş sağlaması, hafif mekanizma gürültüsü, elektrik motorunun iyi teknik parametreleri (yüksek tork), motor yağını değiştirmek gerekmemesi ve düşük bakım maliyeti iken dezavantajları ise yüksek satın alma maliyeti, altyapı eksikliği ve sınırlı seyir menzili olmasıdır [13]. Şekil 7.7'de EA'ların yapısı verilmiştir.



Şekil 7.7: Elektrikli araç yapısı [74].

EA'ların çalışması pilden alınan elektrik enerjisinin elektrik motoru yardımıyla mekanik enerjiye çevrilmesi ile mekanik enerjinin tahrik sistemleriyle tekerleğe iletilmesi ile sağlanmaktadır. EA'ların ana parçaları, pil paketi, elektrik motoru, güç kontrol sistemleri ve mekanik iletim sistemleridir [75].

Yolcu taşımacılığında toplu taşıma önemli bir yere sahiptir. Toplu taşıma araçlarında yakıt olarak da dizel ya da elektrik kullanılmaktadır. Dizel bir toplu taşıma aracı bireysel araç kullanımına göre çevre açısından daha uygundur. Ancak yine dizel bir otobüsler önemli miktarlarda SG (sera gazı) üretmektedir. Buna göre elektrikli otobüslerin kullanımı çevre açısından daha sağlıklıdır ve elektrikli otobüs kullanımı yıllar itibariyle artmaktadır. Örnek olarak ABD'de 2007 yılında satılan otobüslerin %2'si elektrikli iken 2015 yılında bu oran %20'ye yükselmiştir [10].

Geleceğin araçları EA'lardır. EA'lara geçiş döneminde HA'ların kullanımı daha doğru olarak görülmektedir. Çünkü İYMA'ların çok belirli yakıt tüketimi ve çevresel zararları mevcuttur. EA'lara geçiş sürecinde altyapı avantajları olan HA'ların kullanılması ile dünyaya daha az zarar verilecektir. Bu sebeple Türkiye gibi birçok ülke HA ve EA'ları kullanılması için devlet çapında belirli avantajlar sağlayarak bu araçları teşvik etmektedirler.

BÖLÜM 8. MATERYAL VE METOD

8.1. Türkiye’de Gelecek Yıllar İçin Araç Sayısı Projeksiyonu

Türkiye’de otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyon gelecek yıllar için sayıları, çoklu regresyon analizi yapılarak tahmin edilmiştir. Regresyon analizi, bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen bir yöntemdir. Eğer bağımsız değişken sayısı tek ise tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla ise çok değişkenli (çoklu) regresyon analizi olarak sınıflandırılmaktadır [76].

Regresyon analizinin birçok modeli olarak doğrusal regresyon veya doğrusal olmayan regresyon, basit (tek değişkenli) regresyon, çoklu doğrusal (Y tek, X çok değişkenli) regresyon ve çoklu (Y ve X çok değişkenli) regresyon olarak sıralayabiliriz [77]. Tek değişkenli doğrusal regresyon analizi aşağıdaki formülle bulunmaktadır.

$$Y = a + b \cdot X + c \quad (8.1)$$

Bu denklemde Y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, a doğrunun Y eksenini kestiği noktayı, b doğrunun eğimini ve c şansa bağlı hata terimini göstermektedir. İlk aşamada taşıt sayılarını tahmin ederken basit doğrusal regresyon değil, çoklu doğrusal regresyon kullanılmaktadır. Basit regresyon analizinde, bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasında fonksiyonel ilişki olup olmadığı incelenmektedir. Çoklu regresyon analizinde bir bağımlı, iki ve daha çok bağımsız değişken arasındaki fonksiyonel ilişki incelenmektedir. Çoklu doğrusal regresyon modeli aşağıda verilmiştir [77].

$$Y = a + b_1 \cdot X_1 + \dots + b_n \cdot X_n + c \quad (8.2)$$

Çoklu doğrusal regresyon modelinde $X_1 \dots X_n$ bağımsız değişkenleri, Y bağımlı değişkeni, $b_1 \dots b_n$ kısmi regresyon katsayıları, c hata terimini temsil etmektedir. Çoklu doğrusal

regresyon analizinde bağımlı değişken Y , bağımsız değişken X_1 , X_2 ve X_n ile gösterilişi Tablo 8.1’de verilmiştir.

Tablo 8.1: Çoklu regresyon modeli verilerin gösterimi [78].

Gözlem	Y	X_1	X_2	X_3	...	X_n
1	Y_1	X_{11}	X_{21}	X_{31}	...	X_{n1}
2	Y_2	X_{12}	X_{22}	X_{32}	...	X_{n2}
...
k	Y_k	X_{1k}	X_{2k}	X_{3k}	...	X_{nk}

Hata terimi c aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$c = Y - \hat{Y} \quad (8.3)$$

\hat{Y} , Y ’nin tahmini modelidir ve aşağıdaki şekilde bulunmaktadır.

$$\hat{Y} = a + \hat{b}_1 \cdot X_1 + \dots + \hat{b}_n \cdot X_n \quad (8.4)$$

a tahmini kesişme noktası, $\hat{b}_1 \dots \hat{b}_n$ tahmini regresyon katsayılarıdır.

Çoklu regresyon modelinde katsayılar hesaplanırken bağımsız değişkenlerin ortalamadan sapmaları kullanılmaktadır. Aşağıda a , $\hat{b}_1 \dots \hat{b}_n$ katsayılarının nasıl tahmin edileceği, x_i ve y değerlerinin eşiti olan ifadeler de aşağıda verilmiştir ($i=1, 2, \dots, n$).

$$x_i = X_i - \bar{X}_i \quad (8.5)$$

$$y = Y - \bar{Y} \quad (8.6)$$

$$a = \bar{Y} - \hat{b}_1 \cdot \bar{X}_1 - \dots - \hat{b}_n \cdot \bar{X}_n \quad (8.7)$$

$$a = \frac{\left(\sum_{i=1}^{i=n} x_i^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=n} y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^{i=n} x_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=n} x_i \cdot y_i \right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=n} x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^{i=n} x_i \right)^2} \quad (8.8)$$

$$\hat{b}_i = \frac{n \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=n} x_i \cdot y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^{i=n} x_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=n} y_i \right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=n} x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^{i=n} x_i \right)^2} \quad (8.9)$$

Regresyon katsayıları hesaplanıp regresyon tahmin modeli kurulduktan sonra belirlilik katsayısı R^2 hesaplanarak katsayı anlamlılığı, modelin uygunluğu gözlemlenmektedir.

$$R^2 = \frac{\hat{b}_1 \cdot \sum y \cdot x_1 + \hat{b}_2 \cdot \sum y \cdot x_2 + \dots + \hat{b}_n \cdot \sum y \cdot x_n}{\sum y^2} \quad (8.10)$$

İlk aşamada gelecek araç sayılarını tahmin etmek için Excel’de (Veri Çözümleme) çoklu doğrusal regresyon analizi yapılarak 15-64 yaş nüfusu, GSYİH (gayri safi yurt içi hasıla), hanehalkı sayısı ve araç sayıları arasındaki doğrusal ilişki bulunmuştur. Aşağıdaki formüle göre çoklu doğrusal regresyon yapıldı;

$$AS = a + b_1 \cdot GSYİH + b_2 \cdot HHS + b_3 \cdot YN + c \quad (8.11)$$

Bu modelde, AS araç sayısı, a kesişme noktası, b_1 , b_2 ve b_3 regresyon katsayılarını, $GSYİH$ gayri safi yurt içi hasılatı, HHS hanehalkı sayısı, YN 15-64 yaş nüfusu temsil etmektedir. Denklem 8.12’i aşağıdaki şekildedir.

$$Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 \quad (8.12)$$

Burada, Y tahmini araç sayısını, a kesişme noktası, b_1 , b_2 ve b_3 regresyon katsayıları, X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. X_1 , X_2 ve X_3 sırası ile Türkiye için GSYİH’ı, hanehalkı sayısı ve 15-64 yaş grubu nüfus olarak kabul edilmiştir.

Otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyon sayılarını bulmak için, 2007-2020 yılları arasındaki GSYH, 15-64 yaş aralığı nüfus, hanehalkı sayısı (X_1 , X_2 ve X_3) ve araç sayısı (Y) kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucu her bir araç için bulunan doğrusal ilişki kullanılarak 2025-2050 yılları arasında için araç sayıları tahmin edildi. Regresyon analizinde kullanılan veriler Tablo 8.2’de verilmiştir.

Tablo 8.2: Hesaplamalarda kullanılan istatiksels veriler [11], [79], [80], [81], [60].

Yıl	GSYİH (Milyon ABD doları)	Hanehalkı sayısı (Milyon)	15-64 yaş arası nüfus (Milyon)	Toplam araç sayısı (Milyon)
2007	1,38	17,337894	46,94369	13,022945
2008	1,392	17,794238	47,83509	13,765395
2009	1,325	18,427322	48,618564	14,316700
2010	1,437	18,808172	49,51667	15,095603
2011	1,597	19,311637	50,346979	16,089528
2012	1,673	20,051454	51,088202	17,033413
2013	1,816	20,476409	51,926356	17,939447
2014	1,906	21,372124	52,640512	18,828721
2015	2,022	21,824712	53,359594	19,994472
2016	2,089	22,29672342	54,237586	21,090424
2017	2,245	23,03295491	54,881652	22,218945
2018	2,312	23,221218	55,633349	22,865921
2019	2,333	24,00194	56,391925	23,156975
2020	2,374	24,604086	56,59257	24,144857

Tablo 8.2’de toplam araç sayısı verilmiştir. Ancak her bir araç (otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyon) için ayrı-ayrılıkta araç sayıları alınarak regresyon analizi yapılmıştır. 2025-2050 yılları arasında araç sayılarını bulmak için bulunan regresyon denklemlerinde 2025-2050 yılları arasında GSYİH’ı OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) data’nın yaptığı uzun vadeli GSYİH tahmini’den [79], hanehalkı sayısı ve 15-64 yaş arası nüfus Güzel’den [11] alınarak hesaplanmıştır.

8.2. Gelecekteki Araç Türüne Göre Gözönüne Alınan Emisyon Senaryoları

Bu çalışmada Türkiye’deki farklı araç entegrasyon planları dikkate alınarak İYMA (içten yanmalı motorlu araç), HA (hibrit araç) ve EA’ların (elektrikli araç) 2015-2050 yılları arasında CO₂ emisyonu tahmin etmek için 5 temel senaryo modellenmiştir. Senaryolar için gerekli verilerin bir kısmı hesaplanmış diğer kısmı ise TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) de dahil olmak üzere birçok veri tabanı, tez ve makalelerden toplanmıştır.

Analizde otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyon için temel 5 senaryo grubuna göre, toplam 16 senaryo modellenmiştir: (1) %100 İYMA; (2) %100 HA; (3) %100 EA; (4) %50 İYMA ve %50 EA karışımı; Aşağıdaki tablolarda senaryo özetleri verilmiştir.

Tablo 8.3: Araçların 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu senaryo özetleri.

Senaryolar	İYMA	HA	EA
1 Senaryo 1A	%100 Dizel	%0	%0
2 Senaryo 1B	%100 Benzin	%0	%0
3 Senaryo 2A	%0	%100 Dizel HEA	%0
4 Senaryo 2B	%0	%100 Dizel KHEA	%0
5 Senaryo 2C	%0	%100 Benzin HEA	%0
6 Senaryo 2D	%0	%100 Benzin KHEA	%0
7 Senaryo 3A	%0	%0	%100 Mevcut politika
8 Senaryo 3B	%0	%0	%100 Yenilenebilir politika
9 Senaryo 4A	%50 Dizel/Benzin	%0	%50 Yenilenebilir politika (2025 yılından itibaren)
10 Senaryo 4B	%50 Dizel/Benzin	%0	%50 Yenilenebilir politika (2035 yılından itibaren)

HEA: Hibrit elektrikli, KHEA: Kablolu hibrit elektrikli. Senaryo 4A ve Senaryo 4B için otomobilde %50 benzin, minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyonunda %50 dizel yakıt kullanımı kabul edilmiştir.

Tablo 8.4: Elektrik üretimi projeksiyonlarına göre araçların 2015-2030 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu senaryo özetleri.

Elektrik üretim projeksiyonları	RPS	MPS	YES
Senaryolar	%100 EA kullanımı için		
11 Senaryo 3.1	%100	%0	%0
12 Senaryo 3.2	%0	%100	%0
13 Senaryo 3.3	%0	%0	%100

RPS: Resmi planlar senaryosu, MPS: Mevcut politikalar senaryosu, YES: Yenilenebilir enerji senaryosu

Tablo 8.5: Farklı oranlarda İYMA, HA ve EA'ların entegre projeksiyonlarına göre araçların 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu senaryo özetleri.

Farklı oranlar otomobil entegre projeksiyonlarına göre		EA	HEA	KHEA
	Senaryolar	2050 yılı için mevcut araç oranları		
14	Senaryo 5A	%87	%2	%5
15	Senaryo 5B	%5	%88	%5
16	Senaryo 5C	%6	%2	%85

Çin için yapılan 3 farklı otomobil yakıt projeksiyonları Türkiye için uyarlanarak 2025-2050 yılları arasında yıllar itibariyle değişen otomobil yakıt oranları şeklinde kullanılmıştır [82].

8.2.1. Senaryo 1 (%100 İYMA)

%100 İYMA'ların toplam CO₂ emisyon seviyesini tahmin etmek için denklem 8.15 kullanıldı [14].

$$E_{IYMA} = (D \cdot C \cdot G_{IYMA}) \quad (8.15)$$

E_{IYMA} : İYMA'ların toplam CO₂ emisyonu (MtCO₂).

D : Araç başına kat edilen ortalama mesafe (km). 2015-2020 yılları arası D değeri TÜİK'ten alınmıştır [61]. 2025-2050 yılları arasında D değerleri olarak 2015-2019 yılları arasında değerlerin ortalama değeri kabul edilmiştir. Ek olarak sadece otomobil için 2025-2050 yılları arasında D değerleri Logan'dan [14] BK ve Çin değerlerinin değişimine göre alınarak hesaplanmıştır.

C : Araç sayısı. 2015-2020 yılları arası D değeri TÜİK'ten alınmıştır [60]. 2025-2050 yılları arasında C değerleri regresyon analizi ile bulunmuştur.

G_{IYMA} : İYMA'ların km başına karbon dioksit gramı (gCO₂/km). 2015-2050 yılları arasında G_{IYMA} değerleri her yıl için Brand'dan [83] uygun yakıt türüne göre Senaryo 1A ve Senaryo 1B için otomobil "Car Medium Diesel-Gasoline EURO 6-12", minibüs "Truck PanelSideVan Diesel-Gasoline EURO 6-12", otobüs "Bus Urban Diesel EURO 6-12", kamyonet "Truck OtherVan Diesel-Gasoline EURO 6-12" ve kamyon için ise "Truck Medium Diesel EURO 6" ve "Truck Medium Diesel EURO 6-12" değerleri kullanılmıştır.

8.2.2. Senaryo 2 (%100 HA)

%100 HA'ların toplam CO₂ emisyon seviyesini tahmin etmek için 8.16 denklemi kullanıldı [14].

$$E_{HA} = (D \cdot C \cdot G_{HA}) \quad (8.16)$$

E_{HA} : HA'ların toplam CO₂ emisyonu (MtCO₂).

D : Araç başına kat edilen ortalama mesafe (km). Senaryo 1 değerleri kullanılmıştır.

C : Araç sayısı. Senaryo 1 değerleri kullanılmıştır.

G_{HA} : HA'ların km başına karbon dioksit gramı (gCO₂/km). 2015-2050 yılları arasında G_{HA} değerleri her yıl için Brand'dan [83] uygun yakıt türüne göre Senaryo 2A, Senaryo 2B, Senaryo 2C ve Senaryo 2D için otomobil "Car Medium Diesel-Gasoline HEV-PHEV EURO 6-12", minibüs "Truck PanelSideVan Diesel HEV-PHEV EURO 6-12", otobüs "Bus Urban Diesel HEV-PHEV EURO 6-12", kamyonet "Truck OtherVan Diesel HEV-PHEV EURO 6-12" değerleri kullanılmıştır.

8.2.3. Senaryo 3 (%100 EA)

%100 EA'larda toplam CO₂ emisyon seviyesini tahmin etmek için denklem 8.17 kullanılmıştır [14].

$$E_{EA} = (D \cdot C \cdot (CI \cdot K) \cdot F) \quad (8.17)$$

E_{EA} : EA'ların toplam CO₂ emisyonu (MtCO₂)

D : Araç başına kat edilen ortalama mesafe (km). Senaryo 1 değerleri kullanılmıştır.

C : Araç sayısı. Senaryo 1 değerleri kullanılmıştır.

CI : Elektrik üretimindeki karbon yoğunluğu (gCO₂/kWh). Denklem 8.18 kullanılarak bulunmuştur.

K : Enerji verimliliği (kWh/km). 2015-2050 yılları arasında K değerleri her yıl için Brand'dan [83] otomobil "Car Medium Electricity EURO 6-12", minibüs "Truck PanelSideVan Electricity EURO 6-12", otobüs "Bus Urban Electricity EURO 6-12",

kamyonet “Truck OtherVan Electricity EURO 6-12” ve kamyon için ise Senaryo 3A’da 3 ayrı değer olarak “Truck Medium Electricity Standart 1”, “Truck Medium Electricity Standart 2” ve “Truck Medium Electricity Standart 3” ayrı-ayrılıkta, Senaryo 3B’de ise sadece “Truck Medium Electricity Standart 3” değerleri kullanılmıştır.

F : Elektrik üretimindeki kayıp veya enerji üretim verimsizlikleri için bir düzeltici faktör. 2015-2020 yılları arasında F değeri Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketinden (TEİAŞ) [84] alınmıştır. 2025-2050 yılları arasında F değerleri ise 1993-2020 yılları arasında kayıp oranlarına göre Excel Tahmin Sayfası kullanılarak tahmin edilmiştir.

Elektrik üretimindeki karbon yoğunluğunu bulmak için denklem 8.18 kullanılmıştır.

$$CI = \sum_i CI_i \cdot \% \frac{n_i}{100} \quad (8.18)$$

CI_i : i kaynağına göre elektrik üretimindeki karbon yoğunluğu (gCO₂/kWh). Tablo 6.1 değerleri kabul edilmiştir.

n_i : i kaynağının elektrik üretim yüzdesi. 2015-2020 yılları arasında n_i değerleri Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK) lisanslı elektrik üretimi kaynak yüzdeleri alınmıştır. 2025-2050 yılları arasında n_i değerleri ise Senaryo 3A için mevcut politikalar ile elektrik üretimi kabul edildiği için 2015-2020 yılları arasındaki değerlerin orta değeri kabul edilmektedir. Senaryo 3B için ise yenilenebilir enerji politikası ile elektrik üretimi Kilickaplan’dan [64] değerleri kullanılmıştır. 2025-2050 yılları arasında n_i değerleri Senaryo 3.1, 3.2 ve 3.3 için 2030 yılı CI değeri Dünya Doğal Hayatı Koruma Vakfının (WWF) “Türkiye’nin yenilenebilir gücü” raporundaki [65] sırasıyla RPS, MPS ve YES’daki elektrik üretimi kaynak yüzdeleri alınmıştır.

8.2.4. Senaryo 4 (%50 İYMA ve %50 EA)

%50 İYMA ve %50 EA’larda toplam CO₂ emisyon seviyesini tahmin etmek için denklem 8.19 kullanılmıştır [14].

$$E_{Komb.} = \% \frac{n_{İYMA}}{100} \cdot (D \cdot C \cdot G_{İYMA}) + \% \frac{n_{EA}}{100} \cdot (D \cdot C \cdot (CI \cdot K) \cdot F) \quad (8.19)$$

$E_{Komb.}$: İYMA ve EA kombinasyonunun toplam CO₂ emisyonu.

D : araç başına kat edilen ortalama mesafe (km). Senaryo 1 değerleri kullanılmıştır.

C : araç sayısı. Senaryo 1 değerleri kullanılmıştır.

$G_{İYMA}$: İYMA'ların km başına karbon dioksit gramı (gCO₂/km). 2015-2050 yılları arasında $G_{İYMA}$ değerleri her yıl için Brand'dan [83] Seneryo 4A ve Senaryo 4B için otomobil "Car Medium Gasoline EURO 6-12", minibüs "Truck PanelSideVan Diesel EURO 6-12", otobüs "Bus Urban Diesel EURO 6-12", kamyonet "Truck OtherVan Diesel EURO 6-12" ve kamyon için ise "Truck Medium Diesel EURO 6-12" değerleri kullanılmıştır

CI : elektrik üretimindeki karbon yoğunluğu (gCO₂/kWh). Senaryo 3 değerleri kullanılmıştır.

K : enerji verimliliği (kWh/km). Otomobil, minibüs, otobüs ve kamyonet için Senaryo 3 değerleri kullanılmıştır. Kamyon için ise "Truck Medium Electricity Standart 3" değeri kullanılmıştır

F : elektrik üretimindeki kayıp veya enerji üretim verimsizlikleri için bir düzeltici faktör. Senaryo 3 değerleri kullanılmıştır.

$n_{İYMA}$: İYMA yüzdesi. Senaryo 4A için 2020 yılına kadar %100 İYMA ve 2025 yılından 2050 yılına kadar ise %50 İYMA kabul edilmiştir. Senaryo 4B için 2030 yılına kadar %100 İYMA ve 2035 yılından 2050 yılına kadar ise %50 İYMA kabul edilmiştir.

n_{EA} : EA yüzdesi. Senaryo 4A için 2020 yılına kadar %0 EA ve 2025 yılından 2050 yılına kadar ise %50 EA kabul edilmiştir. Senaryo 4B için 2030 yılına kadar %100 İYMA ve 2035 yılından 2050 yılına kadar ise %50 EA kabul edilmiştir [14].

8.2.5. Senaryo 5 (farklı oranlarda İYMA, HA ve EA)

Farklı oranlarda İYMA, HA ve EA'larda toplam CO₂ emisyon seviyesini tahmin etmek için denklem 8.20 kullanılmıştır.

$$E = \% \frac{n_{IYMA}}{100} \cdot (D \cdot C \cdot G_{IYMA}) + \% \frac{n_{HA}}{100} \cdot (D \cdot C \cdot G_{HA}) + \% \frac{n_{EA}}{100} \cdot (D \cdot C \cdot (CI \cdot K) \cdot F) \quad (8.20)$$

E : Farklı oranlarda İYMA, HA ve EA'ların toplam CO₂ emisyonu.

D : Araç başına kat edilen ortalama mesafe (km). Senaryo 1 değerleri kullanılmıştır.

C : Araç sayısı. Senaryo 1 ile aynı şekilde bulunmuştur.

G_{IYMA} : İYMA'ların km başına karbon dioksit gramı (gCO₂/km). Senaryo 1 değerleri kullanılmıştır.

G_{HA} : HA'ların km başına karbon dioksit gramı (gCO₂/km). Senaryo 2 değerleri kullanılmıştır.

CI : Elektrik üretimindeki karbon yoğunluğu (gCO₂/kWh). Senaryo 3 değerleri kullanılmıştır.

K : Enerji verimliliği (kWh/km). Senaryo 3 değerleri kullanılmıştır.

F : Elektrik üretimindeki kayıp veya enerji üretim verimsizlikleri için bir düzeltici faktör. Senaryo 3 değerleri kullanılmıştır.

n_{IYMA} : İYMA yüzdesi, n_{HA} : HA yüzdesi ve n_{EA} : EA yüzdesi. 2015-2020 yılları arası verileri TÜİK'ten otomobillerin yakıt türlerine göre dağılımı verileri göre kabul edilmiştir. 2025-2050 yılları arasında n_{IYMA} , n_{HA} ve n_{EA} değerleri ise Jian'dan [82] Senaryo 5A için EA entegre senaryosuna, Senaryo 5B için HEA entegre senaryosuna ve Senaryo 5C için ise KHEA entegre senaryosuna göre bulunmuştur.

8.3. Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi İle Otomobil Sayısı Tahmini Ve CO₂ Projeksiyonları

İkinci aşamada doğrusal olmayan regresyon analizi ile gelecekteki otomobil sayısı bulunmuştur. Bu zaman bağımlı değişkenler çoklu doğrusal regresyon analizinde olduğu gibi GSYH, hanehalkı sayısı ve 15-64 yaş arası nüfus değerleri kullanılarak otomobil sayısı arasındaki polinomal ilişki araştırılmıştır. Aşağıdaki formüle göre çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi yapıldı.

$$OS = a + b_1 \cdot GSYİH^2 + b_2 \cdot GSYİH + b_3 \cdot HHS^3 + b_4 \cdot HHS^2 + b_5 \cdot HHS + b_6 \cdot YN + c \quad (8.13)$$

Bu modelde, *OS* otomobil sayısı, *a* kesişme noktası, *b₁*, *b₂*, *b₃*, *b₄*, *b₅* ve *b₆* regresyon katsayılarını, *GSYİH* gayri safi yurt içi hasılatı, *HHS* hanehalkı sayısını, *YN* 15-64 yaş nüfusu, *c* hata terimi temsil etmektedir. Denklem 8.14'i aşağıdaki şekildedir.

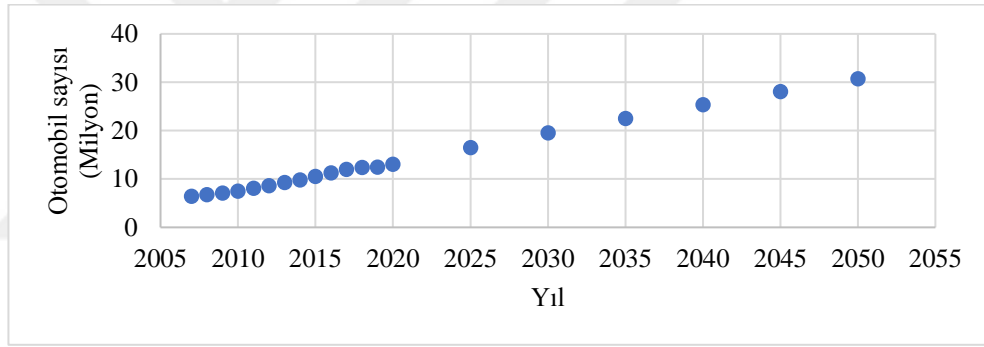
$$Y = a + b_1 \cdot X_1^2 + b_2 \cdot X_1 + b_3 \cdot X_2^3 + b_4 \cdot X_2^2 + b_5 \cdot X_2 + b_6 \cdot X_3 + c \quad (8.14)$$

Burada, *Y* tahmini otomobil sayısını, *a* kesişme noktası, *b₁*, *b₂*, *b₃*, *b₄*, *b₅* ve *b₆* regresyon katsayıları, *X₁*, *X₂* ve *X₃* bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. *X₁*, *X₂* ve *X₃* sırası ile Türkiye için GSYİH'ı, hanehalkı sayısı ve 15-64 yaş grubu nüfus olarak kabul edilmiştir. Daha sonra otomobil için 4 temel senaryo grubuna göre sadece otomobil sayısının değişeceği şekilde aynı şekilde hesaplama yapılarak 2015-2050 yılları arasında CO₂ emisyonu için toplam 10 senaryo projeksiyonu yapılmıştır.

BÖLÜM 9. BULGULAR VE TARTIŞMA

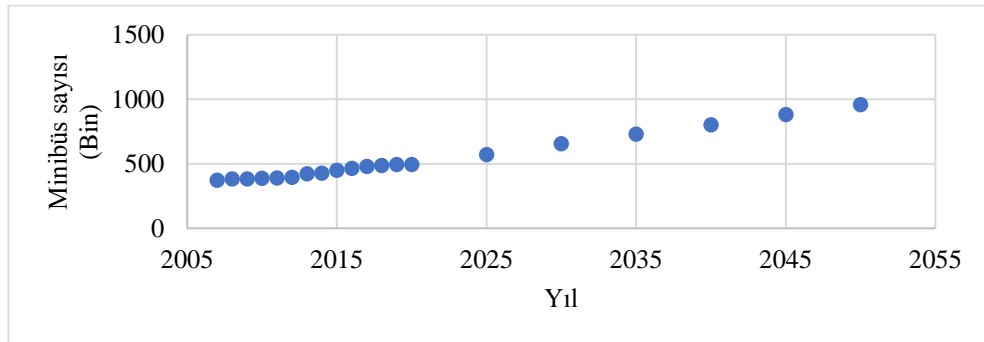
9.1. Araç Sayısı Hesabı (Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi)

Türkiye için 2025-2050 yılları arasında otomobil sayısı, GSYİH (gayri safi yurt içi hasıla), hanehalkı sayısı ve 15-64 yaş arası nüfus verileri ile regresyon analizi yapılarak bulunmuştur ($a=-8242747,755$, $b_1=2763987,821$, $b_2=430139,7986$ ve $b_3=73589,64344$) ve Şekil 9.1’de verilmiştir.



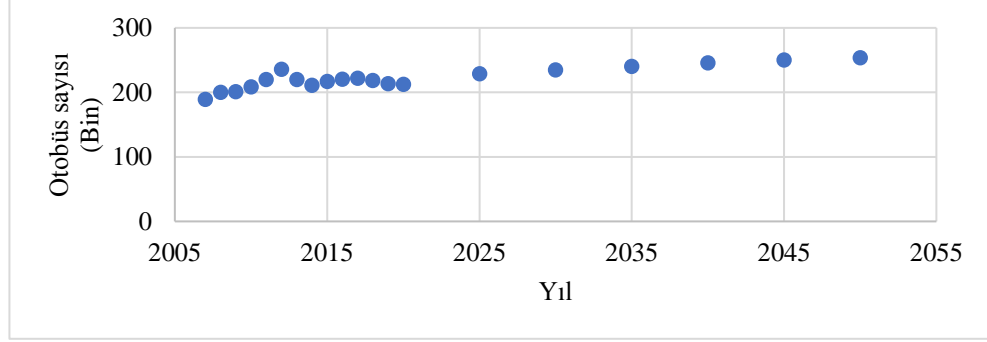
Şekil 9.1: Türkiye’de otomobil sayısı gelecek senaryosu.

Türkiye için 2025-2050 yılları arasındaki minibüs sayısı, GSYİH, hanehalkı sayısı ve 15-64 yaş arası nüfus verileri ile regresyon analizi yapılarak bulunmuştur ($a=277407,3644$, $b_1=91776,69755$, $b_2=10168,30984$ ve $b_3=-4394,116559$) ve Şekil 9.2’de verilmiştir.



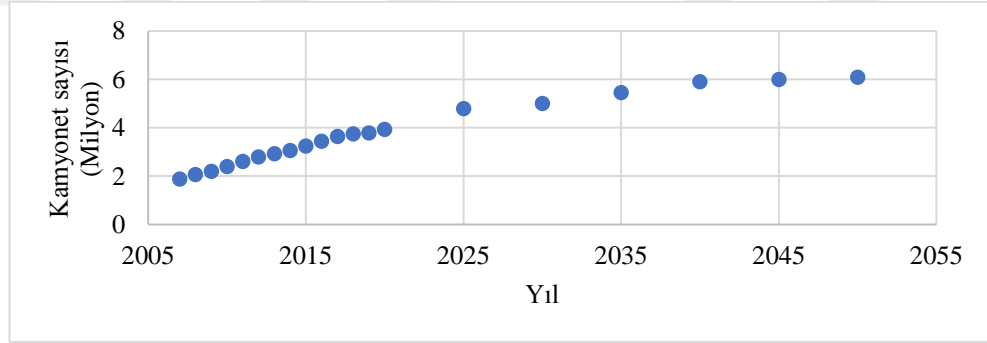
Şekil 9.2: Türkiye’de minibüs sayısı gelecek senaryosu.

Türkiye için 2025-2050 yılları arasındaki otobüs sayısı, GSYİH ve hanehalkı sayısı verileri ile regresyon analizi yapılarak bulunmuştur ($a=144600,7642$, $b_1=-12156,32622$ ve $b_2=4373,740222$) ve Şekil 9.3'te verilmiştir.



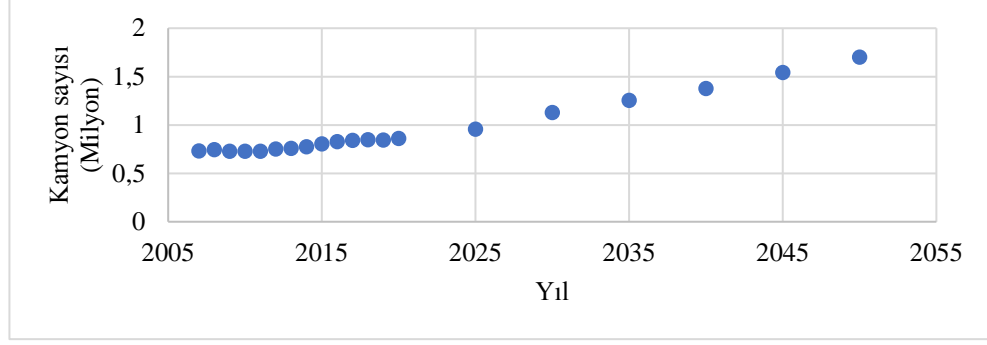
Şekil 9.3: Türkiye'de otobüs sayısı gelecek senaryosu.

Türkiye için 2025-2050 yılları arasındaki kamyonet sayısı, GSYİH, hanehalkı sayısı ve 15-64 yaş arası nüfus verileri ile regresyon analizi yapılarak bulunmuştur ($a=-7363372,298$, $b_1=265025,2041$, $b_2=-22328,78159$ ve $b_3=198008,4$) ve Şekil 9.4'te verilmiştir.



Şekil 9.4: Türkiye'de kamyonet sayısı gelecek senaryosu.

Türkiye için 2025-2050 yılları arasındaki kamyon sayısı, GSYİH, hanehalkı sayısı ve 15-64 yaş arası nüfus verileri ile regresyon analizi yapılarak bulunmuştur ($a=1171761,459$, $b_1=150119,2442$, $b_2=30027,99287$ ve $b_3=-24825,68339$) ve Şekil 9.5'te verilmiştir.

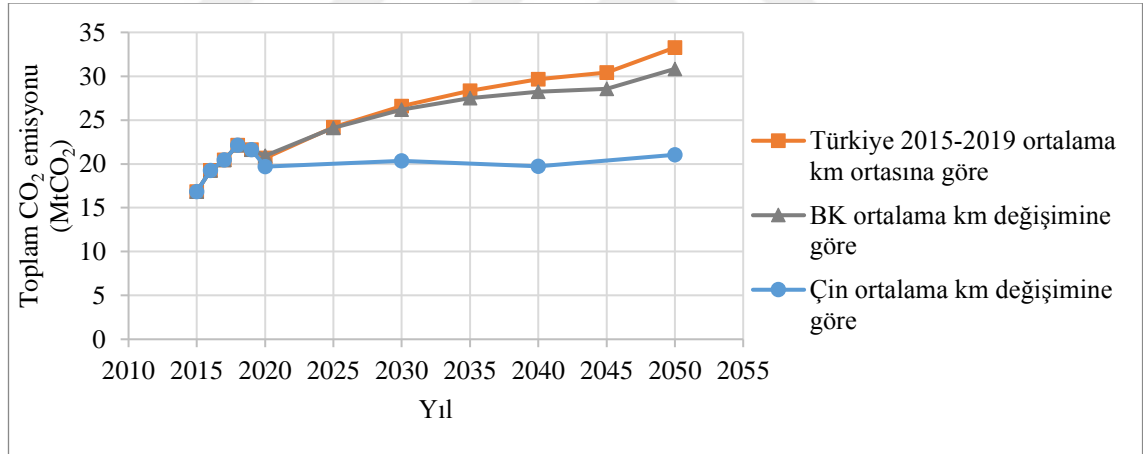


Şekil 9.5: Türkiye’de kamyon sayısı gelecek senaryosu.

9.2. Araçların CO₂ Emisyon Hesabı

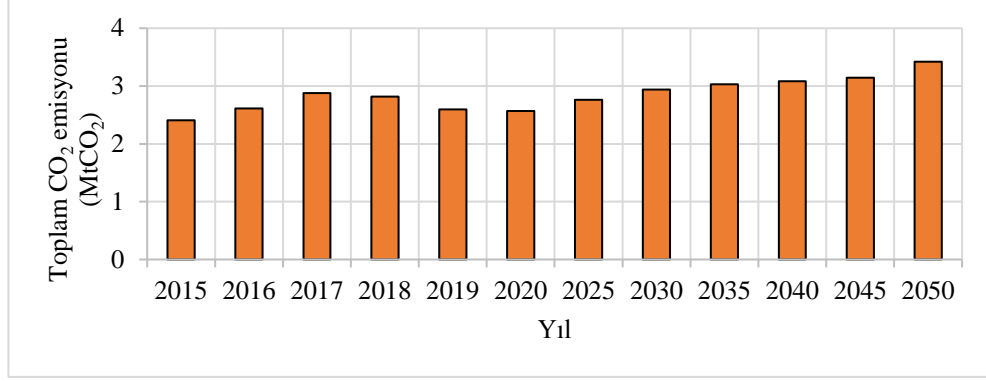
9.2.1. Senaryo 1A (%100 İYMA-dizel)

Şekil 9.6’ Türkiye’deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre %100 dizel olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.

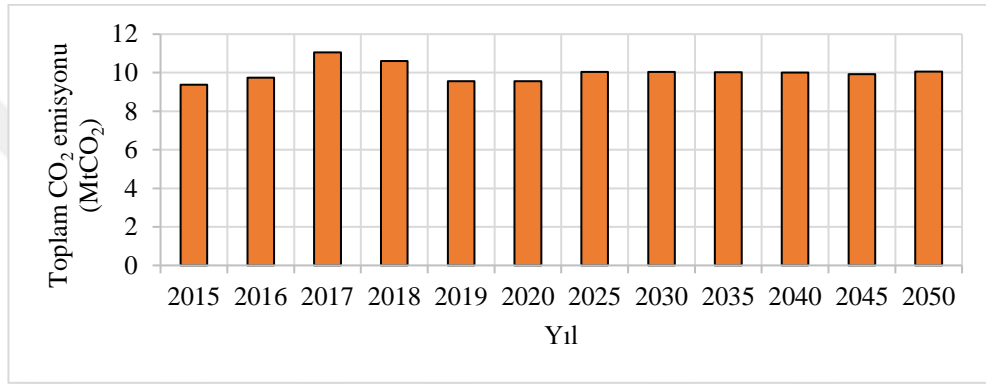


Şekil 9.6: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

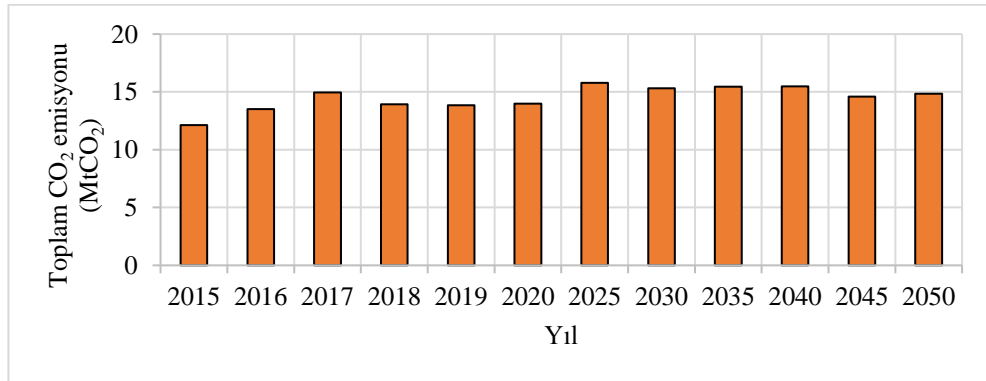
Aşağıdaki şekillerde Türkiye’deki minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyonlar %100 dizel olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



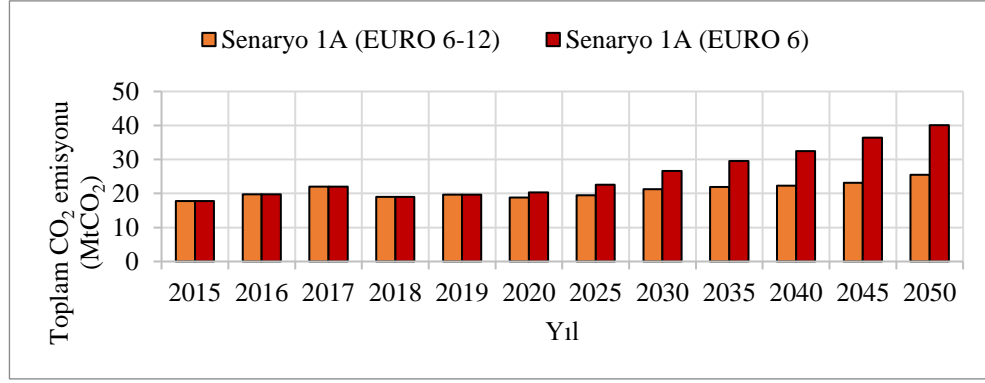
Şekil 9.7: Türkiye'deki minibüslerin %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.8: Türkiye'deki otobüslerin %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



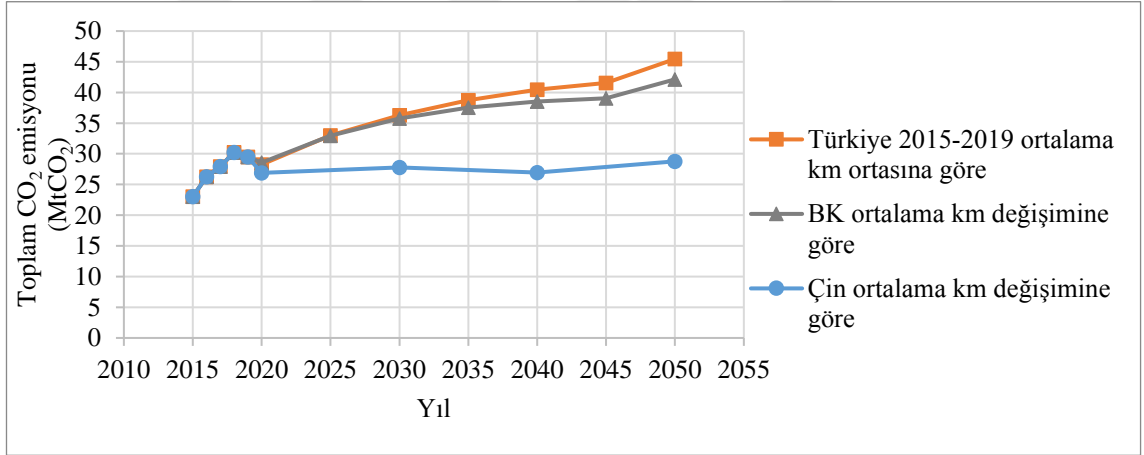
Şekil 9.9: Türkiye'deki kamyonetlerin %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.10: Türkiye’deki kamyonların %100 dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

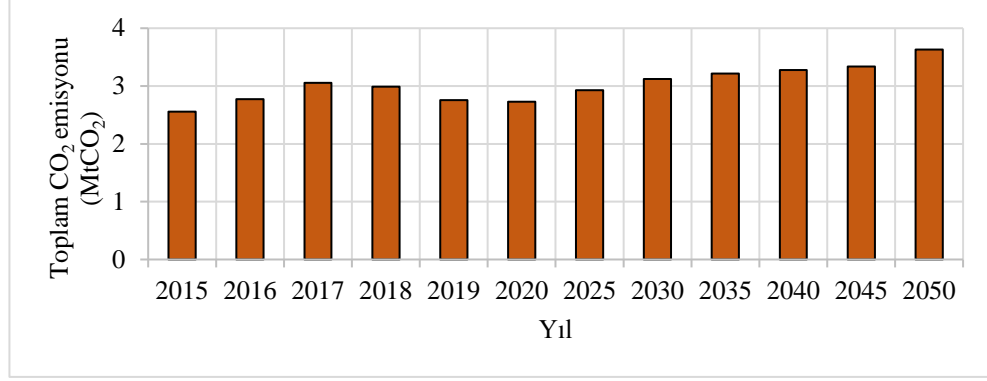
9.2.2. Senaryo 1B (%100 İYMA-benzin)

Şekil 9.11’de Türkiye’deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre %100 benzinli olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.

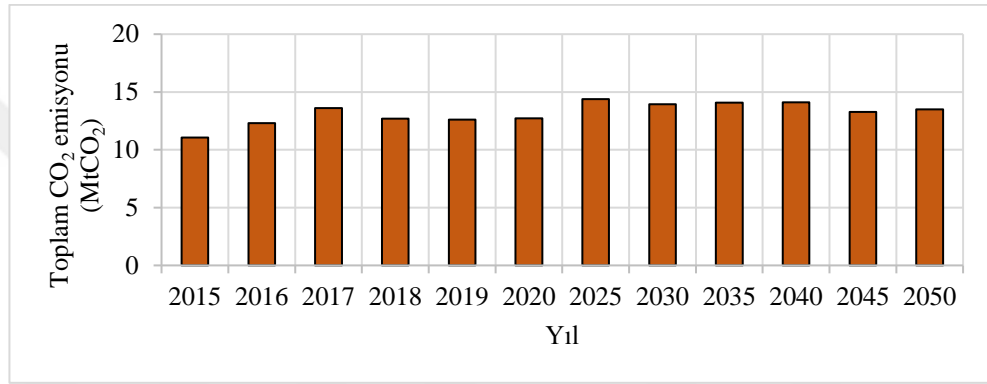


Şekil 9.11: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

Aşağıdaki şekillerde Türkiye’deki minibüs ve kamyonetler %100 benzinli olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



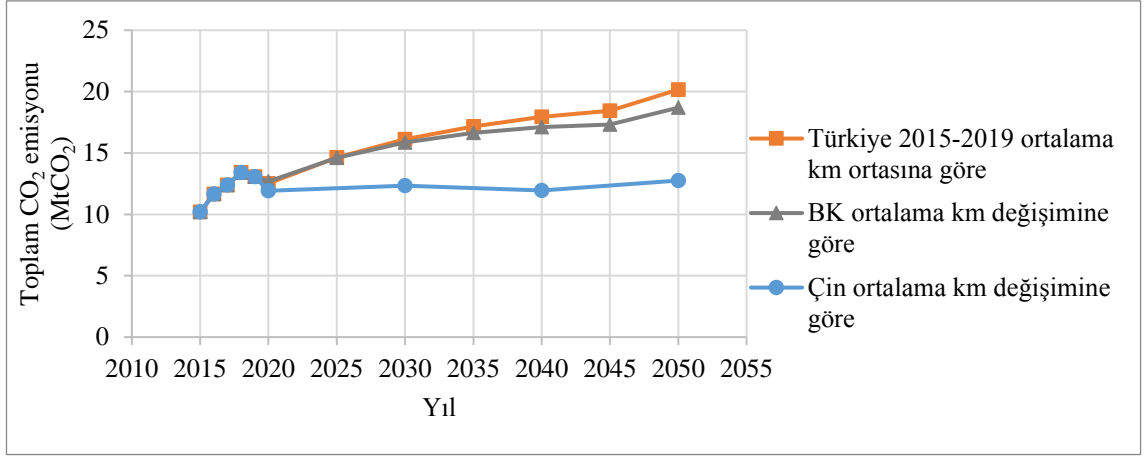
Şekil 9.12: Türkiye’deki minibüslerin %100 benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.13: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

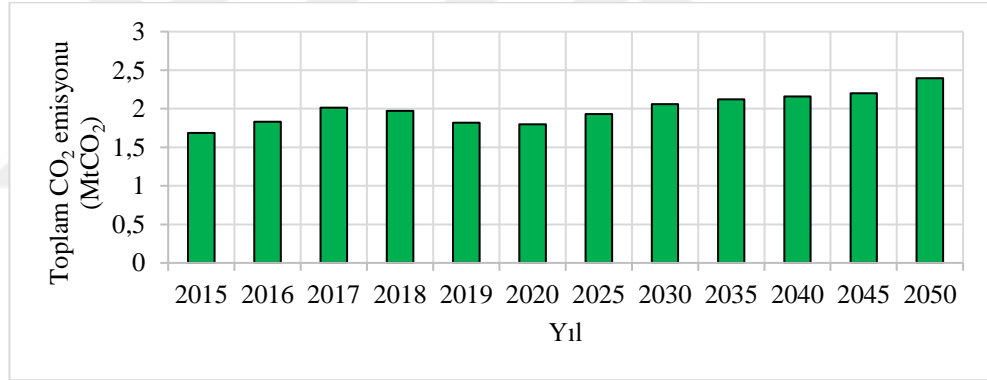
9.2.3. Senaryo 2A (%100 HEA-dizel)

Şekil 9.14’te Türkiye’deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre %100 dizel hibrit (hibrit elektrikli araç) olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.

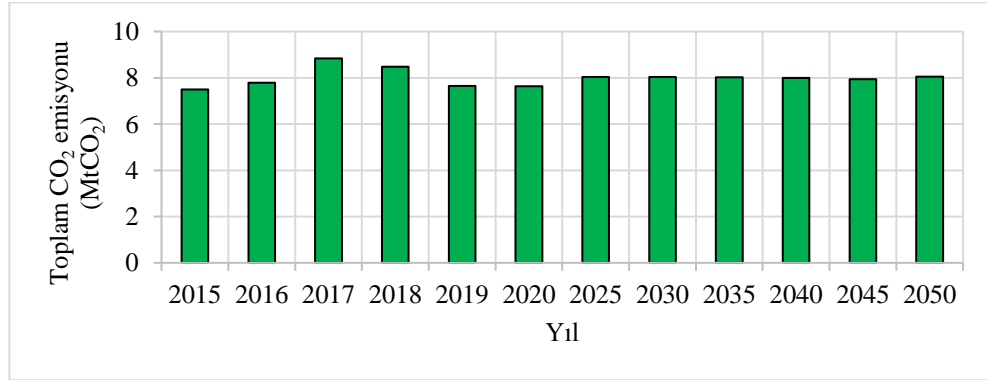


Şekil 9.14: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

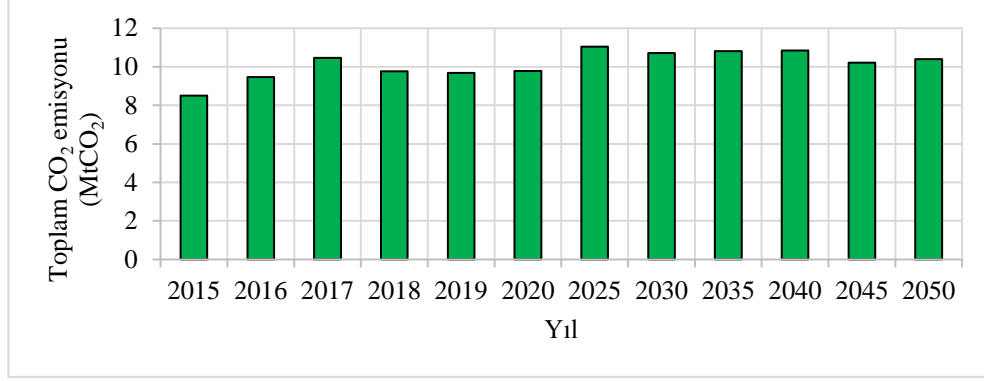
Aşağıdaki şekillerde Türkiye’deki minibüs, otobüs ve kamyonetler %100 dizel hibrit olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



Şekil 9.15: Türkiye’deki minibüslerin %100 hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



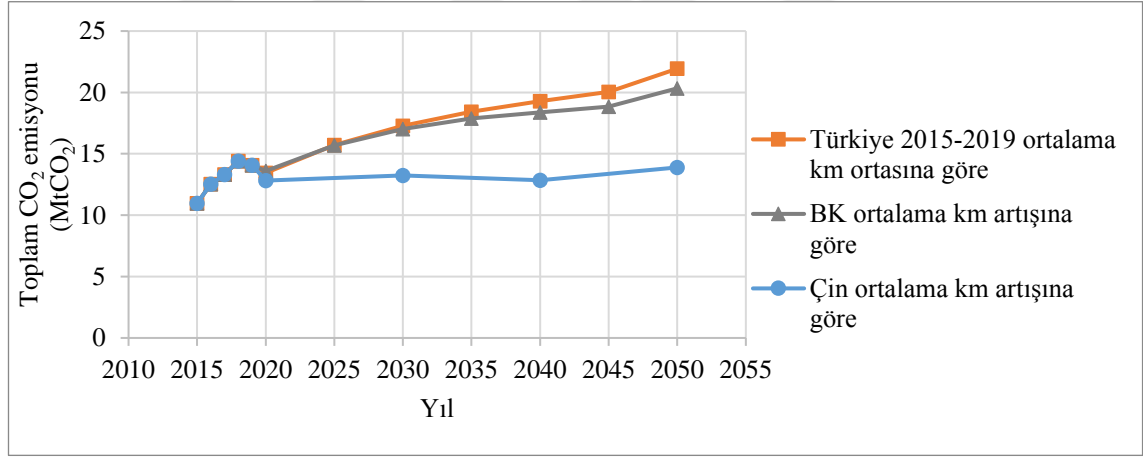
Şekil 9.16: Türkiye’deki otobüslerin %100 hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.17: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

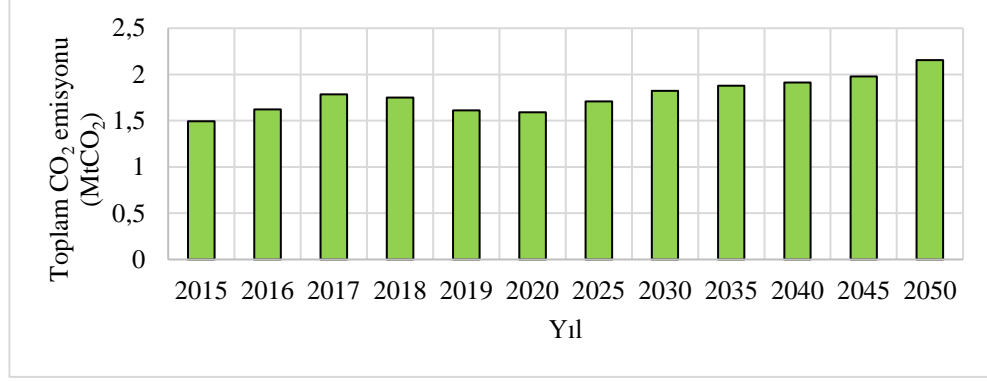
9.2.4. Senaryo 2B (%100 KHEA-dizel)

Şekil 9.18’de Türkiye’deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre %100 dizel kablolu hibrit olduğu (kablolu hibrit elektrikli araç) kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.

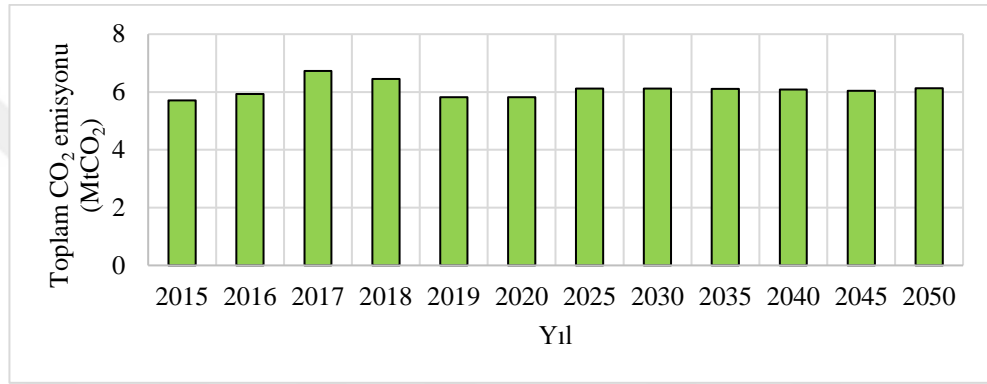


Şekil 9.18: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 kablolu hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

Aşağıdaki şekillerde Türkiye’deki minibüs, otobüs ve kamyonetler %100 dizel kablolu hibrit olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



Şekil 9.19: Türkiye'deki minibüslerin %100 kablolu hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



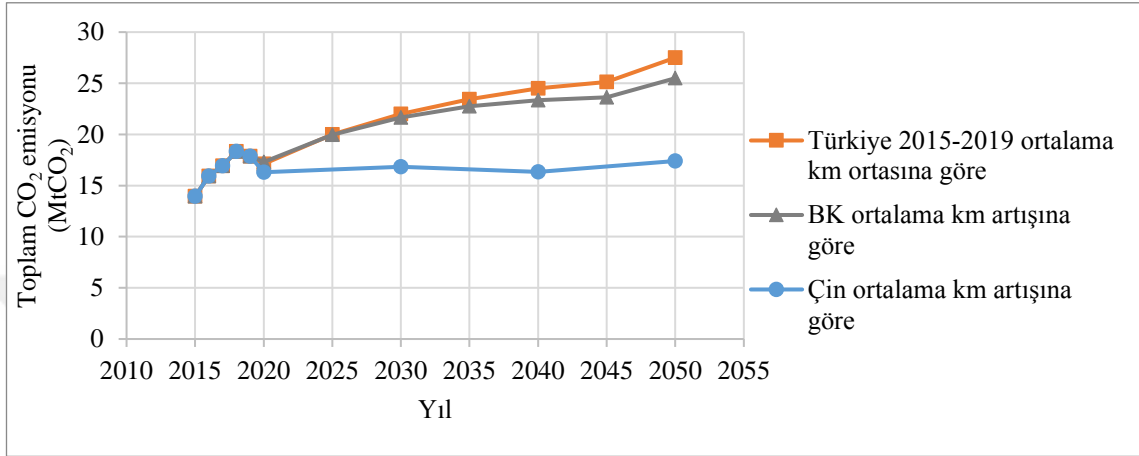
Şekil 9.20: Türkiye'deki otobüslerin %100 kablolu hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.21: Türkiye'deki kamyonetlerin %100 kablolu hibrit dizel yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

9.2.5. Senaryo 2C (%100 HEA-benzin)

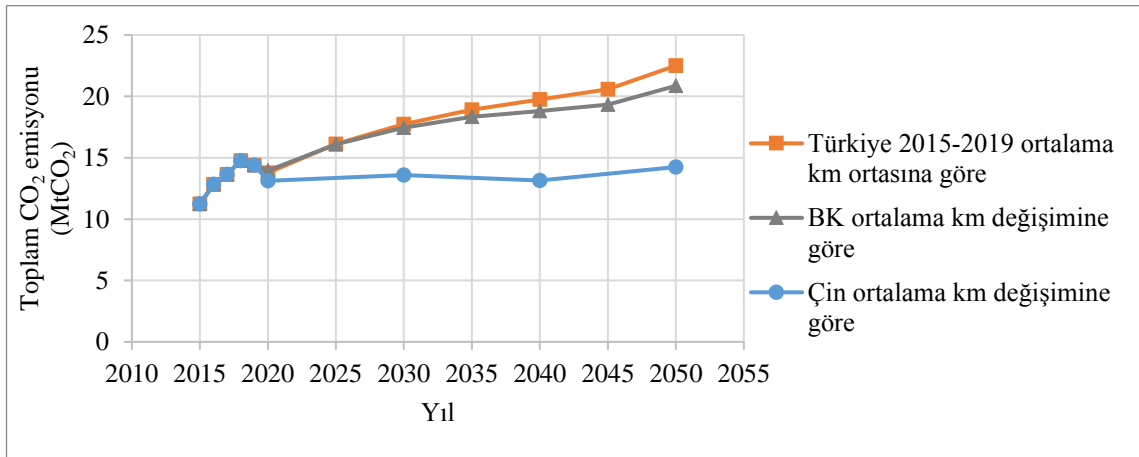
Şekil 9.22’de Türkiye’deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre %100 benzinli hibrit olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



Şekil 9.22: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 hibrit benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

9.2.6. Senaryo 2D (%100 KHEA-benzin)

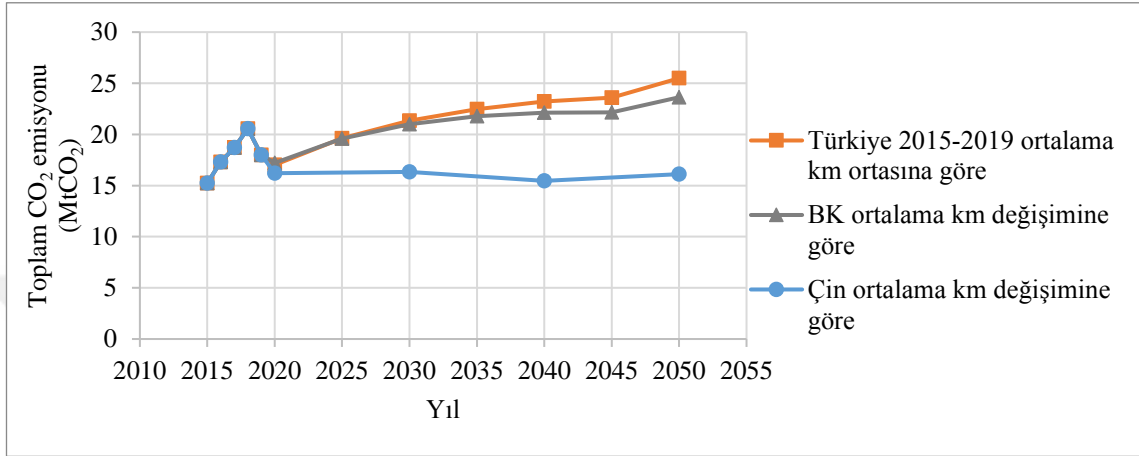
Şekil 9.23’de Türkiye’deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre %100 benzinli kablolu hibrit olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



Şekil 9.23: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 hibrit benzin yakıt kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

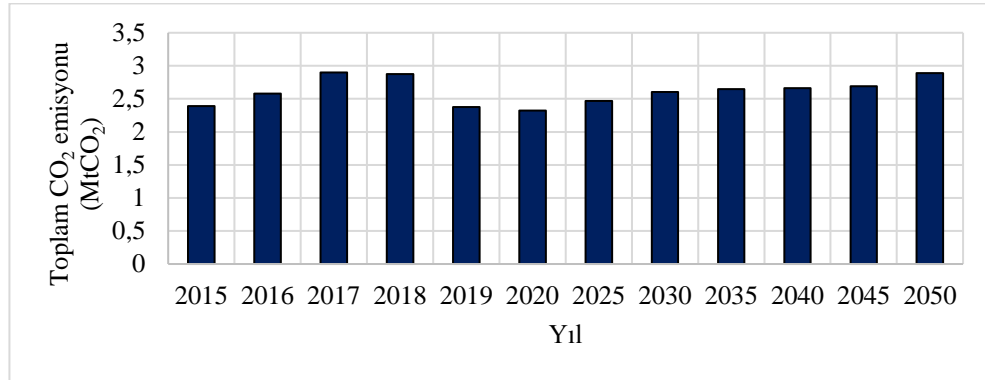
9.2.7. Senaryo 3A (%100 EA-mevcut politika)

Şekil 9.24’de Türkiye’deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre %100 elektrikli (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.

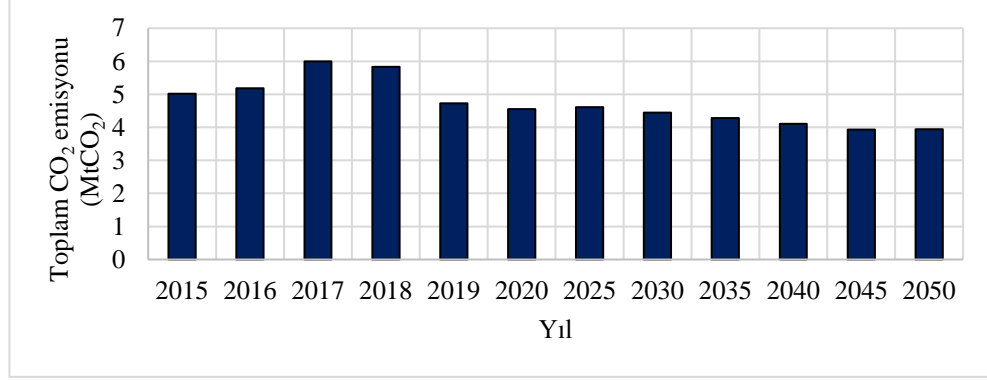


Şekil 9.24: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

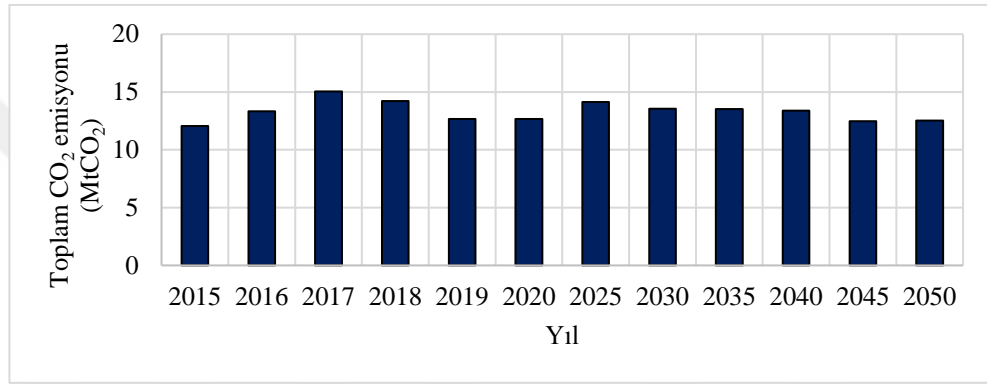
Aşağıdaki şekillerde Türkiye’deki minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyonlar %100 elektrikli (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



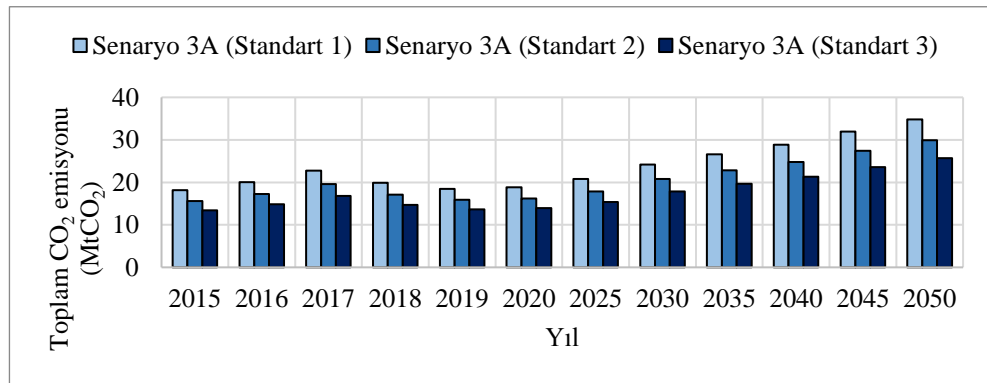
Şekil 9.25: Türkiye’deki minibüslerin %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.26: Türkiye’deki otobüslerin %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



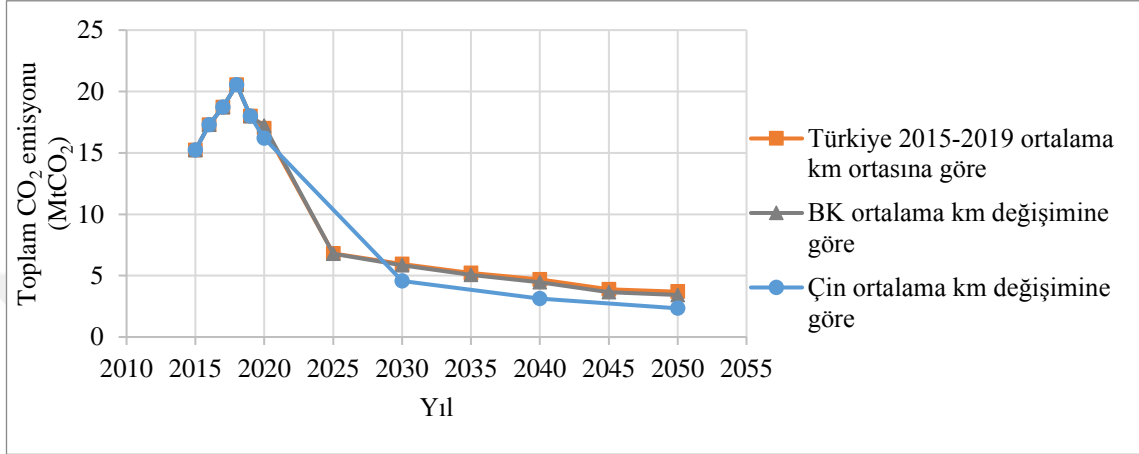
Şekil 9.27: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.28: Türkiye’deki kamyonların %100 elektrik (elektrik mevcut politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

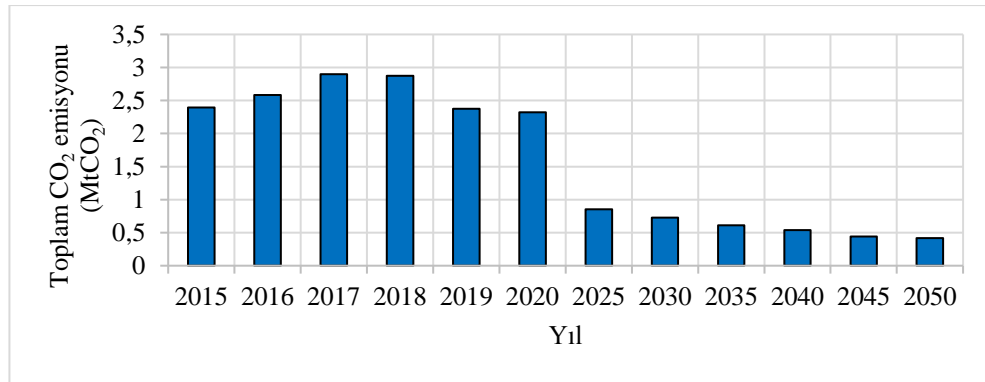
9.2.8. Senaryo 3B (%100 EA-yenilenebilir enerji politikası)

Şekil 9.29’de Türkiye’deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre %100 elektrikli (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.

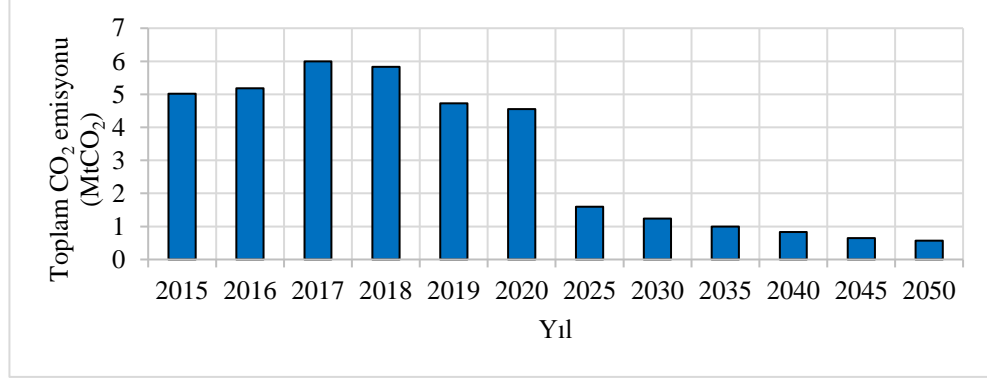


Şekil 9.29: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

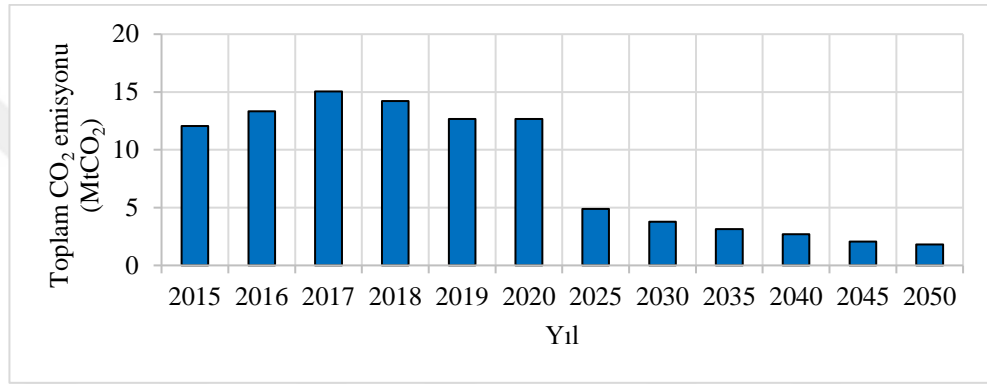
Aşağıdaki şekillerde Türkiye’deki minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyonlar %100 elektrikli (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



Şekil 9.30: Türkiye’deki minibüslerin %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.31: Türkiye'deki otobüslerin %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.32: Türkiye'deki kamyonetlerin %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

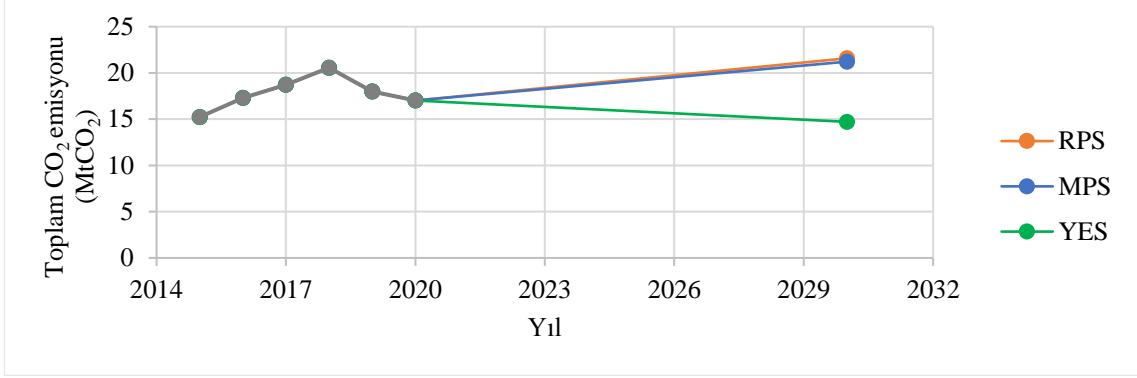


Şekil 9.33: Türkiye'deki kamyonların %100 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) olduğu kabul edil kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

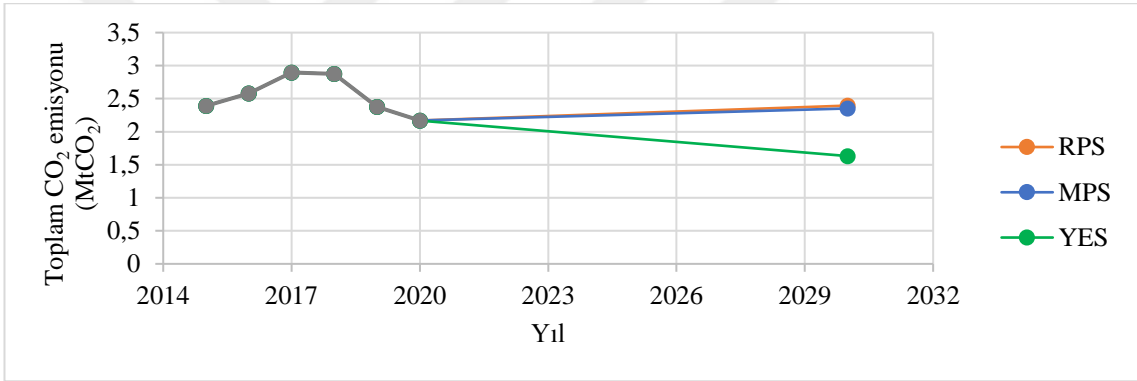
9.2.9. Senaryo 3 (elektrik üretimi gelecek senaryolarına göre %100 EA)

Aşağıdaki şekillerde Türkiye'deki otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyonlar %100 elektrikli (elektrik resmi planlar senaryosu (RPS), mevcut politikalar senaryosu

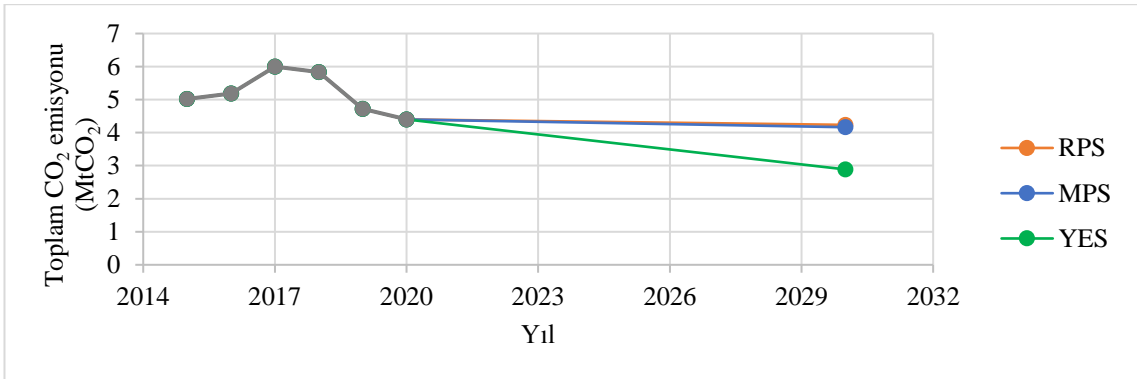
MPS ve yenilenebilir enerji senaryosu (YES) ile üretildiğinde) olduğu kabul edilerek her bir araç için 2015-2030 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



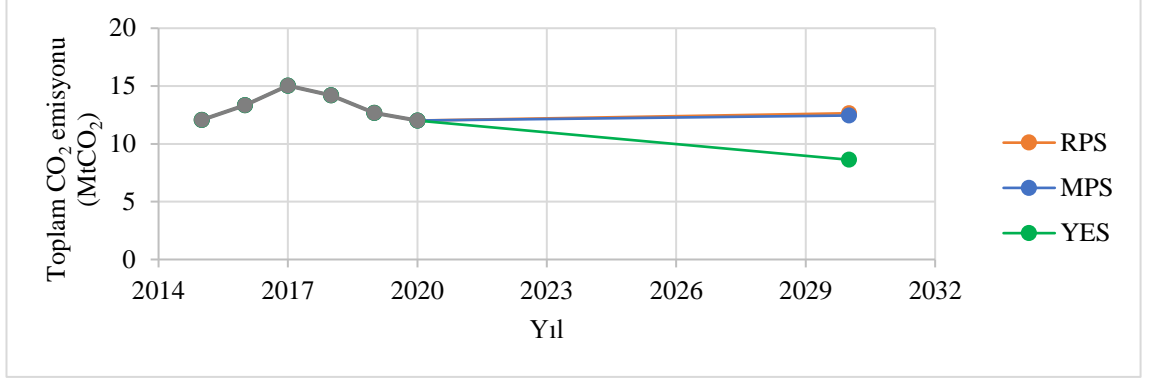
Şekil 9.34: Türkiye'deki otomobillerin %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



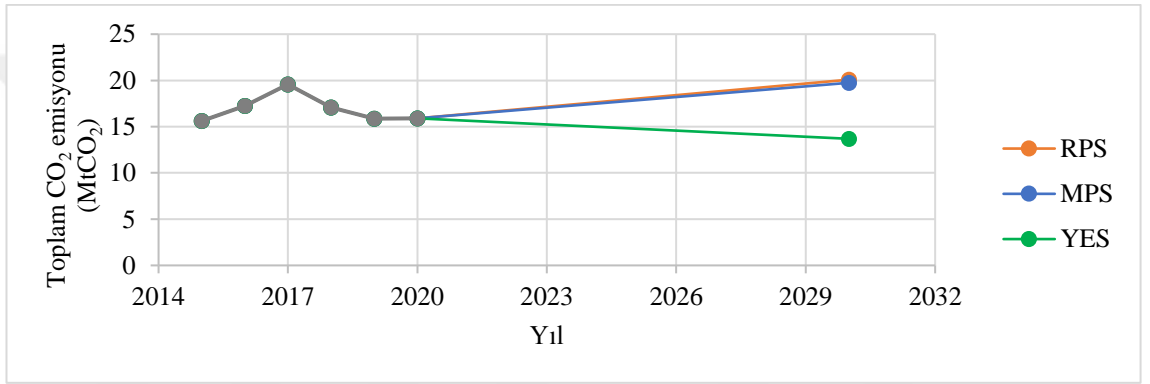
Şekil 9.35: Türkiye'deki minibüslerin %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.36: Türkiye'deki otobüslerin %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



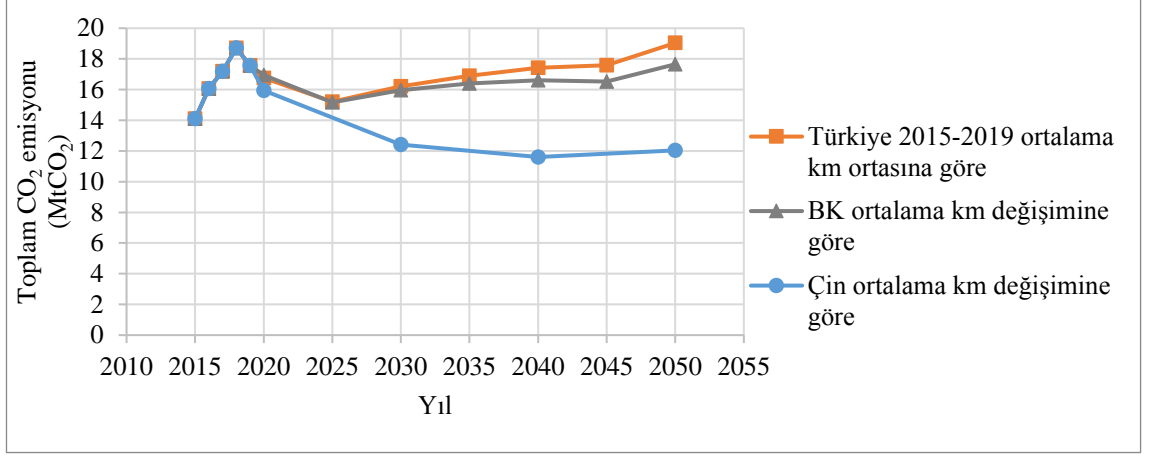
Şekil 9.37: Türkiye’deki kamyonetlerin %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.38: Türkiye’deki kamyonların %100 elektrik (elektrik RPS, MPS ve YES ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

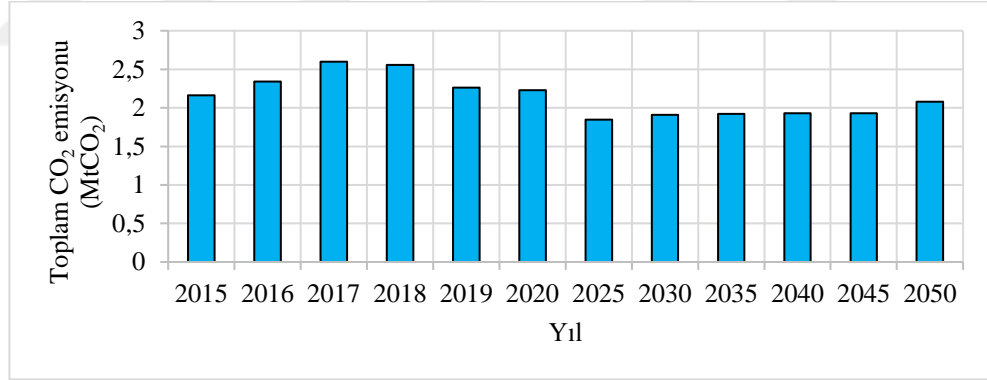
9.2.10. Senaryo 4A (2025 yılından %50 İYMA ve %50 EA)

Şekil 9.39’de Türkiye’deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre 2025 yılından itibaren %50 benzinli ve %50 elektrikli (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.

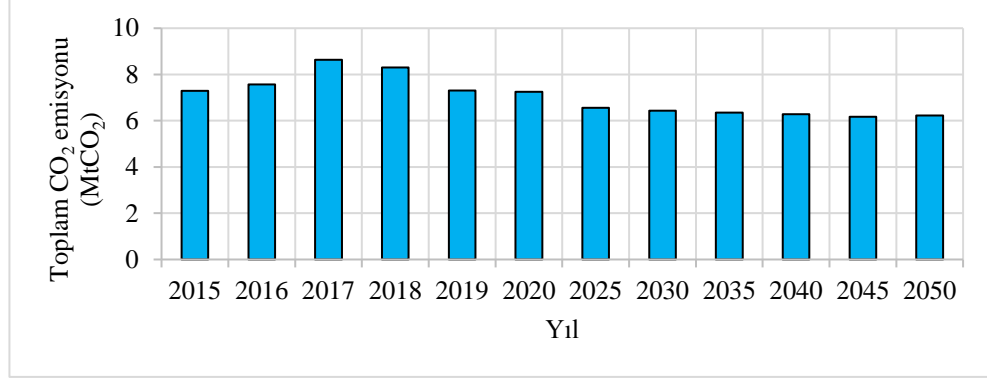


Şekil 9.39: Türkiye’deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre 2025 yılından itibaren %50 benzin yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

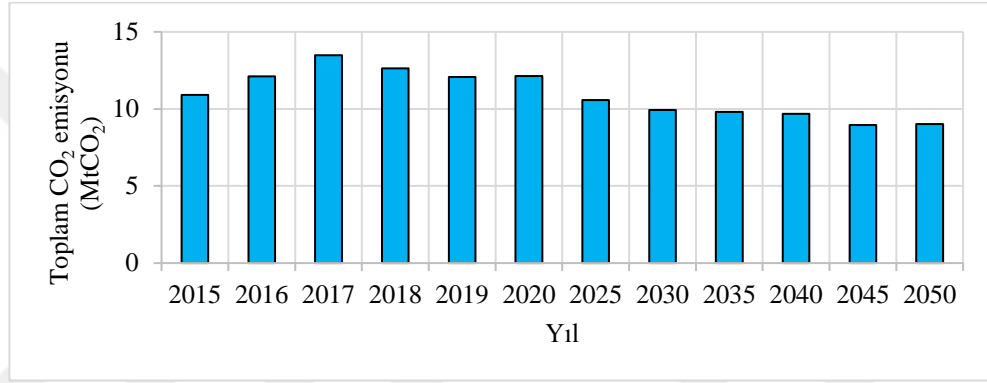
Aşağıdaki şekillerde 2025 yılında itibaren Türkiye’deki minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyonlar %50 dizel ve %50 elektrikli (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



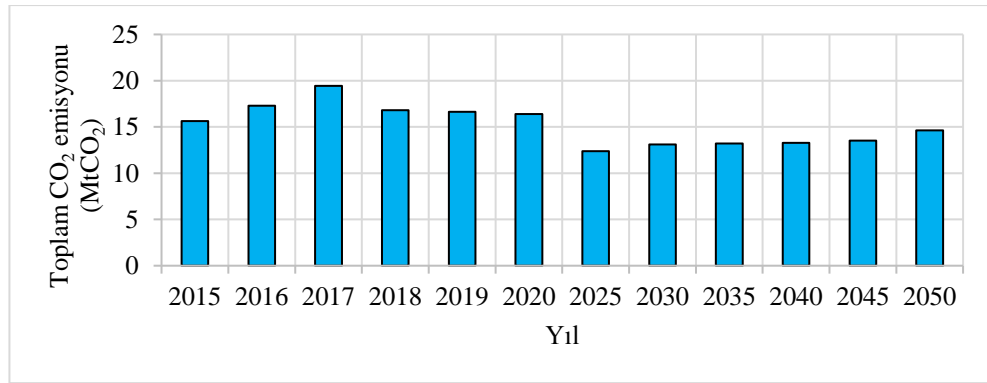
Şekil 9.40: Türkiye’deki minibüslerin 2025 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.41: Türkiye’deki otobüslerin 2025 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



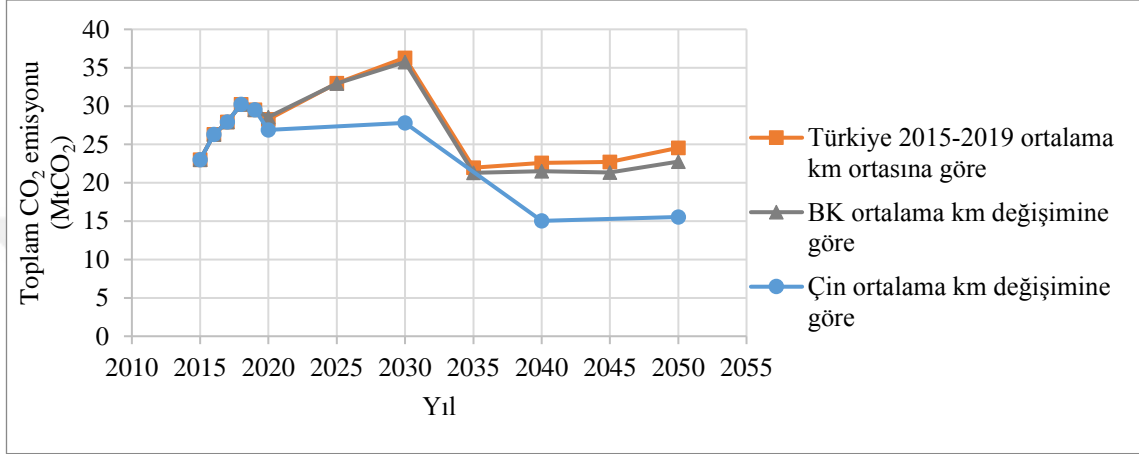
Şekil 9.42: Türkiye’deki kamyonetlerin 2025 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.43: Türkiye’deki kamyonların 2025 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

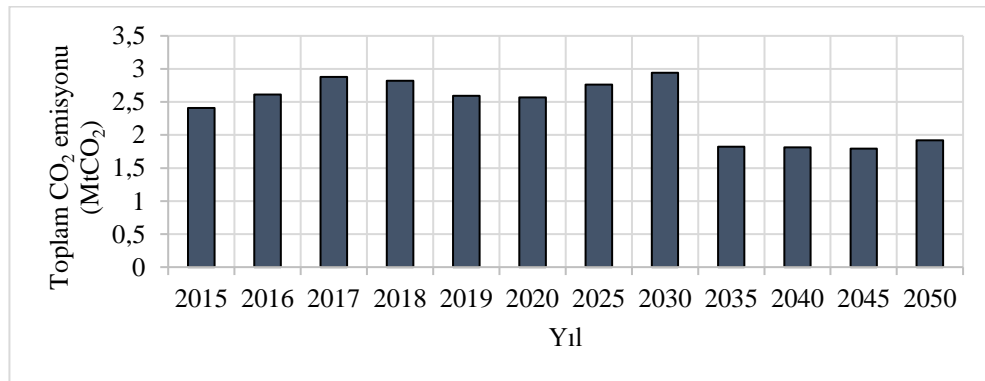
9.2.11. Senaryo 4B (2035 yılından %50 İYMA ve %50 EA)

Şekil 9.44'de Türkiye'deki otomobiller farklı ortalama km senaryolarına göre 2035 yılından itibaren %50 benzinli ve %50 elektrikli (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.

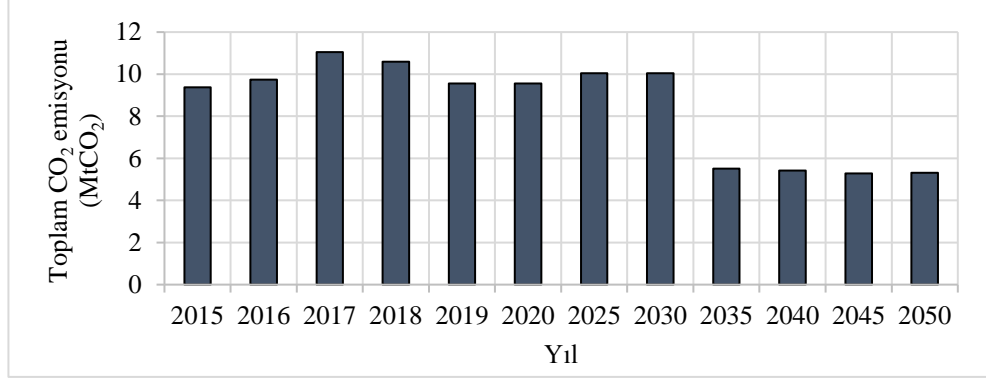


Şekil 9.44: Türkiye'deki otomobillerin farklı ortalama km senaryolarına göre 2035 yılından itibaren %50 benzin yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir politika ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

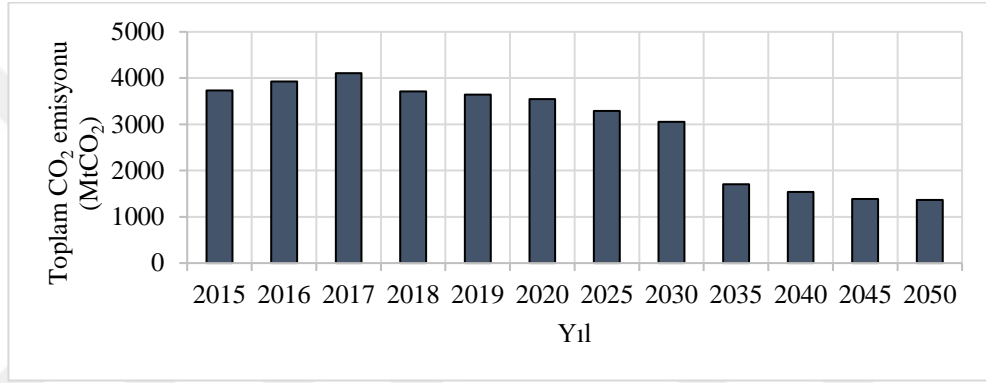
Aşağıdaki şekillerde 2035 yılında itibaren Türkiye'deki minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyonlar %50 dizel ve %50 elektrikli (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) olduğu kabul edilerek 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



Şekil 9.45: Türkiye'deki minibüslerin 2035 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



Şekil 9.46: Türkiye’deki otobüslerin 2035 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



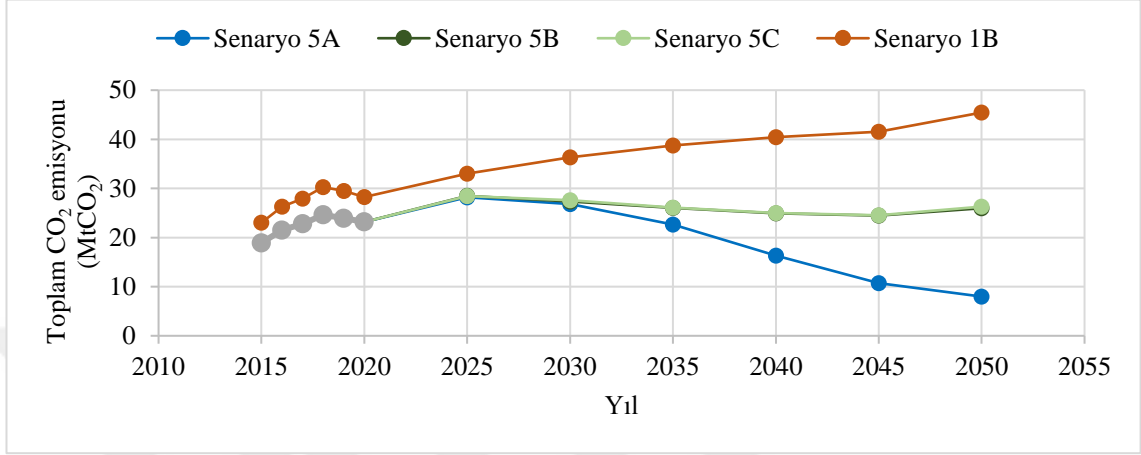
Şekil 9.47: Türkiye’deki kamyonetlerin 2035 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



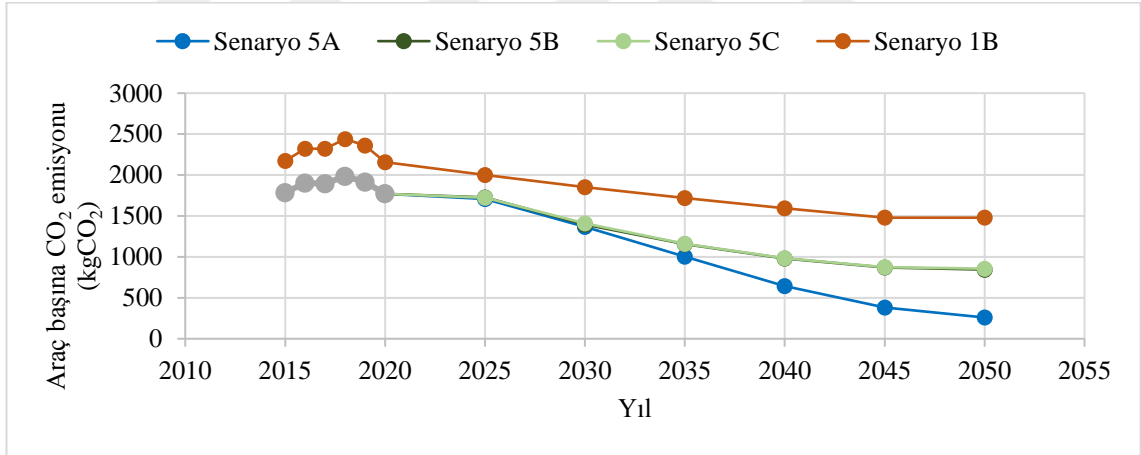
Şekil 9.48: Türkiye’deki kamyonların 2035 yılından itibaren %50 dizel yakıt ve %50 elektrik (elektrik yenilenebilir enerji politikası ile üretildiğinde) kullanımı için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.

9.2.12. Senaryo 5 (farklı oranlarda İYMA, HA ve EA)

Aşağıdaki şekillerde Türkiye'deki otomobiller için 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu ve araç başına CO₂ emisyonu tahmin edilmiştir.



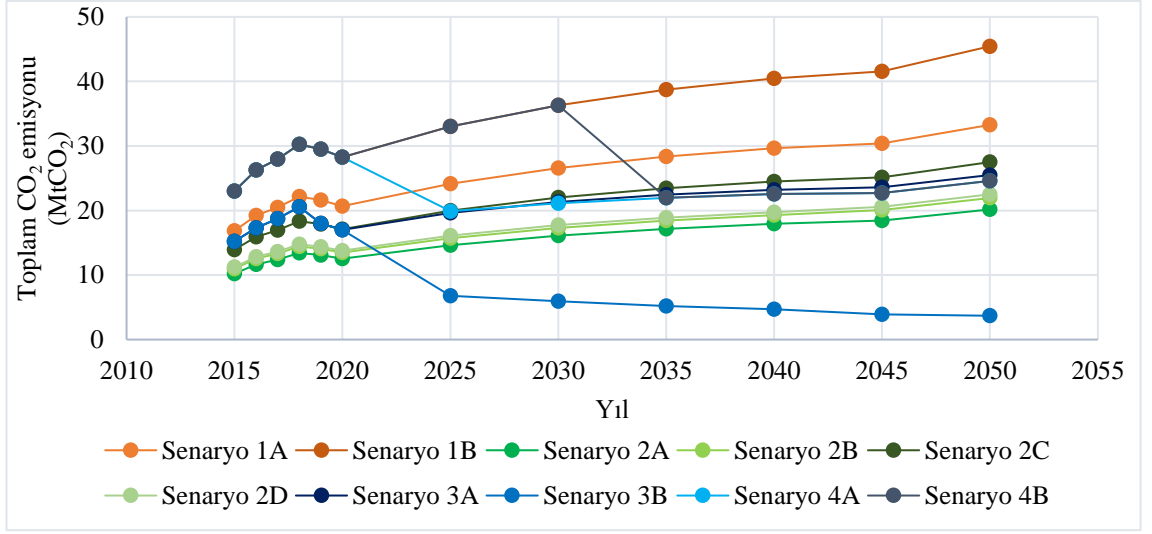
Şekil 9.49: Türkiye'deki otomobillerin farklı yakıt kullanımı gelecek senaryolarına (EA, HEA ve KHEA) göre 2015-2050 yılları arasında toplam CO₂ emisyonu tahmini.



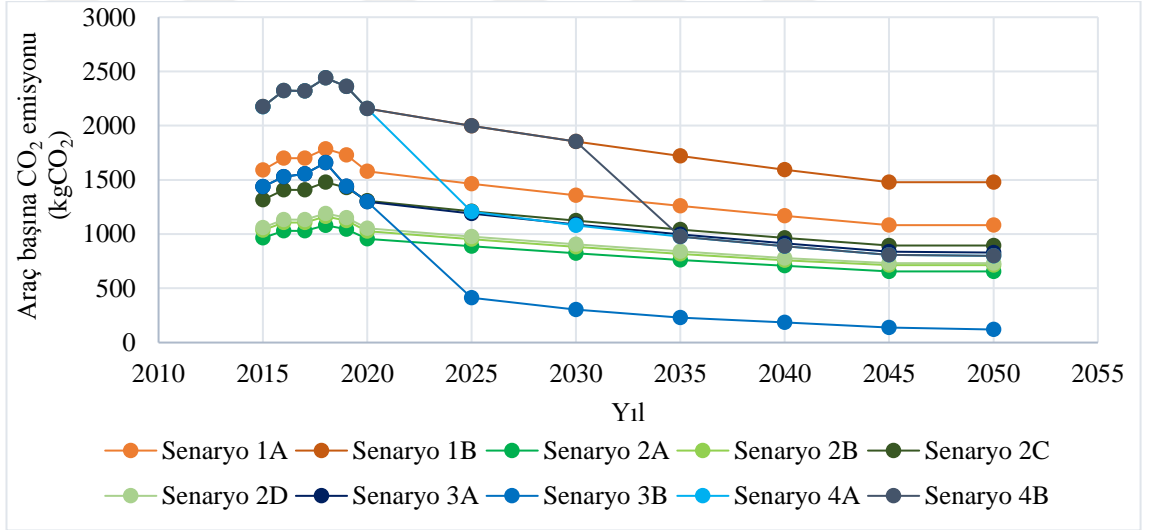
Şekil 9.50: Türkiye'deki otomobillerin farklı yakıt kullanımı gelecek senaryolarına (EA, HEA ve KHEA) göre 2015-2050 yılları arasında araç başına CO₂ emisyonu tahmini.

9.2.13. Senaryoların karşılaştırılması

Otomobil için yapılan projeksiyonlar sonucu tahmin edilen toplam CO₂ emisyonu ve araç başına CO₂ emisyonu karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

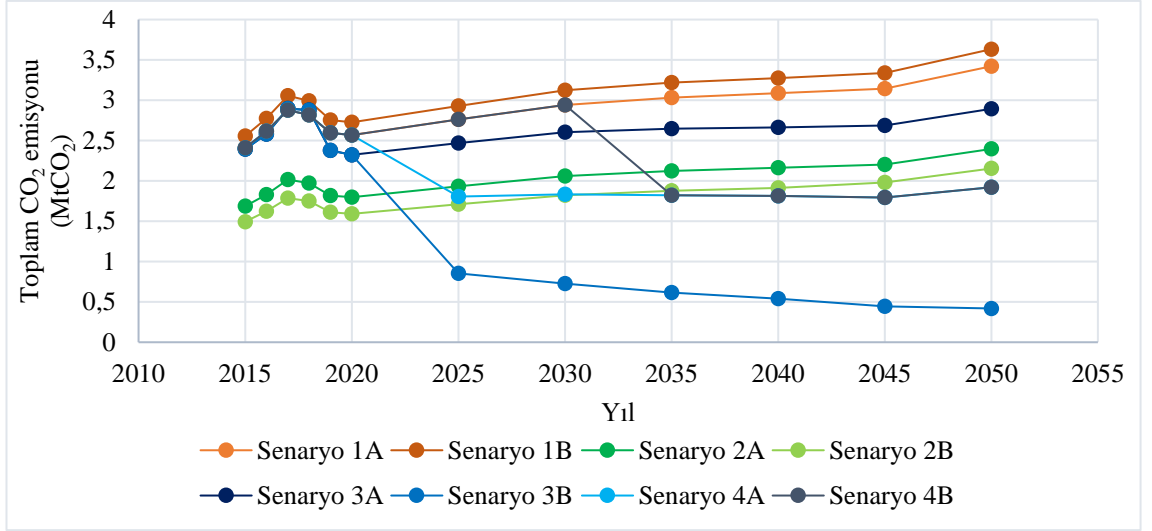


Şekil 9.51: Türkiye’de otomobil için toplam CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

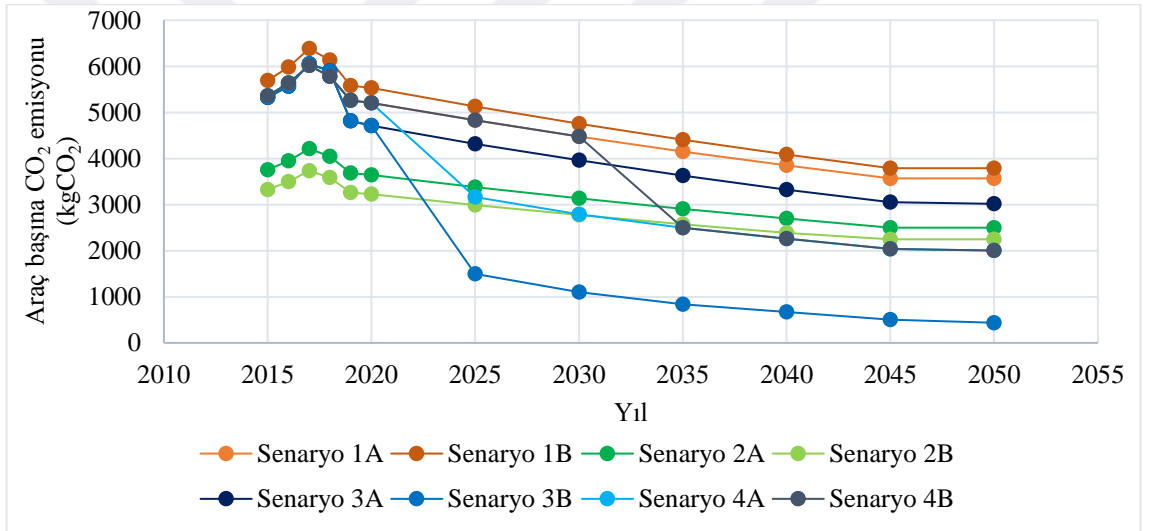


Şekil 9.52: Türkiye’de otomobil için araç başına CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

Minibüs için yapılan projeksiyonlar sonucu tahmin edilen toplam CO₂ emisyonu ve araç başına CO₂ emisyonu karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

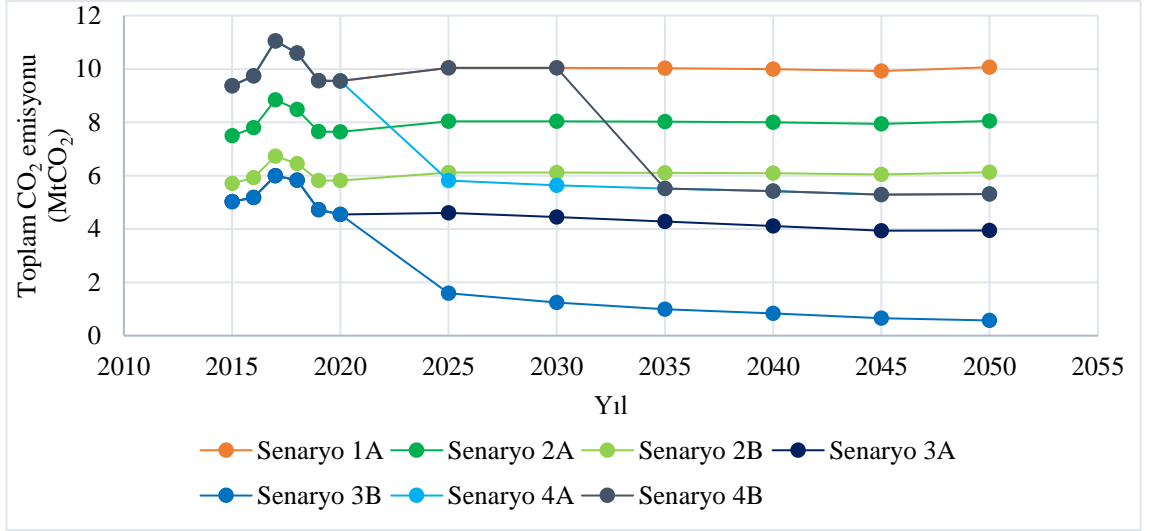


Şekil 9.53: Türkiye’de minibüs için toplam CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

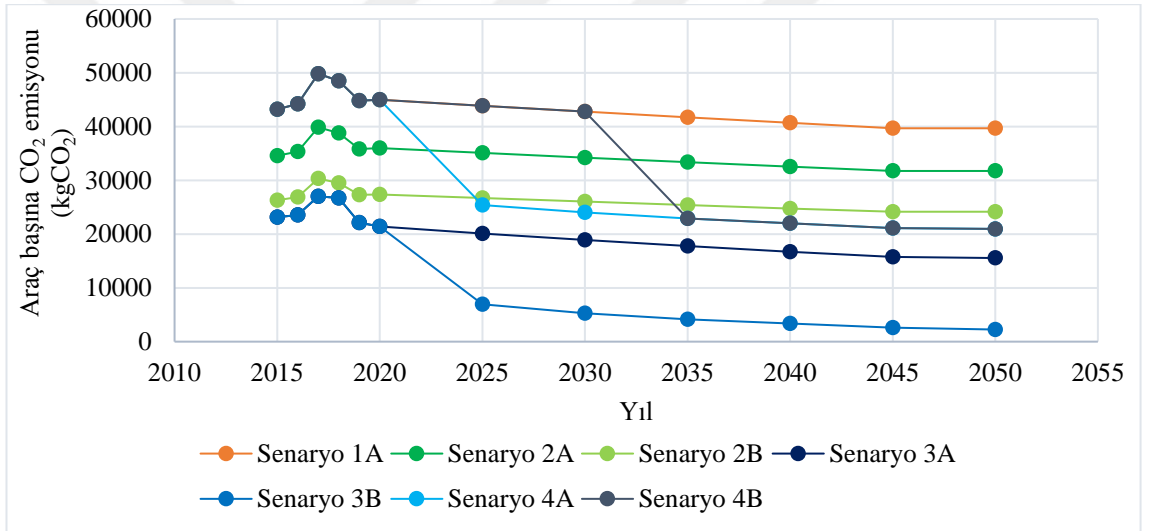


Şekil 9.54: Türkiye’de minibüs için araç başına CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

Otobüs için yapılan projeksiyonlar sonucu tahmin edilen toplam CO₂ emisyonu ve araç başına CO₂ emisyonu karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

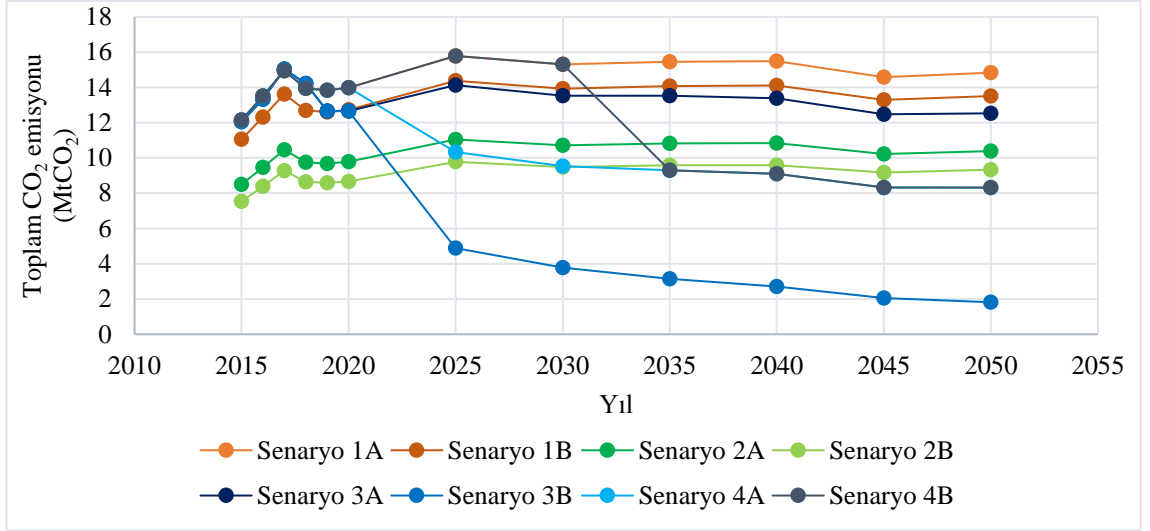


Şekil 9.55: Türkiye’de otobüs için toplam CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

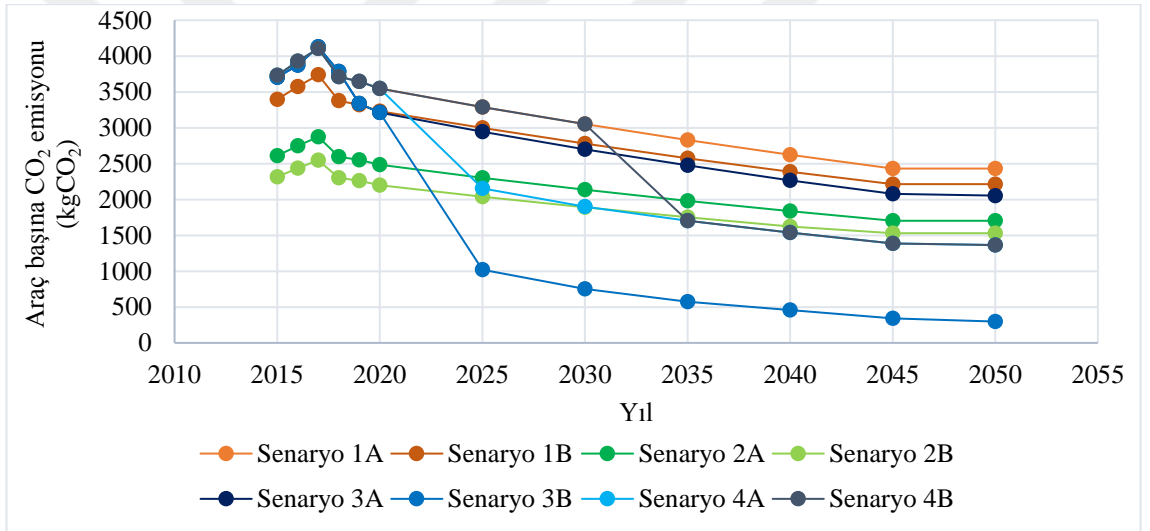


Şekil 9.56: Türkiye’de otobüs için araç başına CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

Kamyonet için yapılan projeksiyonlar sonucu tahmin edilen toplam CO₂ emisyonu ve araç başına CO₂ emisyonu karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

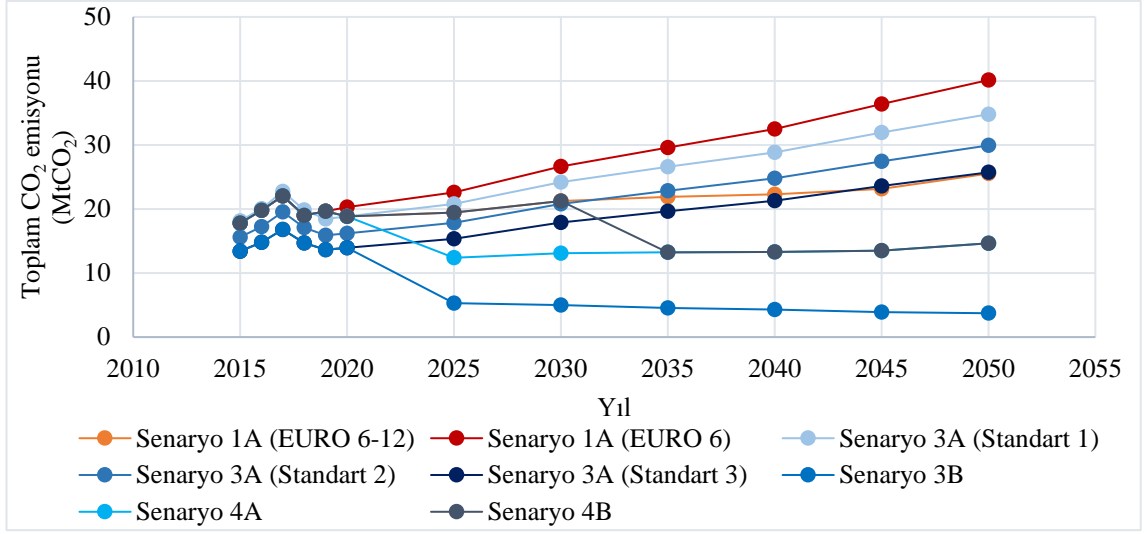


Şekil 9.57: Türkiye’de kamyonet için toplam CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

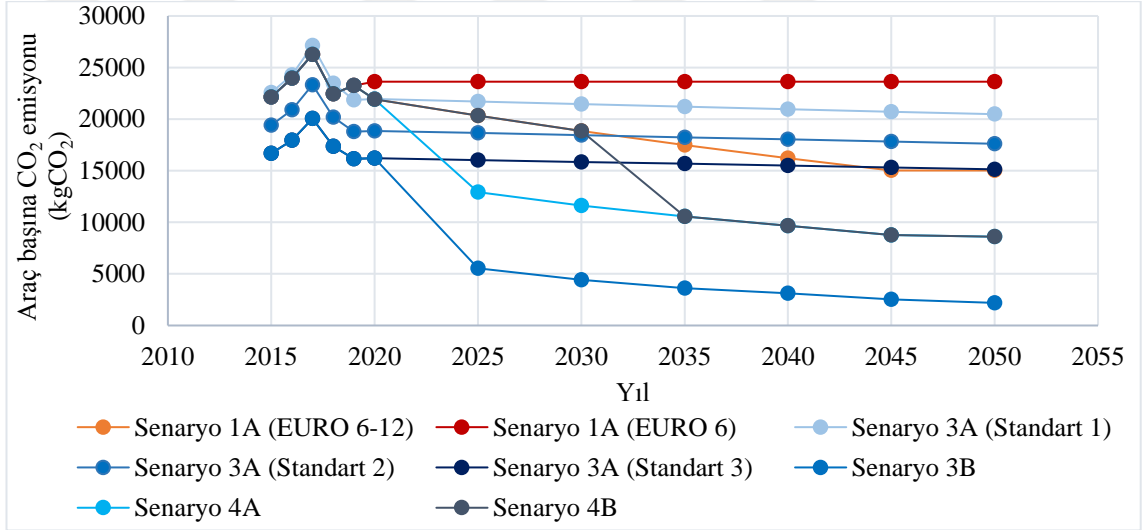


Şekil 9.58: Türkiye’de kamyonet için araç başına CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

Kamyon için yapılan projeksiyonlar sonucu tahmin edilen toplam CO₂ emisyonu ve araç başına CO₂ emisyonu karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 9.59: Türkiye’de kamyon için toplam CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.



Şekil 9.60: Türkiye’de kamyon için araç başına CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

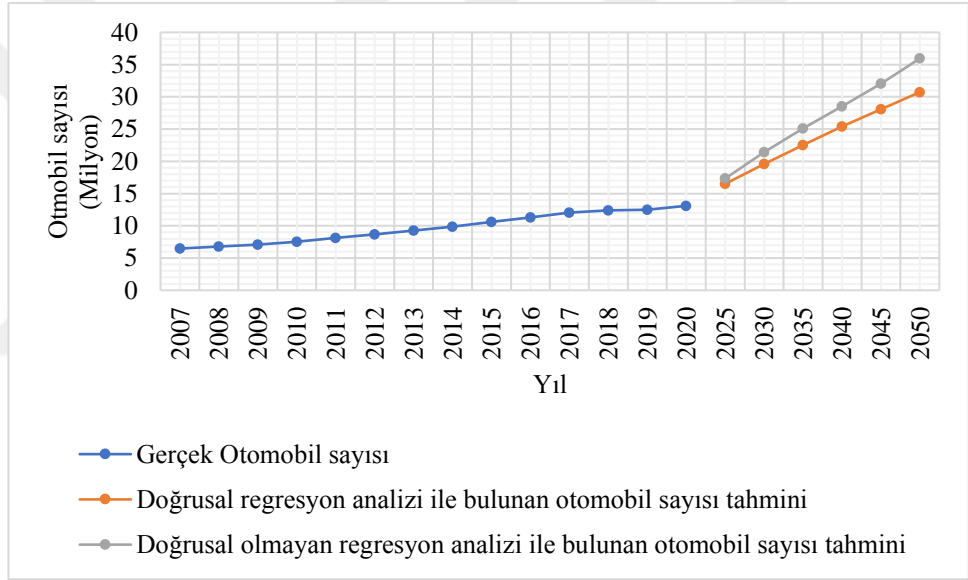
9.3. Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi İle Otomobillerin CO₂ Emisyonu Projeksiyonları

Türkiye için 2025-2050 yılları arasında otomobil sayısı, GSYİH (gayri safi yurt içi hasıla), hanehalkı sayısı ve 15-64 yaş arası nüfus verileri ile çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi yapılarak bulunmuştur ve çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi istatistikleri Tablo 9.1’de verilmiştir.

Tablo 9.1: Çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi istatistikleri

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,9999
R Kare	0,9999
Ayarlı R Kare	0,8748
Standart Hata	127988,6
Gözlem	14

Şekil 9.61’de Türkiye için 2025-2050 yılları arasında otomobil sayısı doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizi sonuçlarına göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



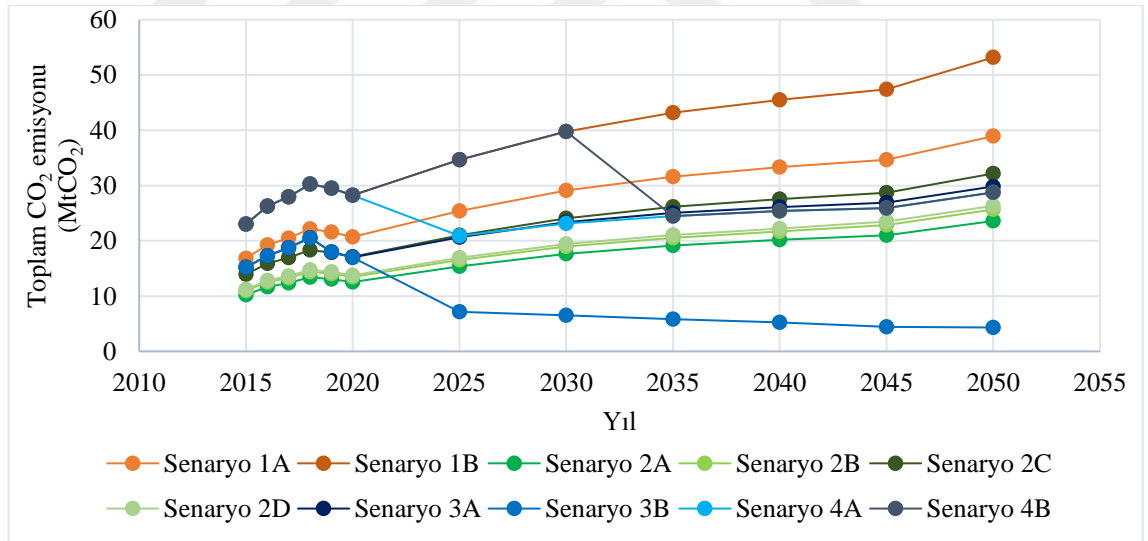
Şekil 9.61: Türkiye’de günümüzde ve gelecek otomobil sayısı tahminleri.

TÜİK’ten alınan verilere göre otomobillerin CO₂ emisyonu değerleri hesaplanmıştır. Regresyon analizleri sonucu bulunan otomobil sayısına göre tahmini CO₂ emisyonu değerleri için R², standart sapma ve mutlak hata değerleri bulunarak Tablo 9.2’de verilmiştir.

Tablo 9.2: Türkiye için mevcut ve yapılan regresyon analizleri sonucu bulunan otomobil sayısına göre CO₂ emisyonları.

	Gerçek		Doğrusal regresyon			Doğrusal olmayan regresyon			
	CO ₂ emisyonu	CO ₂ emisyonu tahmini	R ²	Standart sapma	Mutlak hata	CO ₂ emisyonu tahmini	R ²	Standart sapma	Mutlak hata
2015	18,90	19,03	0,965		0,007	18,94	0,996		0,002
2016	21,52	21,13	0,959		0,018	21,07	0,944		0,021
2017	22,80	22,56	0,994		0,011	22,73	0,999		0,003
2018	24,60	24,27	0,995		0,014	24,62	0,999		0,001
2019	23,93	24,27	0,993		0,014	24,32	0,992		0,016
2020	23,20	23,14	0,999		0,002	23,02	0,997		0,007
6 yıllık ortalama	22,49	22,4	0,984	3,233	0,0109	22,45	0,988	3,243	0,008

Çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi sonucu bulunan otomobil sayıları kullanılarak, otomobillerin toplam CO₂ emisyonu karşılaştırılmalı olarak Şekil 9.62’de verilmiştir.



Şekil 9.62 Türkiye’de otomobil için toplam CO₂ emisyonu senaryolarının karşılaştırılması.

BÖLÜM 10. SONUÇ VE ÖNERİLER

10.1. Sonuçlar

Dünyada enerjinin verimli kullanımının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanılması ve mevcut politikalar ile enerjinin bu şekilde kullanılması birçok sorunlar oluşturmaktadır. Dünya genelinde ulaştırma sektörü fosil kaynaklara önemli bir ölçüde bağlıdır. Türkiye’de ulaştırma sektöründe enerji kullanımının %99’unu büyük bir kısmı petrol olmakla, fosil yakıtlar karşılamaktadır.

Bu çalışmada ilk aşamada Türkiye’de 2025-2050 yılları arasında otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet ve kamyon sayıları çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Daha sonra taşıtların toplam CO₂ emisyon değerlerini tahmin etmek için 5 temel senaryo grubu kullanılmıştır. Bu temel senaryo gruplarına göre alt senaryolarda gözönüne alındığında otomobil için toplam 36, minibüs için 11, otobüs için 10, kamyonet için 11 ve kamyon için ise 11 senaryo projeksiyonları yapılmıştır.

Diğer aşamada Türkiye’de 2025-2050 yılları arasında otomobil sayıları çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Daha sonra otomobillerin toplam CO₂ emisyon değerlerini tahmin etmek için 5 temel senaryo grubu kullanılmıştır. Bu temel senaryo gruplarına göre alt senaryolarda gözönüne alındığında otomobil için toplam 10 senaryo projeksiyonları yapılmıştır.

Tüm temel senaryo grupları ve onların alt senaryo grupları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

Senaryo 1’de %100 İYMA (Senaryo 1A – %100 dizel ve Senaryo 1B – %100 benzin), Senaryo 2’de %100 HA (Senaryo 2A – %100 HEA (hibrit elektrikli araç)-dizel, Senaryo 2B – %100 KHEA (kablolu hibrit elektrikli araç)-dizel, Senaryo 2C – %100 HEA-benzin ve Senaryo 2D – %100 KHEA- benzin), Senaryo 3’te %100 EA (Senaryo 3A – Mevcut elektrik üretimi politikası, Senaryo 3B – Yenilenebilir enerji elektrik üretimi politikası, Senaryo 3.1 – RPS (resmi planlar senaryosu), Senaryo 3.2 – MPS (mevcut politikalar

senaryosu) ve Senaryo 3.3 – YES (yenilenebilir enerji senaryosu)), Senaryo 4'te %50 İYMA ve %50 EA (Senaryo 4A – 2025 yılından itibaren ve Senaryo 4B – 2035 yılından itibaren %50 yenilenebilir enerji politikası ile üretilen elektrik kullanan EA) ve Senaryo 5'te farklı oranlarda EA, HA ve EA entegrasyonları (Senaryo 5A – EA entegre senaryosu, Senaryo 5B – HEA entegre senaryosu ve Senaryo 5C – KHEA entegre senaryosu) kabul edilerek hesaplama yapılmıştır.

İlk aşamada yapılan hesaplama göre çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemi sonucu ile bulunan taşıt sayıları ve onların CO₂ emisyonu senaryoları aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

2020 yılında 13,1 milyon olan otomobil sayısı, 2050 yılı %134,6 artarak 30,74 milyon olacağı tahmin edilmiştir. Otomobil için toplam CO₂ emisyonu 2015-2050 yılları arasında en yüksek değere Senaryo 1B'de ulaşmaktadır. Buna göre 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %97,43 artarak 45,44 MtCO₂ değerine çıkacağı hesaplanmıştır. Toplam CO₂ emisyonunun en düşük değeri ise Senaryo 3B'de gerçekleşmektedir. 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %75,77 azalarak 3,69 MtCO₂ değerine düşeceği hesaplanmıştır.

2020 yılında 493 bin olan minibüs sayısı, 2050 yılı %94,3 artarak 959 bin olacağı tahmin edilmiştir. Minibüs için toplam CO₂ emisyonu 2015-2050 yılları arasında en yüksek değere Senaryo 1B'de ulaşmaktadır. Buna göre 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %42,15 artarak 3,63 MtCO₂ değerine çıkacağı hesaplanmıştır. Toplam CO₂ emisyonunun en düşük değeri ise Senaryo 3B'de gerçekleşmektedir. 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %82,5 azalarak 0,42 MtCO₂ değerine düşeceği hesaplanmıştır.

2020 yılında 212 bin olan otobüs sayısı, 2050 yılı %19,4 artarak 254 bin olacağı tahmin edilmiştir. Otobüs için toplam CO₂ emisyonu 2015-2050 yılları arasında en yüksek değere Senaryo 1A'da ulaşmaktadır. Buna göre 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %7,37 artarak 10,06 MtCO₂ değerine çıkacağı hesaplanmıştır. Toplam CO₂ emisyonunun en düşük değeri ise Senaryo 3B'de gerçekleşmektedir. 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %88,63 azalarak 0,57 MtCO₂ değerine düşeceği hesaplanmıştır.

2020 yılında 3,9 milyon olan kamyonet sayısı, 2050 yılı %54,9 artarak 6,1 milyon olacağı tahmin edilmiştir. Kamyonet için toplam CO₂ emisyonu 2015-2050 yılları arasında en yüksek değeri Senaryo 1A'da ulaşmaktadır. Buna göre 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %22,17 artarak 14,83 MtCO₂ değerine çıkacağı hesaplanmıştır. Toplam CO₂ emisyonunun en düşük değeri ise Senaryo 3B'de gerçekleşmektedir. 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %84,95 azalarak 1,81 MtCO₂ değerine düşeceği hesaplanmıştır.

2020 yılında 859,6 bin olan kamyon sayısı, 2050 yılı %97,7 artarak 1,7 milyon olacağı tahmin edilmiştir. Kamyon için toplam CO₂ emisyonu 2015-2050 yılları arasında en yüksek değeri Senaryo 1A'da ulaşmaktadır. Buna göre 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %125,35 artarak 40,13 MtCO₂ değerine çıkacağı hesaplanmıştır. Toplam CO₂ emisyonunun en düşük değeri ise Senaryo 3B'de gerçekleşmektedir. 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %72,25 azalarak 3,72 MtCO₂ değerine düşeceği hesaplanmıştır.

Diğer aşamada yapılan hesaplama göre çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemi sonucu ile bulunan otomobil sayıları ve onların CO₂ emisyonu senaryoları aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

2020 yılında 13,1 milyon olan otomobil sayısı, 2050 yılı %174,5 artarak 35,96 milyon olacağı tahmin edilmiştir. Otomobil için toplam CO₂ emisyonu 2015-2050 yılları arasında en yüksek değere Senaryo 1B'de ulaşmaktadır. Buna göre 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %131 artarak 53,18 MtCO₂ değerine çıkacağı hesaplanmıştır. Toplam CO₂ emisyonunun en düşük değeri ise Senaryo 3B'de gerçekleşmektedir. 2015 yılından 2050 yılına kadar toplam CO₂ emisyonu %71,63 azalarak 4,32 MtCO₂ değerine düşeceği hesaplanmıştır.

Projeksiyonlar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Yapılan bu çalışmada belirlenen en önemli bulgulardan biri; %100 EA'larda mevcut politikalar ile üretilen elektriği kullanıldığında çıkan CO₂ emisyonu belirgin olarak düşmemektedir. Mevcut politikalar göre üretilen elektriğin kullanıldığı Senaryo 3A ile yenilenebilir kaynaklar göre üretilen elektriğin kullanıldığı Senaryo 3B'yi karşılaştırdığında CO₂ emisyonunda belirgin bir fark ortaya çıktığı görülmektedir. Örnek

olarak 2050 yılında otomobil için Senaryo 3A'ya göre toplam CO₂ emisyonu 25,5 MtCO₂ iken Senaryo 3B'de bu değer 3,69 MtCO₂ emisyonuna değerine düşmektedir.

- İlk aşamada Türkiye'de 2015-2050 yılları arasında en yüksek toplam CO₂ emisyonu üretimi %100 İYMA'ların kullanılması ile gerçekleşeceği belirlenmiştir. En yüksek toplam CO₂ emisyonu otomobil ve minibüs için Senaryo 1B'de (%100 benzin), otobüs, kamyonet ve kamyon için ise Senaryo 1A'da (%100 dizel) gerçekleşeceği tahmin edilmiştir.

- Senaryo 2 ve Senaryo 3 sonuçlarına göre bu araçların doğru bir şekilde taşıt filosuna eklenmesi, toplam CO₂ emisyonu üretimi belirli değerde azaltacaktır.

- İlk aşamaya göre Türkiye'de 2015-2050 yılları arasında en düşük toplam CO₂ emisyonu üretimi %100 EA'ların kullanılması ile gerçekleşecektir. En düşük toplam CO₂ emisyonu tüm taşıtlar için Senaryo 3B'de (%100 EA-elektrik mevcut politikalar ile üretildiğinde) gerçekleşeceği tahmin edilmiştir.

- İlk aşamaya göre Türkiye 2030 yılı için 3 farklı elektrik üretimi senaryosuna göre hesaplanan Senaryo 3.1, Senaryo 3.2 ve Senaryo 3.3'te RPS ve MPS ile üretilen elektrik kullanımı ile 2030 yılında tüm araçlarda toplam CO₂ emisyonu değeri YES'e göre çok daha fazla olacaktır. Bu sonuç da elektrik üretiminin yenilenebilir kaynaklardan sağlanmasının önemini göstermektedir.

- Diğer aşama sonuçları birinci aşama sonuçlarına benzer şekilde değişmektedir. Buna göre Türkiye'de 2015-2050 yılları arasında en yüksek toplam CO₂ emisyonu üretimi %100 İYMA'ların kullanılması ile gerçekleşeceği belirlenmiştir. En yüksek toplam CO₂ emisyonu otomobil için Senaryo 1B'de (%100 benzin), gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Türkiye'de 2015-2050 yılları arasında en düşük toplam CO₂ emisyonu üretimi %100 EA'ların kullanılması ile gerçekleşecektir. En düşük toplam CO₂ emisyonu otomobiller için Senaryo 3B'de (%100 EA-elektrik mevcut politikalar ile üretildiğinde) gerçekleşeceği tahmin edilmiştir.

- İki aşama sonuçlarına göre CO₂ emisyonunu oluşturan önemli faktörlerden biri araç sayısının değişmesidir. Her iki aşamada da aynı senaryo projeksiyonları kullanılmıştır. Ancak araç sayısı fazla olan ikinci aşama sonuçları ilk aşama sonuçlarından daha yüksek CO₂ emisyonu üretmektedir.

10.2. Öneriler

Çalışmadaki senaryolar sonucu aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır.

- Günümüzde Türkiye’de İYMA’lar toplam araçların büyük kısmını oluşturmaktadır. CO₂ emisyonunu azaltmak için EA’ların sayıları artırılmalıdır.
- EA’ların doğrudan İYMA’ların yerini ala bilmesinin mümkün olmaması nedeniyle EA’lara geçiş sürecini HA’lar ile sağlanması doğru olacaktır.
- EA’larda ve diğer ulaşımlarda (tren, metrobüs, metro) kullanılan elektriği yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmalıdır.
- Ulaştırma sektöründe CO₂ emisyon üreticileri olan taşıtların kullanımı azaltarak CO₂ emisyonunu düşürebiliriz. Türkiye’de ulaştırma sektöründe toplam taşıtların yaklaşık yarısını oluşturan otomobillerin kullanımını azaltacak tedbirler alınmalıdır. Bisiklet gibi sıfır emisyonlu taşıtlar ve toplu taşıma kullanımı artırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Muhammad, S., Pan Y., Agha, M. H., Umar M., & Chen, S. (2022). Industrial structure, energy intensity and environmental efficiency across developed and developing economies: The intermediary role of primary, secondary and tertiary industry, *Energy*, 247, 123576. doi:10.1016/j.energy.2022.123576.
- [2] Li, K., & Lin, B. (2015). Impact of urbanization and industrialization on energy consumption CO2 emission: Does level of development matter?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1107-1122. doi:10.1016/j.rser.2015.07.185.
- [3] Strateji Geliştirme Başkanlığı. (2016). *Dünya ve ülkemiz enerji ve tabii kaynaklar görünümü* (Sayı 14). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- [4] Ediger, V. Ş., Hoşgör, E., Sürmeli, A. N., & Tatlıdil, H. (2007). Fossil fuel sustainability index: An application of resource management, *Energy Policy*, 35 (5), 2969-2977. doi:10.1016/j.enpol.2006.10.011.
- [5] Kutucu, M. (2018). *Enerji verimli araç kullanımının geri sekme etkisinin (rebound effect) gelir gruplarına göre karşılaştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Jiang, P., Xu, B., Geng, Y., Dong, W., Chen, Y., & Xue, B. (2016). Assessing the environmental sustainability with a co-benefits approach: A study of industrial sector in Baoshan District in Shanghai, *Journal of Cleaner Production*, 114, 114-123. doi:10.1016/j.jclepro.2015.07.159.
- [7] Cordroch, L., Hilpert, S., & Wiese, F. (2022). Why renewables and energy efficiency are not enough - the relevance of sufficiency in the heating sector for limiting global warming to 1.5 °C., *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121313. doi:10.1016/j.techfore.2021.121313.
- [8] Rogelj, J., Shindell, D., & Jiang, K. (2018). Chapter 2: Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development, *IPCC*, 93-174.
- [9] Aydın, M. (2016). Enerji Verimliliğinin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü : Türkiye Değerlendirmesi, *Yönetim Bilim. Derg.*, 14, (28), 409-441.
- [10] Danyang, L., & Wenying, C. (2019). Prospective influences of the substitution of electric vehicles for liquid vehicles: Times modeling of the global energy system. *10th International Conference on Applied Energy Procedia (ICAE2018)*, 158, (pp. 3782-3787). China: Hong Kong. doi:10.1016/j.egypro.2019.01.876

- [11] Güzel, T. D., & Alp, K. (2020). Modeling of greenhouse gas emissions from the transportation sector in Istanbul by 2050, *Atmospheric Pollution Research*, 11 (12), 2190-2201. doi:10.1016/j.apr.2020.08.034
- [12] Peng, T., Ou, X., & Yan, X. (2018). Development and application of an electric vehicles life-cycle energy consumption and greenhouse gas emissions analysis model, *Chemical Engineering Research and Design*, 131, 699-708. doi:10.1016/j.cherd.2017.12.018
- [13] Pyzalska, A. K., Kott, J., & Kott, M. (2020). Why Polish market of alternative fuel vehicles (AFVs) is the smallest in Europe? SWOT analysis of opportunities and threats, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110076. doi:10.1016/j.rser.2020.110076
- [14] Logan, K. G., Nelson, J. D., Lu, X., & Hastings, A. (2020). UK and China: Will electric vehicle integration meet Paris agreement targets?, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 100245. doi:10.1016/j.trip.2020.100245.
- [15] Logan, K. G., Nelson, J. D., Brand, C., & Hastings, A. (2021). Phasing in electric vehicles: Does policy focusing on operating emission achieve net zero emissions reduction objectives?, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 152, 100-114. doi:10.1016/j.tra.2021.08.001
- [16] Brand, C., & Anable, J. (2019). 'Disruption' and 'continuity' in transport energy systems: The case of the ban on new conventional fossil fuel vehicles, *ECEEE Summer Study Proceedings*, 1117-1127.
- [17] Kosai, S., Nakanishi, M., & Yamasue, E. (2018). Vehicle energy efficiency evaluation from well-to-wheel lifecycle perspective, *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 65, 355-367. doi:/10.1016/j.trd.2018.09.011
- [18] Brand C., & Change E. (2019). Transport Energy Air pollution Model (TEAM): Methodology Guide (Rapor No. UKERC/DM/2019/WP/01). United Kingdom: Energy Research Centre. doi:10.13140/RG.2.2.10229.22242
- [19] Brand, C., Tran, M., & Anable, J. (2012). The UK transport carbon model: An integrated life cycle approach to explore low carbon futures, *Energy Policy*, 41, 107-124. doi:10.1016/j.enpol.2010.08.019
- [20] Brand, C., Anable, J., Ketsopoulou, I., & Watson, J. (2020). Road to zero or road to nowhere? Disrupting transport and energy in a zero carbon world, *Energy Policy*, 139, 111334. doi:10.1016/j.enpol.2020.111334
- [21] Wang, H., Ou, X., & Zhang, X. (2017). Mode, technology, energy consumption, and resulting CO2 emissions in China's transport sector up to 2050, *Energy Policy*, 109, 719-733. doi:10.1016/j.enpol.2017.07.010
- [22] Teixeira A. C. R., & Sodr e, J. R. (2018). Impacts of replacement of engine powered vehicles by electric vehicles on energy consumption and CO2 emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 375-384.

doi:10.1016/j.trd.2018.01.004

- [23] Peng, T., Ou, X., Yuan, Z., Yan, X., & Zhang, X. (2018). Development and application of China provincial road transport energy demand and GHG emissions analysis model, *Applied Energy*, 222, 313–328. doi:10.1016/j.apenergy.2018.03.139
- [24] Logan, K. G., Nelson, J. D., & Hastings, A. (2020). Electric and hydrogen buses: Shifting from conventionally fuelled cars in the UK, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85, 102350, doi:10.1016/j.trd.2020.102350
- [25] Cirit, F. (2011). *Evaluation of energy supply-demand balance and CO2 emissions from the transport sector in Turkey based on technologically detailed markal energy modeling*. (Yüksek lisans tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Tokgöz, M. A. (2019). *Motorlu kara taşıtlarında karbon dioksit ve hava kirlitici emisyonlarının tarihsel gelişimi ve elektrikli araçlara geçiş ile sağlanabilecek potansiyel emisyon azaltımları*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Yeşil, Z. C. (2018). *Şehir içi ulaşımda enerji verimliliği ve çevre kirliliği açısından elektrikli otobüs kullanımının araştırılması: İzmir örneği*. (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [28] Trofimenko, Y., Komkov, V., & Trofimenko, K. (2020). Forecast of energy consumption and greenhouse gas emissions by road transport in Russia up to 2050, *XIV International Conference 2020 SPbGASU "Organization and safety of traffic in large cities"*, *Transportation Research Procedia*, 50, (pp. 698-707). doi:10.1016/j.trpro.2020.10.082
- [29] Modaresi, R., Pauliuk, S., Løvik, A. N., & Mu, D. B. (2014). Global Carbon Benefits of Material Substitution in Passenger Cars until 2050 and the Impact on the Steel and Aluminum Industries, *Environmental Science and Technology*, 48, 10776-10784. doi:10.1021/es502930w
- [30] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023. (2017). T. C. Resmi Gazete, 30289, 2 Ocak, 2018.
- [31] TDK sözlükleri. (2022). *Enerji verimliliği ve Ulaştırma sektörü*. Retrieved April 17, 2022, from <https://sozluk.gov.tr/>
- [32] Url-1 <<https://www.elsevier.com/connect/net-zero-report>> erişim tarihi 17.05.2022.
- [33] Iris, Ç., & Lam, J. S. L. (2019). A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 112, 170–182. doi:10.1016/j.rser.2019.04.069
- [34] Kavaz, İ. (2019). Sürdürülebilirlik politikaları çerçevesinde enerji verimliliği, *Seta Analiz*, 287, 1-25.

- [35] Alvarez, F. C., Vaidyanathan, S., Bastian, H., & King, J. (2014). The 2014 International Energy Efficiency Scorecard (Rapor No. 1801). Washington: American Council for an Energy-Efficient Economy.
- [36] Böhler-Baedeker, S., & Hüging, H. (2012). Urban Transport and energy efficiency, *GİZ, module 5h.*, 1-81.
- [37] 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu. (2007). *T. C. Resmi Gazete*, 26510, 2 Mayıs 2007.
- [38] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global warming of 1.5°C* (IPCC Special Report).
- [39] Pales, A. F., Bouckaert, S., Abergel, T., & Goodson, T. (2021). Net zero by 2050 hinges on a global push to increase energy efficiency. *iea.org*. Retrived April 20, 2022, from <https://www.iea.org/articles/net-zero-by-2050-hinges-on-a-global-push-to-increase-energy-efficiency#>.
- [40] Şahin, Ü., Tör, O. B., Kat, B., Teimourzadeh, S., Demirkol, K., Künar, A., Voyvoda, E. & Yeldan, E. (2021). Türkiye'nin Karbonsuzlaşma Yol Haritası 2050'de Net Sıfır," *İstanbul Politikalar Merkezi, Sabancı Üniversitesi*.
- [41] Liu, D., Xu, L., Sadia, U. H., & Wang, H. (2021). Evaluating the CO2 emission reduction effect of China's battery electric vehicle promotion efforts, *Atmospheric Pollution Research*, 12(7), 101115. doi:10.1016/j.apr.2021.101115
- [42] BP Statistical. (2021). *Statistical Review of World Energy* (Rapor No: BP Edition: 70), London: BP Energy Outlook.
- [43] BP Statistical. (2016) *Statistical Review of World Energy* (Rapor No: BP Editon: 65) London: BP Energy Outlook.
- [44] *Our World in Data, Primary energy consumption from fossil fuels , nuclear and renewables energy, World. (2022). Retrived April 24, 2022, from https://ourworldindata.org/grapher/sub-energy-fossil-renewables-nuclear?country=~OWID_WRL*
- [45] IEA, "Total final consumption by sector, OECD, 1971- 2019. (2021). April 24, 2022, from <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-final-consumption-by-sector-oecd-1971-2019>
- [46] Aküzüm, A. (2010). *Enerji kaynaklı sera gazlarının azaltılması: "Kyoto protokolü esneklik mekanizmaları ve Türkiye"*. (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [47] Roston, E., Rojanasakul, M., Murray, P., Harris, B., Pogkas, D., & Tartar, A. (2021). Annual Greenhouse Gas Emissions, *Bloomberg Green*. Retrieved April 24, 2022, from <https://www.bloomberg.com/graphics/climate-change-data-green/emissions.html>
- [48] BP Statistical. (2017). *Statistical Review of World Energy* (Rapor No: BP Editon: 66) London: BP Energy Outlook.

- [49] *Our World in Data, CO2 Emissions by fuel, World. (2021). Retrived April 25, 2022, from <https://ourworldindata.org/grapher/co2-emissions-by-fuel-line>*
- [50] *Our World in Data, Per capita CO2 emissions by fuel type, World. (2020). Retrived April 25, 2022, from <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-co2-fuel?time=2020..latest>*
- [51] International Energy Agency. (2021). *Global Energy Review* (Rapor: IEA flagship report).
- [52] *Our World in Data, CO₂ emissions by sector, World. (2018). Retrived April 25, 2022, from https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-by-sector?country=~OWID_WRL*
- [53] *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Denge Tabloları, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2022). Retrived April 28, 2022, from <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Duyurulari/Turkiye-Genel-Enerji-Denge-Tabloları>*
- [54] TÜİK (2021). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019, *Haber Bülteni*, 37196.
- [55] Gürtepe, İ. Ç., Yılmaz, A. G., & Köksal, C. E. (2021). Türkiye'nin Bilgilendirici Envanter Raporu (Rapor No: 20210001-1). Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı kurumsal raporu.
- [56] Krause, J., Thiel, C., Tsokolis, D., Samaras, Z., Rota, C., Ward A., Prenninger, P., Coosemans, T., Neugebauer S., & Verhoeve, W. (2020). EU road vehicle energy consumption and CO2 emissions by 2050 – Expert-based scenarios, *Energy Policy*, 138, 111224. doi:10.1016/j.enpol.2019.111224
- [57] Ralph Sims & Roberto Schaeffer. (2019). Chapter 8. Transport, *İPCC*, 599–670,
- [58] T. C. Şehircilik, Çevre ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2019). *Ulaştırma Türüne Göre Sera Gazı Emisyonu. Retrieved May 01, 2022, from <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turune-gore-seragazi-emisyonu-i-85790>*
- [59] Şanzeybek M., & Mock P. (2019). Türkiye'de CO2 emisyonlarının ve yakıt tüketiminin azaltılmasına yardımcı bir politika aracı olarak Özel Tüketim Vergisi, *The International Council on Clean Transportation*, 1-13.
- [60] TÜİK (2021). Motorlu Kara Taşıtları, Ekim 2021, *Haber Bülteni*, 37432.
- [61] TÜİK (2021). Taşıt-kilometre İstatistikleri, 2015-2019. *Haber Bülteni* 37409.
- [62] International Energy Agency. (2018). *Global Energy and CO2 Status Report: The latest trends in energy and emissions in 2018*.
- [63] T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2015-2020). *Elektrik Piyasası Sektör Raporları*. Ankara: T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
- [64] Kilickaplan, A., Bogdanov, D., Peker, O., Caldera, U., Aghahosseini, A., & Breyer, C. (2017). An energy transition pathway for Turkey to achieve 100% renewable energy powered electricity, desalination and non-energetic industrial gas demand sectors by 2050, *Solar Energy*, 158, 218-235, doi:10.1016/j.solener.2017.09.030

- [65] Berke, M. Ö., Wilshire, M., Hoberg, J., Orlandi, I., & Boyle H. (2014). Türkiye'nin yenilenebilir gücü (Rapor: WWF Türkiye). İstanbul: European Climate Foundation, Bloomberg New Energy Finance.
- [66] World Nuclear Association. (2011). *Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources*. London: WNA.
- [67] Maxwell, D., & McAndrew L. (2011). Addressing the Rebound Effect: Final Report (Rapor No. 0112). European Commission.
- [68] Nergiz, M. (2020). *Hibrid otomobillerde egzoz sistemindeki emisyon reaksiyon süreçlerinin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [69] Güner, C. (2013). *Dışarıdan Şarj Edilebilen Hibrit Elektrikli Araç ile Menzil Artırıcı Elektrikli Araç Konseptlerinin Karşılaştırılması*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [70] Zhang, F., Wang, L., Coskun, S., Pang, H., Cui, Y., & Xi, J. (2020). Energy Management Strategies for Hybrid Electric Vehicles: Review, Classification, Comparison, and Outlook, *Energies*, 13, 3352. doi:10.3390/en13133352
- [71] Emadi, A., Lee, Y. J., & Rajashekara, K. (2008). Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 55, 2237–2245. doi:10.1109/TIE.2008.922768.
- [72] Kurt, M. C. (2021). *Elektrikli araçlar için şasi modelinin belirlenmesi ve statik analizi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Gedik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [73] Mosin, M. (2020). *Plug-in-hybrid electric vehicle*. (Master degree). Muffakham Jah College of Engineering and Technology, Hyderabad.
- [74] Li, Y., Liang, Z., Zhu, H., & Tang, X. (2019). Electric Vehicle Dynamic-Based Car-Following Model and Stability Analysis, *Proceedings of the 38th Chinese Control Conference*, (pp. 6692–6696). China: Guangzhou, July 27-30.
- [75] Musayev, A. *Elektrikli araç tahrik sistemleri için mıknatıslı senkron motor tasarımı*. (Yüksek lisans tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [76] Demir, Z. (2019). *Alüminyum boyasının parlaklık ve kaplama değerlerini yapay sinir ağları ve çoklu regresyon yöntemleri ile tahmini*. (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Sakarya.
- [77] Aydın, Ş. (2019). *Bireysel bankacılık hizmetlerinin BİST BANKA endeksindeki bankaların karlılıklarına etkisi*. (Yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- [78] Biçkici, B. (2007). *Çok değişkenli varyans analizi ve çoklu doğrusal regresyon analizinin uygulamalı olarak karşılaştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Erzurum.
- [79] *Real GDP long-term forecast, OECD data*. (2022). Retrieved May 2, 2022, from

<https://data.oecd.org/gdp/real-gdp-long-term-forecast.htm#indicator-chart>

- [80] TÜİK. (2021). İstatistiklerle Aile, *Haber Bülteni*, 37251.
- [81] Aytaç M. (2021). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, *Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)*, 37210.
- [82] Jian, L., Yongqiang, Z., Larsen, G. N. S., & Snartum, A. (2020). Implication of road transport electrification: A long-term scenario-dependent analysis in China. *eTransportation*, 6, 100072. doi:10.1016/j.etrans.2020.100072
- [83] Brand, C. & Change, E. (2019). Transport Energy Air pollution Model (TEAM): Methodology Guide - Appendices, (Rapor No. UKERC/DM/2019/WP/01). United Kingdom: Energy Research Centre.
- [84] TEİAŞ. (2021). *Türkiye elektrik enerjisi tüketim ve kayıplarının yıllar itibariyle gelişimi 1993-2020*. Retrieved May 2, 2022, from <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>