

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TOPLU TAŞIMADA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN
EMİSYONLARA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: TÜRKİYE
ÖRNEĞİ

Seren ARSLAN

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2025

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

TOPLU TAŞIMADA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN EMİSYONLARA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Tez Yazarı
Seren ARSLAN

Danışman
Prof. Dr. Hikmet ESEN

TEMMUZ 2025
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Toplu Taşımada Elektrikli Araçların Emisyonlara Etkisinin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği
Yazarı:	Seren ARSLAN
İlk Teslim Tarihi:	13.06.2025
Savunma Tarihi:	17.07.2025

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Hikmet ESEN Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Fehmi ASLAN Malatya Turgut ÖZAL Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksek Okulu	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Habip ŞAHİN Fırat Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Toplu Taşımada Elektrikli Araçların Emisyonlara Etkisinin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

17.07.2025

Seren ARSLAN



ÖNSÖZ

Bu çalışmada Türkiye’de toplu taşıma araçlarının elektrikli modellere dönüşümünün sera gazı emisyonları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Günümüzde çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve karbon ayak izinin azaltılması konuları, yalnızca teknik birer konu olmaktan çıkmış; toplumsal sorumluluk alanına da dönüşmüştür. Bu doğrultuda, elektrikli araç teknolojilerinin yaygınlaşması, yalnızca bir tercih değil, aynı zamanda geleceğe yönelik stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. Tez çalışmamda bu teknolojik geçişin çevresel etkilerini teknik veriler, hesaplamalar ve resmi istatistikler doğrultusunda değerlendirerek, literatüre ve uygulamalara katkı sunmayı hedefledim.

Bu süreçte karşılaştığım en büyük zorluk, ülkemizdeki veri çeşitliliği, enerji üretim kaynaklarının yıllara göre değişkenliği ve elektrikli araçlara yönelik çevresel hesaplamaların yüksek duyarlılık gerektirmesiydi. Ancak bu zorluklar, çalışma isteğimi ve araştırma motivasyonumu azaltmak yerine daha da pekiştirdi. Gerçek, güncel ve uygulanabilir bir sonuç üretme arzusu; tezimin şekillenmesinde en önemli yönlendirici unsur oldu.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında büyük katkıları olan çok değerli hocam Prof. Dr. Hikmet ESEN’e en içten teşekkürlerimi sunarım. Gerek akademik rehberliğiyle gerekse verdiği ilhamla ve sabrıyla bu sürecin her aşamasında yanımda olmuştur. Ayrıca, özellikle veri temini ve hesaplamaların hassasiyetle yürütülmesi noktasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Doç. Dr. Habip ŞAHİN’e teşekkürü bir borç bilirim. Teknik açıdan olduğu kadar manevi açıdan da bana güç veren varlığı bu sürecin önemli yapı taşlarından biri olmuştur.

Tüm bu akademik sürecin yanı sıra, hayatımın her alanında olduğu gibi bu yolculukta da bana koşulsuz destek veren sevgili aileme; her daim yanımda olan anneme ve babama sonsuz teşekkür ederim. Varlıkları, desteği ve sevgisi bu tez çalışmasının arkasındaki en büyük güç kaynağı olmuştur.

Seren ARSLAN
ELAZIĞ, 2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KARBON EMİSYONU- İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SERA GAZININ DEĞERLENDİRİLMESİ . 7	7
2.1. Karbon Emisyonu.....	7
2.1.1. İklim Değişikliği	8
2.1.2. Hava Kalitesi.....	8
2.1.3. Enerji Kaynakları ve Güvenliği.....	9
2.1.4. Düşük Karbon Ekonomisi	9
2.2. Sera Gazları.....	10
2.2.1. Partiküller.....	10
2.2.2. Karbonmonoksit.....	11
2.2.3. Azot Oksitler	12
2.2.4. Kükürtlü Bileşenler	12
2.2.5. Hidrokarbonlar	12
2.3. Karbon Ayak İzi	13
2.3.1. Türkiye’de ve Dünyada Karbon Ayak İzi Değişimi.....	13
2.3.2. Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak izinin İncelenmesi	14
2.3.3. Toplu Taşıma Araçları ve Karbon Emisyon İlişkisi.....	15
2.4. Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri.....	16
2.4.1. Karbon Emisyon Oluşumunun Engellenmesi.....	17
2.4.2. Karbon Uzaklaştırma.....	17
2.4.3. Karbon Yakalama.....	17
2.4.4. Karbon Dengeleme.....	18
2.5. Uluslararası Kuruluşların Küresel Çevre Politikası Yönetimindeki Rollerini	18
2.5.1. Avrupa Birliği (AB)	19
2.5.2. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS).....	21
2.5.3. Montreal Politikası	21
2.5.4. Kyoto protokolü	21
2.5.5. Paris Anlaşması.....	22
3. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	24
3.1. Elektrikli Araç Yapısı.....	24
3.2. Dünyada Elektrikli Araç Teknolojisi.....	25
3.3. Türkiye’de Elektrikli Araç Teknolojisi.....	27
3.4. Türkiye Elektrikli Araç Şarj Altyapısı Durumu	28
3.5. Elektrikli Araç Şarj Sistemlerinde İyileştirilmesi Gereken Alanlar.....	30
3.6. Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri	31

3.6.1. Kablo ile Şarj Seviyeleri.....	32
3.6.2. Kablosuz Şarj	33
3.6.3. Batarya Değiştirme Yöntemi.....	33
3.7. Elektrikli Araç Şarj Modları	34
3.7.1. Mod 1	34
3.7.2. Mod 2	34
3.7.3. Mod 3	35
3.7.4. Mod 4	35
3.8. Elektrikli Araç Şarj İstasyon Tipleri.....	36
3.8.1. AC Şarj İstasyonu.....	36
3.8.2. DC Şarj Metodu	37
3.9. Elektrikli Araçlarda Karbon Emisyonunun İncelenmesi	38
3.9.1. Doğrudan Emisyon.....	38
3.9.2. Dolaylı Elektrik Üretimi ve Araç Üretiminden Kaynaklanan Emisyonlar	38
3.10. Elektrikli Araçların Yaygınlaşmasının Türkiye'nin Ulusal Karbon Ayak İzine Etkisi	39
4. MOTORLU TAŞITLAR	40
4.1. Motor Çeşitleri.....	40
4.1.1. İçten Yanmalı Motorlar	40
4.2. Dıştan Yanmalı Motor	43
4.3. Motorlu Taşıtlar ve Karbon Emisyonu	43
5. TÜRKİYE'DE MOTORLU VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN MEVCUT DURUMU	44
5.1. Motorlu Taşıt Sayısı ve Yakıt Türlerine Göre Sınıflandırılması	44
5.2. Türkiye'de Elektrikli Araç Durumu	46
6. MATERYAL VE METOT.....	47
6.1. Emisyon Hesabı Tier 2 Yaklaşımı	47
6.2. Elektrikli Araçlara Dönüşümü ve Emisyon Hesabı	52
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
7.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçların Analizi.....	55
7.2. Elektrikli Araçların Analizi	57
8. SONUÇLAR.....	60
ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Toplu Taşımada Elektrikli Araçların Emisyonlara Etkisinin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği

Seren ARSLAN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2025, Sayfa: xi + 69

Türkiye’de toplu taşımada kullanılan içten yanmalı otobüs ve minibüs filosunun tamamının elektrikli araçlara dönüştürülmesi durumunda, karbon emisyonlarında meydana gelecek değişim analiz edilmiştir. Araştırmada öncelikle içten yanmalı motorlu araçların yıllık karbon salınımı; taşıt sayısı, taşıt-kilometre istatistikleri ve yakıt türlerine göre belirlenmiş resmi emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elektrikli araç senaryosu ise Türkiye’nin elektrik üretim kaynak yapısı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Elektrikli araçların ortalama 0,6 kWh/km enerji tükettiği varsayılmış ve Türkiye elektrik şebekesinin yenilenebilir, kömür ve doğalgaz oranlarına göre oluşan karbon yoğunluğu temel alınarak Kaynakdan Tekerleğe (KTT) yöntemine göre emisyon hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda 2022 yılı itibarıyla otobüs ve minibüs filosunun içten yanmalı motorlarla oluşturduğu yıllık karbon emisyonu 12.521,57 GgCO₂ olarak belirlenmiştir. Tüm filonun elektrikli araçlara dönüştürülmesi durumunda bu değer 7.209,55 GgCO₂’ye düşeceği öngörülmüştür. Bu da yaklaşık %42,4 oranında bir azalma anlamına gelmektedir. Elde edilen sonuçlar, Türkiye’de toplu taşımanın elektrikli araçlar ile yeniden yapılandırılmasının, ülke çapındaki karbon emisyonlarının azaltılmasında önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Dizel araçlar, Elektrikli taşıt dönüşümü, Emisyon faktörü, Enerji yoğunluğu, KTT hesaplaması, Sera gazı emisyonları, Taşıt-kilometre.

ABSTRACT

Assessing the Emission Impact of Electric Vehicles in Public Transportation: The Case of Türkiye

Seren ARSLAN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Systems Engineering

July 2025, Pages: xi + 69

The change in carbon emissions in case the entire internal combustion bus and minibus fleet used in public transportation in Turkey is converted to electric vehicles has been analyzed. In the study, the annual carbon emissions of internal combustion engine vehicles were calculated using official emission factors determined by vehicle number, vehicle-kilometer statistics, and fuel type. The electric vehicle scenario was developed considering Turkey's electricity generation resource structure. Electric vehicles were assumed to consume an average of 0.6 kWh/km, and emissions were calculated using the Source-to-Wheel (SWW) method, based on the carbon intensity of the Turkish electricity grid, based on the ratio of renewables, coal, and natural gas. These calculations determined that the annual carbon emissions of the bus and minibus fleet, powered by internal combustion engines, would be 12,521.57 GgCO₂ by 2022. Conversion of the entire fleet to electric vehicles would reduce this figure to 7,209.55 GgCO₂, representing a reduction of approximately 42.4%. The results demonstrate that restructuring public transportation in Turkey with electric vehicles has significant potential to reduce nationwide carbon emissions.

Keywords: Diesel vehicles, Electric vehicle conversion, Emission factor, Energy density, EWTW calculation, Greenhouse gas emissions, Vehicle-kilometer.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Partikül Madde Bileşenleri [31]..... 10
Şekil 2.2	Avrupa Birliği Emisyon Standartları [32]..... 11
Şekil 2.3	Benzinli ve dizel motorlarda hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi [34]..... 12
Şekil 2.4	G20 Ülkeleri [38]..... 13
Şekil 2.5	1990- 2020 yılları arasında ulaşım bağı emisyon değeri [42]..... 15
Şekil 3.1	Hibrit Elektrikli Araç [57] 24
Şekil 3.2	Dünyada Elektrikli Araç Satışları [63]..... 26
Şekil 3.3	Türkiye’de Toplam Elektrikli Araç Sayısı Yıllık Değişimi [67] 28
Şekil 3.4	Manyetik Rezonanslı Kuplaj Eşdeğer Devresi [71]..... 33
Şekil 3.5	Mod 1 Şarj Modu [74] 34
Şekil 3.6	Mod 2 Şarj Modu [75] 35
Şekil 3.7	Mod 3 Şarj Modu [75] 35
Şekil 3.8	Mod 4 Şarj Modu [75] 36
Şekil 4.1	İçten Yanmalı Motor [79]..... 41
Şekil 4.2	Benzin Motoru [80] 41
Şekil 4.3	Dizel Motor [80] 42
Şekil 4.4	Doğal Gaz Motoru [81]..... 43
Şekil 5.1	Türkiye’de trafiğe kayıtlı ve kaydı yapılan araç sayılarının dağılımı [83]..... 44
Şekil 7.1	Yakıt türüne göre toplam emisyon..... 56
Şekil 7.2	Otobüs ve minibüs bazında emisyon değeri..... 57
Şekil 7.3	Yıllık Toplam Emisyon Karşılaştırması (GgCO ₂) 58

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Türkiye’de Elektrikli Araç Şarj Alt Yapısı Durumu [68]	29
Tablo 3.2 Türkiye’de il bazında AC ve DC toplam soket sayısı [68]	30
Tablo 3.3 Elektrikli araçların şarj standartları [76]	37
Tablo 3.4 Elektrikli Araçların Şarj Hızları ve Süreleri [76]	37
Tablo 5.1 2021-2025 Yılları Arası Trafîğe Kayıtlı Araç Sayısı [83]	45
Tablo 5.2 Otobüs-Minibüs Yakıt Türüne Göre Yüzdelik Dağılımı	46
Tablo 5.3 Hibrit ve Elektrikli Araç Sayısı.....	46
Tablo 6.1 Yakıt Türlerine Göre Yıllık Araç Sayısı [89]	48
Tablo 6.2 Her araç grubunun 100 km’deki yakıt tüketim miktarları (litre) [90]	49
Tablo 6.3 2022 Yılı Minibüs Otobüs Taşıt Kilometresi [91]	49
Tablo 6.4 Araçların Yakıt Türlerine Göre 2022 Yılı Kilometre Dağılımı	49
Tablo 6.5 Yakıt türlerine ait dönüşüm faktörleri [92]	50
Tablo 6.6 Yakıt türlerinin CO ₂ emisyon faktörleri [92]	50
Tablo 6.7 2022 Yılı Araçların Karbon Emisyon Miktarları (GgC)	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

g	: Gram (Kütle Birimi)
gCO ₂	: Gram Karbondioksit
Gg	: Gigagram (Kütle Birimi)
GgC	: Gigagram Karbon
km	: Kilometre (Uzunluk Birimi)
kt	: Kilo ton
kW	: Kilowatt (Güç Ölçü Birimi)
kWh	: Kilowattsaat
kgCO ₂	: Kilogram karbondioksit
Mt	: Mega ton
MWh	: Megawattsaat (Enerji Birimi)
Ppm	: Konsantrasyon Birimi
t	: Ton
Tc	: Ton karbon
TJ	: Terajoule

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
AQP	: Aquaporin (Su Taşıyıcı Protein)
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi
CNG	: Compressed Natural Gas (Sıkıştırılmış Doğalgaz)
CO	: Karbon Monoksit
CO ₂	: Karbondioksitin Moleküler Formülü
DC	: Doğru Akım
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
EA	: Elektrikli Araç
EF	: Emisyon Faktörü
HC	: Hidrokarbon
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit Molekül Formülü
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
LPG	: Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MRK	: Manyetik Rezonanslı Kuplaj
NDC	: Nationally Determined Contribution (Ulusal Olarak Belirlenen Katkı)
NO _x	: Nitrogen Oxides (Azotoksit)
NZE	: Net Zero Emission (Net Sıfır Emisyon)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WLC	: Whole Life Cost (Yaşam Döngüsü Maliyeti)

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ölçekte etkileri hissedilen en büyük çevresel tehditlerden biri küresel ısınmadır. Bu durum, özellikle karbondioksit (CO₂) gibi sera gazlarının atmosfere salımı üzerine yapılan çalışmalarda dikkate değer bir artışa neden olmuştur. Karbon emisyonu, fosil yakıt kullanımı, sanayi üretimi ve ulaşım faaliyetleri gibi insan kaynaklı süreçler sonucunda atmosfere salınan CO₂ miktarını ifade eder. Normal koşullarda güneş ışınlarının bir kısmını tutarak yeryüzü sıcaklığını dengede tutan bu gazlar, fazlalaştıklarında bu dengeyi bozarak küresel sıcaklıkların yükselmesine sebep olmaktadır. Özellikle fosil yakıtlardan kaynaklanan bu emisyonlar hem iklim değişikliğinin hem de hava kirliliğinin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır.

Son dönemlerde motorlu taşıt sayısındaki artış ve karayolu trafiğinin yoğunlaşması, hava kirliliği ile CO₂ salımı arasındaki bağlantıyı daha da belirgin hâle getirmiştir. Karayolu ulaşımına bağlı emisyonlar, genel hava kirliliği içinde büyük bir paya sahiptir. İçten yanmalı motorlar tarafından benzin, dizel ve LPG gibi fosil yakıtların yakılması sonucunda atmosfere yayılan CO₂, bu taşıtların çevresel etkilerini artırmaktadır. Ulaşım sektörünün toplam karbon salımındaki yüksek payı göz önünde bulundurulduğunda, taşıtlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda, çalışmada dizel, benzinli ve LPG'li taşıtların yerine elektrikli araçların kullanılması durumunda oluşabilecek karbon emisyonu değişimi ele alınacaktır. Türkiye'de toplu taşıma sistemine ait araç türlerinin yakıt bazlı CO₂ salımları, TÜİK verileri temel alınarak hesaplanacak; ardından bu araçların elektrikli modellerle değiştirilmesi durumunda sağlanacak emisyon azalışı ortaya konacaktır. Literatürdeki değerlendirmeler doğrultusunda, fosil yakıt kullanmanın özellikle çevre ve insan sağlığı yönünden etkileri oldukça büyük olduğu görülmüştür.

Bu konuyla ilgili yürütülen çalışmalara bakıldığında; İklim krizine ve küresel ısınmaya karşı artan toplumsal ve politik tepkiler, Birleşmiş Milletler, Avrupa Birliği ve çeşitli ülkeleri karbon salımlarını kontrol altına alacak önlemler almaya yöneltmiştir. Bu doğrultuda, karbon vergilendirme mekanizmaları, temiz kalkınma girişimleri, emisyon kotaları ve karbon ticareti sistemleri gibi araçlar yaygın şekilde uygulanmaktadır. Ayrıca, karbon emisyonlarının azaltılmasında, sadece kamu politikaları değil, tüketici yönelimleri de belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, uluslararası şirketler, çevreye duyarlı tüketici taleplerini karşılayabilmek adına sürdürülebilirlik odaklı adımlar atmaktadır [1]. Volkswagen gibi firmalar, karbon hedefi koyma sözü vererek, çevreci teknolojilere yönelmiş ve daha az kirlletici motorlar, doğa dostu üretim sistemleri ve çevresel etkisi az olan uygulamalar geliştirmiştir [2].

TÜİK'in 2021 yılına ait emisyon raporuna göre, Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonu karbondioksit eşdeğeri olarak 564,4 milyon tona ulaşmıştır. Ulaştırma sektörü özelinde, 2020 yılında 80.680 kiloton CO₂ eşdeğeri olan emisyon miktarı, 2021 yılında 91.200 kiloton CO₂ eşdeğerine yükselmiştir. 1990 yılında ulaşırmadan kaynaklı emisyonların toplam emisyonlar içindeki payı %12,8 iken, bu oran 2021 yılında %16,2'ye çıkmıştır. Aynı yıl ulaştırma sektörüne ait CO₂ emisyonlarının %94,8'inin kara yolu taşımacılığından, %3,1'inin hava yolundan, %1,2'sinin deniz yolundan, %0,4'ünün demir yolundan ve kalan %0,4'ünün ise diğer ulaşım türlerinden kaynaklandığı rapor edilmiştir [3].

Elektrikli araçlar, günümüzde daha çevreci ve sürdürülebilir ulaşım seçeneklerine geçişte önemli bir rol oynamaktadır. Sıfır emisyonla çalışmaları sayesinde hava kirliliğini azaltmakta ve insan sağlığına olumlu katkılar sunmaktadır. Bu nedenle, elektrikli araç satışlarının artması sadece bireysel değil, toplumsal ve çevresel açıdan da büyük bir kazanım anlamına gelmektedir [4].

Geleneksel yakıtlı çalışan taşıtlara oranla, elektrikli araçların daha düşük hava kirleticilere neden olduğu ve özellikle CO₂ salımının daha az olduğu genel kabul görmektedir [5].

Elektrikli araçların yaygınlaşması, iklim krizine karşı verilen mücadelede önemli bir yer tutmaktadır. Fosil yakıtlı araçlara göre daha az karbon salımı yapan bu araçlar, aynı zamanda hava kirliliğini de azaltmaktadır. Elektrikli araç satışlarının artması, enerji kullanımında verimliliği artırırken karbon emisyonlarının da düşmesine katkı sağlamaktadır. Örneğin Los Angeles'ta yapılan bir çalışmada, elektrikli araçların sera gazı salımı üzerindeki etkileri detaylı şekilde incelenmiştir [6].

Elektrikli araçların birçok ülkede hızla yaygınlaşması, karbon emisyonlarını azaltma konusundaki etkilerine olan küresel ilgiyi artırmıştır. 2009 ile 2017 yılları arasındaki aylık veriler kullanılarak yapılan bir çalışmada; Çin, Fransa, Almanya, Hindistan, Japonya, Hollanda, Norveç ve Birleşik Krallık'ta elektrikli araç sayısı ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki incelenmiştir. Araştırmada, farklı emisyon seviyelerinde elektrikli araç oranlarının etkisini görmek amacıyla kantil-kantil regresyon yöntemi tercih edilmiştir. Sonuçlar, ülkeler arasında bu ilişkinin belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur [7].

İngiltere'de ise 2020 yılında yapılan bir çalışmada, karayolu taşımacılığı kaynaklı CO₂ emisyonlarının 2050 yılına kadar olan projeksiyonu değerlendirilmiştir [8].

Japonya'da yapılan çalışmalar, elektrikli araçların CO₂ emisyonlarını ne ölçüde azaltabileceğine odaklanırken; Çin'de bu araçların emisyonlar üzerindeki etkileri detaylı şekilde araştırılmıştır. Tüm

bu veriler, elektrikli araçların emisyonları düşürme konusunda ciddi bir katkı sağlayabileceğini göstermektedir [9-10].

Nature Communications dergisinde yayımlanan “ABD yolcu ve yük hareketliliği için karbondan arındırma yolları” başlıklı makalede, araştırmacılar ulaşım sektörünün sera gazı emisyonları açısından en büyük paya sahip alanlardan biri olduğunu belirtmiş ve bu alandaki dönüşüm için çeşitli stratejiler geliştirmiştir. Araştırmada, bu dönüşümün yalnızca tek bir teknoloji ya da davranış değişimiyle sağlanamayacağı vurgulanmış, egzoz kaynaklı emisyonların tamamen ortadan kaldırılmasının ana hedeflerden biri olduğu ifade edilmiştir. ABD’de ulaşım sektörü hem en büyük emisyon kaynağıdır hem de küresel çapta en hızlı büyüyen alanlardan biridir. Çalışmada, sıfır emisyonlu araçlara geçişin hızlanması, temiz elektrik altyapısına yönelme ve ulaşım talebinin daha verimli yönetilmesinin gerekliliği ortaya konmuştur. Sonuç olarak, bu dönüşüm sürecinde en kritik unsurun, sıfır emisyonlu araç kullanımını destekleyecek politika ve uygulamalar olduğu sonucuna varılmıştır [11].

Karayolu taşımacılığı kaynaklı sera gazı salımları, benzinli ve dizel yakıtlı motosiklet, otomobil, kamyon ve otobüs gibi araçların çalışmasıyla oluşmaktadır. Bu emisyonların %60’ı yolcu taşımacılığına, %40’ı ise yük taşımacılığına aittir. Ancak karbon nötr ya da düşük emisyonlu araçların kullanılmasıyla dünya genelindeki sera gazı salımları %11,9 oranında azaltılabilir [12].

İrlanda’da ulaşım kaynaklı sera gazı salımlarının %96 gibi büyük bir kısmı karayolu taşımacılığına bağlıdır. 2013 yılı verilerine göre yapılan değerlendirmeler, bu emisyonların çoğunun dizel yakıt kullanan araçlardan geldiğini göstermektedir. Özellikle Euro II ve Euro III sınıfı binek araçların emisyon artışında önemli rol oynadığı belirtilmiştir [13].

İstanbul özelinde 2016–2050 yılları arasındaki karayolu taşımacılığına bağlı sera gazı emisyonları TIMES yöntemiyle analiz edilmiştir. Üç farklı senaryonun ele alındığı bu çalışmada; 2050 yılında %39 oranında emisyon azalması olabileceği öngörülmüştür. Özellikle üçüncü senaryoda bu düşüşün, LPG ve CNG gibi alternatif yakıtların kullanımının artırılmasıyla sağlandığı görülmektedir [14].

Çanakkale’de yollar her geçen yıl daha da kalabalıklaşırken, karbon izleri de giderek belirginleşiyor. 2015–2018 yılları arasında karayolu taşımacılığı kaynaklı karbon ayak izi, IPCC’nin önerdiği Tier 1 ve Tier 2 yöntemleriyle hesaplandı. Tier 1 yöntemiyle 2015’te 701.435 Gg olarak belirlenen değer, %7’nin üzerindeki artışla 2018’de 752.536 Gg’a ulaştı. Daha ayrıntılı veri setlerine dayanan Tier 2 yöntemine göre ise karbon ayak izi 2015 yılında 686,85 Gg iken, 2018

yılında 736,89 Gg'a yükseldi. Bu artış, bölgesel düzeyde ulaşım faaliyetlerinin çevresel etkisinin giderek arttığını açık bir şekilde ortaya koymaktadır [15].

2021 yılında bataryalı elektrikli araçların elektrik tüketimi toplam tüketimin sadece %2,3'ünü oluşturuyorken, 2030 yılına kadar bu oranın %34,2'ye ulaşması beklenmektedir. Konvansiyonel araçlarla bataryalı elektrikli araçlar kıyaslandığında, tekerden tekere (well-to-wheel) emisyon değerleri sırasıyla 192,1 ve 100,5 gCO₂/km olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, Türkiye'nin artan elektrik ihtiyacını karşılamak ve emisyonları azaltmak için öncelikle yenilenebilir enerjiye, ardından da nükleer enerji kaynaklarına yönelmesi gerektiğini göstermektedir [16].

Toplu taşıma sistemlerinin elektrikli araçlara geçişine yönelik farklı senaryolar oluşturulmuştur. İlk senaryoda, ticari taksilerin %30'unun elektrikli olacağı varsayılmıştır. İkinci senaryoda bu oran %70'e çıkarılırken, aynı zamanda otobüslerin %30'unun da dönüşeceği kabul edilmiştir. Üçüncü senaryoda ise ticari taksilerin tamamı, otobüslerin %70'i ve minibüslerin %30'u elektrikli araçlara dönüştürülmektedir. Toplam altı senaryo kapsamında, tüm toplu taşıma araçlarının elektrikliye dönüştüğü varsayımlar da değerlendirilmiştir. Bu senaryolarda yalnızca araçlardan kaynaklanan doğrudan emisyonlar değil, elektrikli araçlara geçişle birlikte artacak enerji talebinin oluşturduğu emisyonlar da dikkate alınmış ve net emisyon farkı hesaplanmıştır [17].

2050 yılı itibarıyla dünya genelinde hafif ticari araç sayısının 2 milyarın üzerine çıkması beklenmektedir. Eğer araç üretiminde ya da yakıt tüketiminde herhangi bir değişiklik yapılmazsa, bu artış çevresel anlamda ciddi sorunlara yol açabilir ve sera gazı salımlarında bir azalma sağlanamayabilir [18].

Küresel ölçekte ulaşım sektöründe fosil yakıt kullanımının azaltılmasının, CO₂ emisyonlarının düşürülmesinde en etkili yöntemlerden biri olduğu literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır. Elektrikli araç kullanımının artışı ise, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak ve çevresel kirliliği azaltmak açısından en uygulanabilir ve gerçekçi çözümlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda, elektrikli araçların CO₂ emisyonları üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir [19].

Avrupa Birliği, 2020 yılı itibarıyla taşıtlardan kaynaklanan sera gazı yoğunluğunu %10 oranında azaltmayı hedeflediğini duyurmuştur. Fosil yakıtların tükenme riski ve çevreye verdiği kalıcı zararlar, elektrikli araç teknolojilerinin gelişimini hızlandıran temel etmenler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışmada, elektrikli araçların tarihsel gelişimi, çalışma prensipleri ve hem dünya genelinde hem de Türkiye özelindeki yaygınlık durumları kapsamlı biçimde ele alınmıştır [20].

Türkiye’de varsayımsal olarak kullanılan 10.000 elektrikli aracın yol açacağı ek karbon salımı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda araç tipleri, yolculuk süreleri, mesafeler ve kullanıcıların şarj etme davranışlarına göre saatlik elektrik talebini modelleyen bir simülasyon oluşturulmuştur. Arz tarafında ise, Türkiye’nin elektrik üretim sisteminde hangi santral türlerinin marjinal kaynak olduğunu belirlemek üzere analiz yapılmış ve bu santrallerin karbon salım faktörleri hesaplanmıştır. 2014 ve 2019 yıllarına ait verilerle, dört mevsim ve günün üç farklı zaman dilimi dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 2019 yılı itibarıyla Türkiye’de marjinal emisyon faktörleri 100–332 kgCO₂/MWh aralığında seyretmiş ve bu seviyeler pek çok ülkeye kıyasla daha düşük kalmıştır. Son aşamada hem elektrik talebi hem de üretim kaynakları birlikte değerlendirilerek 10.000 elektrikli araçtan oluşan varsayımsal bir filonun toplam karbon salımı hesaplanmış; bu filonun içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla %20–%33 oranında daha az emisyon ürettiği ortaya konmuştur [21].

Yapılan çalışmada [22], CO₂ emisyonlarının belirli miktarda azalış yönelimli olduğu görülse de önümüzdeki yıllar için belirlenen emisyon oranlarındaki azalma hedefleri için yeterli seviyelere gelmeyeceğini vurgulamıştır. Elektrikli ve hibrit araçların yapısal çeşitliliği nedeniyle, güç aktarım sistemlerine yönelik optimizasyon yöntemlerinin uygulanması sonucunda CO₂ emisyonlarında azalma sağlandığı tespit edilmiştir. 2011 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi ev sahipliğinde düzenlenen Türkiye Hibrit ve Elektrikli Araçlar Çalıştayında alınan kararlar doğrultusunda, egzoz emisyonlarının kontrol altına alınması amacıyla Euro V emisyon standardından Euro VI’ya geçilmesi yönünde yasal düzenlemelere gidilmiştir. Bu durum, otomobil üreticilerini elektrikli araç teknolojileri üzerine yoğunlaşmaya teşvik eden önemli bir unsur olmuştur. Öte yandan, Avrupa ülkelerinde karbon emisyonuna göre uygulanan vergilendirme sistemi, hem yeni araç satın alacak bireyler hem de mevcut araç kullanıcıları açısından elektrikli araçları daha cazip hale getirmektedir.

Shen vd. [23] yaptıkları çalışmada, Tayvan için 2050 net sıfır emisyon hedefine yanıt olarak 2022’de elektrikli araçlara (EA) odaklanmayı içeren "Net Sıfır Emisyona Giden Yol’u" başlatmışlardır. Ancak elektrikli araçların emisyon azaltıcı etkisi Tayvan’da tam olarak araştırılmamıştır. Bu nedenle bu çalışma, kaynaktan tekerleğe yöntemi temelinde benzinli araçları elektrikli araçlarla değiştirerek çevresel performansa ilişkin yaşam döngüsü değerlendirmesi yapmayı amaçlamıştır. Bu çalışma aynı zamanda nüfus ve enerji talebiyle ilişkilendirmek için sistem dinamikleri aracılığıyla bir geri bildirim mekanizması kurmaktadır. Elektrikli araçların 2050 yılına kadar sağlayabileceği emisyon azaltım potansiyeli ve çevresel etkileri üzerine projeksiyonlar yapılmıştır. %95 güven aralığında yapılan tahminlere göre; toplam sürüş mesafesi, yakıt ekonomisi ve enerji yoğunluğu gibi değişkenlerden kaynaklanan belirsizlikler dikkate alındığında, 2050 yılı itibarıyla elektrikli araçların sera gazı emisyonlarının $7,826 \times 10^5$ ile $1,069 \times 10^6$ ton CO₂ arasında

olacağı öngörülmektedir. Bu sonuçlar, elektrikli araçların uzun vadeli iklim hedefleri doğrultusunda önemli bir emisyon azaltım potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



2. KARBON EMİSYONU- İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SERA GAZININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sanayileşmenin hız kazanması, nüfusun giderek artması ve fosil yakıtların yaygın şekilde kullanılması, küresel çapta atmosferdeki sera gazı birikimini ciddi düzeyde yükseltmiştir. Bu yükseliş, özellikle karbondioksit gibi başlıca sera gazlarının etkisiyle iklim değişikliği sorununu daha da ağırlaştırmıştır. Karbon salımları; enerji üretimi, ulaşım, endüstriyel faaliyetler ve tarım gibi pek çok sektörden kaynaklanmakta ve atmosferin doğal dengesini olumsuz yönde etkilemektedir.

İklim değişikliği artan sıcaklıklar, kuraklık, deniz seviyesindeki yükselme ve ekstrem hava olayları gibi birçok çevresel ve sosyoekonomik sonucu beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, karbon salınımının kaynağında azaltılması ve temiz enerji kaynaklarına yönelim, sürdürülebilir bir gelecek için temel zorunluluk haline gelmiştir [24-25].

Sera gazı emisyonlarının sistematik olarak izlenmesi, değerlendirilmesi ve azaltım stratejilerinin geliştirilmesi hem ulusal hem de küresel düzeyde çevresel politikaların belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde karbon emisyonunun tanımı, kaynakları, iklim değişikliğiyle ilişkisi ve sera gazlarının genel etkileri detaylı biçimde ele alınacaktır.

2.1. Karbon Emisyonu

Karbon emisyonu, başta fosil yakıtların yakılması, sanayi faaliyetleri ve ulaşım olmak üzere, insan kaynaklı süreçler sonucunda atmosfere salınan karbondioksit miktarını ifade eder. Bu emisyonlar, atmosferdeki sera gazı yoğunluğunu artırarak sera etkisi adı verilen doğal süreci bozmakta ve küresel ısınmayı tetiklemektedir. Sera gazları, güneşten gelen ışınların bir kısmını yeryüzüne ulaştırırken, yansıyan ısıyı tutarak dünyayı yaşanabilir sıcaklıkta tutan bir örtü görevi görür. Ancak, bu gazların atmosferdeki yoğunluğunun artması, ısı dengesini bozar ve gezegenin ortalama sıcaklığının yükselmesine neden olur. Bu süreç, iklim değişikliği olarak da adlandırılan küresel ısınmayı beraberinde getirir [26-27].

Ulaşım sektörü, özellikle de içten yanmalı motorlara sahip araçlar, karbon emisyonlarının önemli bir kaynağını oluşturmaktadır. Otomobillerde benzin veya dizel gibi fosil yakıtların yanması sonucunda ortaya çıkan CO₂ gazı, bireysel ulaşımdan kaynaklanan sera gazı salımını doğrudan artırmaktadır. Bu nedenle otomobillerin karbon ayak izi, küresel iklim krizinin önemli belirleyicilerindendir.

Karbon emisyonlarının dünya üzerindeki etkileri pek çok alanda hissedilmektedir. Bunlar arasında; kutup buzullarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, tarımda verim kaybı, ekosistem dengesinin bozulması, orman yangınlarında artış ve su kaynaklarının azalması gibi ciddi çevresel ve sosyoekonomik sonuçlar yer almaktadır. Ayrıca, aşırı hava olayları (fırtına, sel, kuraklık vb.) daha sık ve şiddetli hale gelerek, insan yaşamını doğrudan tehdit eder duruma gelmektedir.

2.1.1. İklim Değişikliği

Karbon emisyonları, küresel ısınmanın temel nedenlerinden biri olarak iklim değişikliğini ciddi şekilde tetiklemektedir. Atmosfere salınan sera gazlarının yoğunluğu arttıkça, dünya genelinde ortalama sıcaklıklar yükselmekte; deniz seviyelerinde artış, kuraklık, sel ve fırtına gibi ekstrem hava olayları daha sık ve daha şiddetli şekilde görülmektedir. Bu değişimler yalnızca iklimsel koşulları değil, aynı zamanda doğal ekosistemleri, tarımsal üretimi ve biyolojik çeşitliliği de derinden etkilemektedir.

İklim değişikliğinin etkileri yalnızca çevresel düzeyle sınırlı kalmamakta; sosyal ve ekonomik alanlarda da ciddi yansımalar oluşturmaktadır. Mevcut eğilimler devam ettiği takdirde, sadece doğal çevre değil, aynı zamanda temiz hava, suya erişim, gıda temini ve barınma gibi temel yaşam hakları da tehlike altına girecektir. Atmosferdeki karbon yoğunluğunun artması, özellikle temel tarım ürünlerinin (örneğin pirinç, mısır ve buğday) üretiminde önemli düşüslere neden olabilir ve bu durum küresel gıda güvenliği açısından ciddi bir tehdit oluşturur.

Öte yandan, ormansızlaşma gibi insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle yaşam alanları daralan yaban hayatı, insan yerleşim alanlarına daha fazla yaklaşmakta ve bu durum, yeni hastalıkların ve salgınların ortaya çıkma riskini artırmaktadır. İklim değişikliği aynı zamanda mevsim döngülerinde bozulmalara yol açmakta; bazı bölgelerde aşırı sıcaklık ve kuraklık görülürken, diğer bölgelerde yoğun yağışlar ve ani fırtınalar yaşanmaktadır. Artan sıcaklık ve buharlaşma oranları, toprak kaymaları, seller ve kasırgalar gibi doğal afetlerin sıklığını da artırmaktadır. Tüm bu etkiler, yalnızca insan yaşamını değil; Dünya üzerindeki tüm canlı türlerinin varlığını ve yaşam alanlarını da tehdit etmektedir.

2.1.2. Hava Kalitesi

Karbon emisyonları, özellikle büyük şehirlerde ve yoğun nüfuslu kentsel bölgelerde hava kirliliğinin başlıca nedenlerinden biridir. Trafik yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda sadece karbon dioksit (CO₂) değil, aynı zamanda azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂) ve partikül

maddeler gibi insan sağlığına zararlı gazlar da atmosfere salınmaktadır. Bu kirleticiler, özellikle solunum yolu hastalıkları, kalp-damar rahatsızlıkları ve bağışıklık sistemini etkileyen sağlık sorunlarının artmasına neden olmaktadır. Bu doğrultuda, kent planlamasında çevresel ve sağlık odaklı yaklaşımlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Örneğin, 2021 yılında yayımlanan Yeni Londra Planı, Belediye Başkanı'nın "İyi Büyüme" vizyonu doğrultusunda, kentin önümüzdeki 20–25 yıllık gelişimine dair sürdürülebilir bir çerçeve sunmuştur. Plan kapsamında, büyük ölçekli kentsel dönüşüm ve gelişim projelerinde, ömür boyu karbon değerlendirmesi (Whole Life-Cycle Carbon – WLC) yapılması zorunlu hale getirilmiştir. Buna ek olarak, projelerin çevresel etkilerini daha iyi analiz edebilmek amacıyla Hava Kalitesi Olumlu Beyanı (Air Quality Positive Statement – AQP) hazırlanması da gerekmektedir. Bu tür uygulamalar, şehirlerin büyümesini yalnızca ekonomik ve fiziksel kalkınma olarak değil; aynı zamanda iklim dostu, sağlıklı ve yaşanabilir alanlar oluşturma perspektifiyle değerlendirme açısından önemli birer adımdır [28].

2.1.3. Enerji Kaynakları ve Güvenliği

Fosil yakıtlar, dünya genelinde en yaygın enerji kaynağıdır ve bu nedenle büyük ölçüde karbon emisyonlarına katkıda bulunur. Fosil yakıtların kısıtlı bir kaynak olması ve enerji güvenliği kaygıları, alternatif, sürdürülebilir ve düşük karbonlu enerji kaynaklarının arayışını artırmaktadır.

2.1.4. Düşük Karbon Ekonomisi

Fosil yakıt kullanımının azaltılması ve çevreyle uyumlu, sürdürülebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi yoluyla düşük karbonlu bir ekonomiye geçiş, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yapısal dönüşüm, küresel ölçekte belirlenen iklim hedeflerine ulaşmak için stratejik bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Bu bağlamda, ulaşım sektörü öncelikli alanlardan biri olarak dikkat çekmektedir. Özellikle karayolu ulaşımında araçların neden olduğu karbon salımlarını düşürmek amacıyla çeşitli alternatif sürüş teknolojileri geliştirilmektedir. Bunlar arasında elektrikli taşıtlar, hibrit motor sistemleri ve daha yüksek yakıt tasarrufu sağlayan gelişmiş içten yanmalı motorlar yer almaktadır. Bu teknolojilerin, ulaşım kaynaklı emisyonları azaltma konusunda önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

Bununla birlikte, bu dönüşüm sürecinde bireylerin taşıt tercihleri de büyük rol oynamaktadır. Karbon salımı düşük taşıma türlerine yönelme, toplu taşımanın kullanımının yaygınlaştırılması ve bisiklet ya da yaya gibi çevre dostu ulaşım seçeneklerinin tercih edilmesi, ulaşım sektöründeki

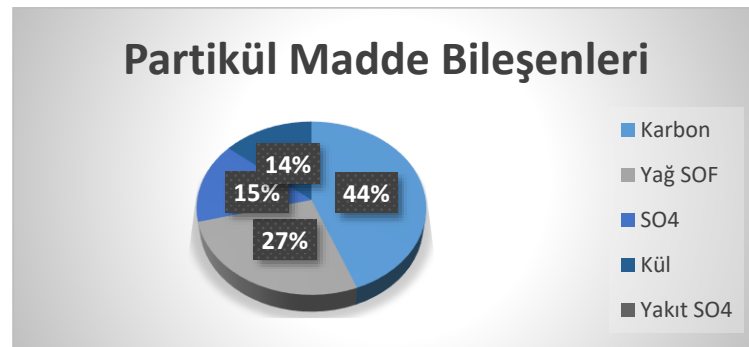
karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlayan başlıca davranış temelli yaklaşımlar arasında yer almaktadır.

2.2. Sera Gazları

Son yıllarda artan çevresel farkındalıkla birlikte hava kirliliği konusu daha da ön plana çıkmıştır. Hava kirliliğinin başlıca kaynakları arasında sanayi faaliyetlerinden salınan gazlar, konut ısıtmasından doğan emisyonlar, termik santraller ve motorlu taşıtlardan çıkan gazlar yer almaktadır. Özellikle motorlu araçların egzoz emisyonları, hava kirletici unsurların büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu araçlarda kullanılan fosil yakıtlar, ideal koşullarda oksijenle tepkimeye girerek CO₂, H₂O ve NO_x gibi bileşenleri ortaya çıkarır. Ancak, pratikte bu ideal koşullar sağlanamadığından tam yanma gerçekleşmez ve çeşitli kirletici maddeler de atmosfere karışır. Egzoz gazları, motorlu taşıt kaynaklı toplam kirleticilerin yaklaşık %75'ini oluşturur. Bu gazların içeriğinde yanmamış hidrokarbonlar (parafinler, olefinler, aromatikler), kısmen yanmış organik bileşikler (aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler), karbonmonoksit (CO), azot oksitler (NO_x), sülfür bileşikler (SC_b), kurşun türevleri ve partikül maddeler yer alır [29]. Bu zararlı emisyonlar; insan sağlığına zarar vermesinin yanı sıra çevresel kaliteyi de olumsuz yönde etkilemektedir.

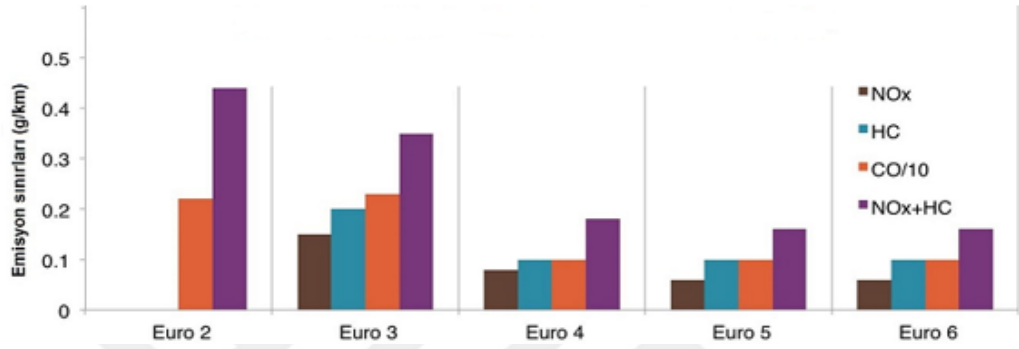
2.2.1. Partiküller

İçten yanmalı motorlarda, yanma sırasında yeterli oksijen bulunmaması durumunda, yakıt içerisindeki bazı karbon molekülleri yanma sürecine katılamadan egzoz yoluyla atmosfere salınır. Bu durum, özellikle dizel motorlarda daha sık gözlemlenen partikül emisyonlarının oluşmasına neden olur. Bu partiküller; karbon, hidrokarbon bileşikler, kükürt dioksit ve sülfürik asit gibi zararlı maddeleri içerebilir [30]. Şekil 2.1'de, dizel motorlardan çıkan partiküllerin bileşenlerine göre oranları gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Partikül Madde Bileşenleri [31]

İnsan sağılığına ve çevresel yaşam kalitesine doğrudan ya da dolaylı olarak zarar verebilen bu kirleticilerin denetimi, günümüzde kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Bu doğrultuda, özellikle gelişmiş ülkelerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlara yönelik çeşitli kısıtlamalar getirilmiş ve buna uygun olarak birçok emisyon standardı oluşturulmuştur. Şekil 2.2’de, hafif hizmet tipi araçlar için Avrupa Birliği (AB) tarafından belirlenen emisyon standartları verilmiştir.



Şekil 2.2 Avrupa Birliği Emisyon Standartları [32]

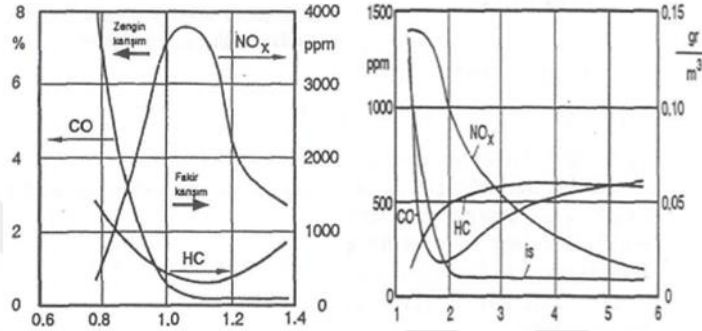
2.2.2. Karbonmonoksit

Karbon monoksit (CO) emisyonu, içten yanmalı motorlarda silindir içindeki yanma işlemi sırasında, yakıtın yeterli miktarda oksijenle tam tepkimeye girememesi sonucu meydana gelir. Bu durum, özellikle yakıtın hava oranına göre fazla olduğu, yani zengin karışım kullanılan motorlarda daha sık görülmektedir. Ancak fakir karışımla çalışan motorlarda dahi CO salımı tamamen ortadan kalkmamaktadır. Bunun başlıca nedenleri arasında; yakıt-hava karışımının homojen olmaması, silindirdeki sıcaklık dağılımının eşit olmaması ve oluşan karbonun egzoz gazı olarak dışarı atılmadan önce oksijenle yeterli sürede reaksiyona giremeyerek CO₂'ye dönüşmemesi yer almaktadır.

Karbon monoksit, renksiz, kokusuz ve oldukça toksik bir gazdır. Kanda oksijen taşıyan hemoglobin molekülüne yüksek derecede bağlanma eğilimindedir. Bu bağlanma, hemoglobinin oksijen taşıma işlevini engelleyerek, dokulara yeterli oksijen ulaşmasını zorlaştırır. Bu nedenle vücutta oksijen yetersizliği gelişebilir ve bu durum ciddi sağılık problemlerine, hatta ölüme neden olabilir. Örneğin, 100 ppm düzeyinde karbon monoksite uzun süre maruz kalmak hafif baş ağrısı yapabilirken; 500 ppm seviyelerinde baş dönmesi, yoğun baş ağrısı ve bayılma görülebilir. 2000 ppm ve üzerindeki oranlarda ise solunumun yavaşlaması, bilinç kaybı ve ölüm riski oldukça fazladır.

2.2.3. Azot Oksitler

NO, NO₂ ve N₂O₂ gibi bileşikler genel olarak azot oksitler (NO_x) adı altında sınıflandırılmaktadır. NO_x emisyonlarının miktarı, motorun çalıştığı hava fazlalık katsayısına (HFK) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle araç sabit bir hızda (örneğin 90 km/s) seyredirken ve HFK değeri 1'in üzerinde olduğunda, NO_x salımı artış göstermektedir [33]. Şekil 2.3' te Benzinli ve dizel motorlarda hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Benzinli ve dizel motorlarda hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi [34]

2.2.4. Kükürtlü Bileşenler

Yanma süreci sonucunda ortaya çıkan kükürtlü bileşikler, genellikle renksiz ancak kendine has bir kokuya sahip gazlardır. Bu bileşikler, motorun egzozundan atmosfere salındıktan sonra havadaki oksijenle etkileşime girerek oksidasyon sürecine uğrar. Bu süreçte en yaygın olarak kükürt dioksit (SO₂) ve kükürt trioksit (SO₃) gazları oluşur. Özellikle SO₂ ve sülfürik asit (H₂SO₄) kaynaklı sülfat bileşikler, solunum yollarını ve mukoza dokularını tahriş edici etki gösterir. Bu durum, astım ve bronşit gibi kronik solunum hastalıklarının ortaya çıkmasında önemli bir rol oynar. Ayrıca SO₂'nin havadaki partiküllerle reaksiyona girerek oluşturduğu bileşikler, solunum sisteminde daha ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir [35].

2.2.5. Hidrokarbonlar

Hidrokarbon emisyonları, motorlu taşıtlarda iki temel yolla atmosfere salınmaktadır: Bunlardan ilki, karter havalandırması yoluyla gerçekleşen buharlaşma emisyonlarıdır. İkinci yol ise egzoz emisyonlarıdır; burada hidrokarbonlar, hatalı hava-yakıt oranı, düşük kompresyon, supap bindirmesi ve silindir içindeki sıcaklık dağılımının homojen olmaması gibi nedenlerle ya kısmen yanmakta ya da yanma sürecine hiç dâhil olmadan doğrudan atmosfere karışmaktadır.

Atmosfere salınan bu hidrokarbon bileşenleri, süspansiyon hâlinde azot oksitlerle (NO_x) reaksiyona girerek “fotokimyasal smog” olarak adlandırılan zararlı bir sis tabakası oluşturmaktadır. Bu

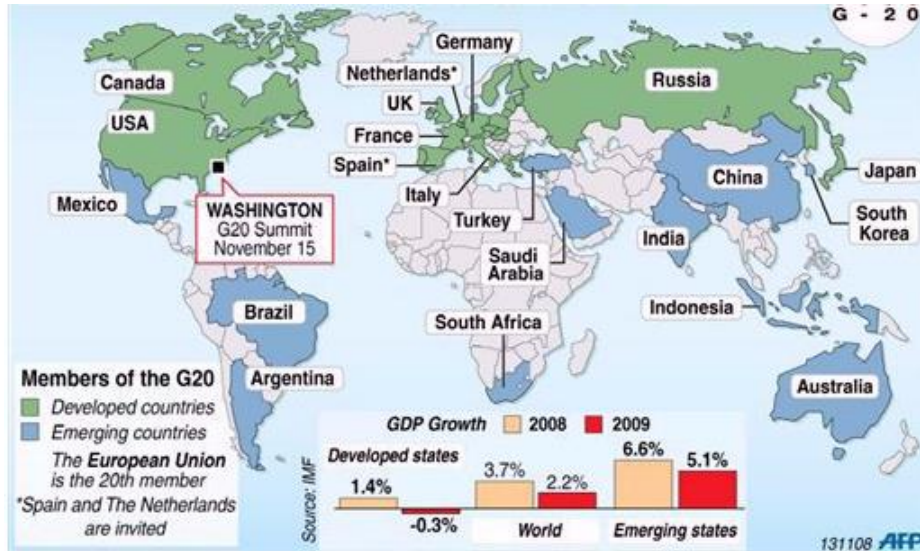
oluşum, başta solunum sistemi olmak üzere tüm canlılar üzerinde ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir [36].

2.3. Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi, faaliyetlerin çevresel etkisini, üretilen sera gazı miktarı üzerinden, karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) cinsinden ifade eden bir ölçüttür. Bu kavram iki temel bileşenden oluşmaktadır: doğrudan (birincil) ve dolaylı (ikincil) karbon ayak izi. Birincil karbon ayak izi; bireylerin veya kurumların evsel enerji kullanımı ve ulaşım gibi faaliyetleri sonucunda fosil yakıtların doğrudan yakılmasıyla ortaya çıkan CO₂ emisyonlarını kapsar. Öte yandan ikincil karbon ayak izi, satın alınan ürünlerin üretim, taşıma, kullanım ve bertaraf süreçlerinde ortaya çıkan dolaylı emisyonları içerir. Bu nedenle, ikincil ayak izi birincil ayak izini de içine alarak daha geniş bir çevresel etki alanını temsil eder [37].

2.3.1. Türkiye’de ve Dünyada Karbon Ayak İzi Değişimi

G20, dünya ekonomisinde en büyük paya sahip ülkeleri bir araya getiren bir platformdur ve Avrupa Birliği Komisyonu ile birlikte toplam 19 ülkeden oluşmaktadır. Bu ülkeler, küresel gayrisafi yurt içi hasılanın yaklaşık %85’ini ve dünya ticaret hacminin yaklaşık %80’ini temsil etmektedir. Şekil 2.4’te, G20 ülkelerinin listesi ve coğrafi dağılımı sunulmaktadır [38].



Şekil 2.4 G20 Ülkeleri [38]

G20 ülkelerinin karbon ayak izini azaltma yönündeki taahhütleri, her ülkenin mevcut sera gazı emisyon seviyesi ve ekonomik yapısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu çerçevede, Avrupa Birliği (AB) üyesi devletler, 2008–2012 yıllarını kapsayan süreçte toplam karbon

salımlarını %8 oranında düşürmeyi hedeflemiştir. Ancak bu genel hedefe ulaşılabilmesi için, üye ülkeler arasında ulusal koşullara göre değişen azaltım yükümlülükleri belirlenmiştir.

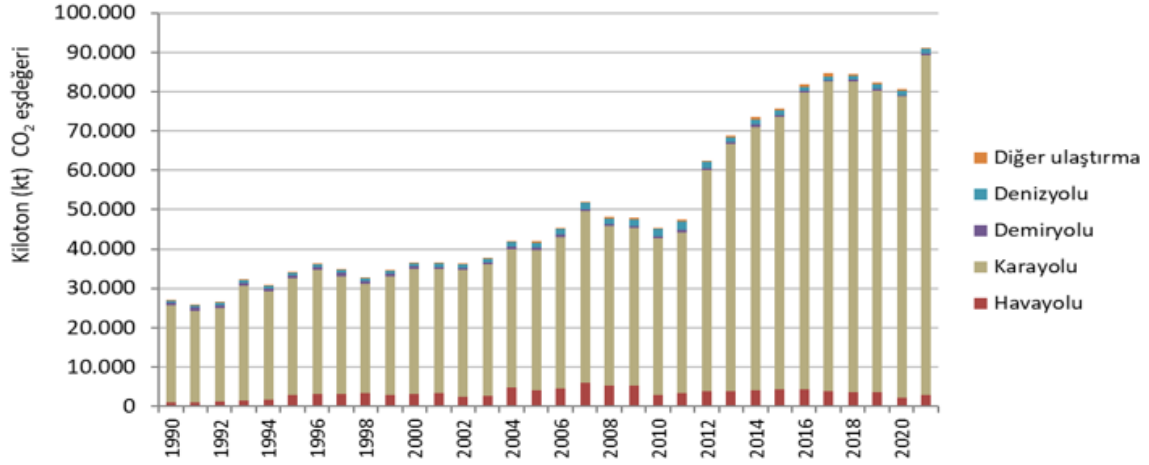
Örnek vermek gerekirse, yüksek düzeyde emisyon yapan Almanya'nın karbon salımını %21 oranında azaltması öngörülürken; emisyon seviyesi görece daha düşük olan Portekiz'e, karbon salımını %27 oranında artırma izni verilmiştir. Bu uygulama, Kyoto Protokolü kapsamında kabul edilen "esneklik mekanizmalarının" bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Söz konusu mekanizma; ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeyleri ve tarihsel sorumlulukları dikkate alınarak, küresel iklim hedeflerine ulaşılmasını kolaylaştırmayı amaçlamaktadır [39].

2.3.2. Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak izinin İncelenmesi

Ulaşım sektörü, ekonomik kalkınmanın temel bileşenlerinden biri olarak hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde ön plana çıkmakta; artan mobilite ihtiyacını karşılamak üzere hızlı bir büyüme göstermektedir. Bu hızlı genişleme, enerji tüketiminde kayda değer bir artışı beraberinde getirmiş ve karbon ayak izinin yükselmesine neden olarak çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi bir sorun haline gelmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayımlanan verilere göre, ulaşım sektörü, elektrik ve ısı üretiminin ardından en fazla karbon salımı yapan ikinci alan konumundadır ve bu salımların %70'inden fazlası karayolu ulaşımından kaynaklanmaktadır [40].

Karbon emisyonlarının azaltılması konusunda önemli başarılar elde eden ülkeler arasında Almanya, İngiltere, Ukrayna ve Romanya yer alırken, Türkiye'de fosil yakıt kullanımına bağlı CO₂ emisyonları yaklaşık iki katına çıkmıştır. Bu durum, Türkiye'nin Kyoto Protokolü çerçevesinde belirlenen hedeflerle uyumsuz bir tablo sergilediğini göstermektedir [41].

1990–2020 yılları arasındaki dönemde, Türkiye'de ulaşım dayalı karbon ayak izi sürekli bir artış eğilimi göstermiştir. Bu dönemde yıllık ortalama artış oranı yaklaşık %7,5 seviyesinde gerçekleşmiştir. Türkiye'nin ulaşımdan kaynaklanan emisyon değerleri Şekil 2.5'te yıllara göre sunulmuştur.



Şekil 2.5 1990- 2020 yılları arasında ulaşıma bağlı emisyon değerleri [42]

2015 yılı itibarıyla, Türkiye'deki ulaşım sektörü toplamda 75,8 milyon ton CO₂ eşdeğeri karbon ayak izi üretmiştir. Ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarının toplam içindeki payı, 1990 yılında %20,9 seviyesindeyken, 2015 yılında %22,6'ya yükselmiştir. 1990–2015 yılları arasındaki dönemde, ulaşımın emisyonlarının büyük çoğunluğu karayolu taşımacılığı kaynaklı olmuştur. 1990 yılında bu oran %92 iken, 2004 yılında %83'e kadar gerilemiştir.

1997 yılına kadar karayolu taşımacılığında yalnızca benzin ve dizel yakıtlar kullanılmaktaydı. Ancak bu yıldan itibaren LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) kullanımına geçilmiş ve zamanla LPG tüketiminde belirgin bir artış yaşanmıştır. Buna karşılık, benzin tüketimi düşerken; dizel ve LPG tüketimi yükselme eğilimi göstermiştir. 2007–2010 küresel ekonomik krizi sırasında dizel tüketiminde geçici bir azalma görülmüş, fakat kriz sonrası dönemde bu tüketim yeniden artmış ve bu durum doğrudan emisyonlara yansımıştır. Örneğin, dizel kaynaklı sera gazı salımı 2011 yılında 27.035 kt CO₂ eşdeğeri seviyesindeyken, 2015 yılına gelindiğinde 53.169 kt CO₂ eşdeğerine ulaşarak %97'lik bir artış göstermiştir [42].

2.3.3. Toplu Taşıma Taşıtları ve Karbon Emisyon İlişkisi

Küresel ısınmanın yol açtığı iklim değişiklikleri, dünya genelinde geniş çapta etkiler yaratmaktadır. Böyle bir tehdit karşısında, ülkelerin duyarsız kalması mümkün değildir. Fosil yakıt kullanımını azaltarak ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımını yaygınlaştırarak hava kirliliği azaltılabilir; bu sayede iklim değişikliğinin insanlar üzerindeki olumsuz etkileri de hafifletilebilir [43].

Toplu taşıma araçları, küresel ölçekte artan CO₂ emisyonlarının ve buna bağlı hava kirliliğinin önemli kaynakları arasında yer almaktadır. Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, karbon dioksit emisyonlarının sektörlere göre dağılımı şu şekildedir: enerji sektörü %41 ile en büyük paya sahipken, sanayi %31, ulaşım %17 ve konutlar %11 oranında emisyon üretmektedir. Fosil yakıt

tüketiminin artmasıyla birlikte oluşan sera gazları, küresel ısınma ve iklim dengesi açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır [44].

Karbondioksit, diğer sera gazlarıyla karşılaştırıldığında iklim değişikliği üzerindeki etkisi açısından %50'lik bir payla en baskın bileşen konumundadır. Bu durum, CO₂ emisyonlarının azaltılmasının iklim politikaları açısından ne denli kritik olduğunu ortaya koymaktadır [45].

2.4. Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri

Fosil yakıt kullanımının azaltılması, yenilenebilir enerjiye yönelme, enerji verimliliği uygulamaları ile kaynakların geri dönüştürülmesi gibi adımlar sayesinde karbon ayak izi ciddi oranda düşürülebilmektedir. Son yıllarda birçok ülkenin karbon salımına yönelik vergi uygulamaları hazırlığında olması, bu alandaki farkındalığın ve önemin giderek arttığını göstermektedir.

Paris Anlaşması kapsamında, ülkeler küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutmayı hedefleyen Ulusal Katkı Beyanları (NDC) sunmuşlardır. Bu beyanlarda, her ülke belirli bir tarih belirleyerek sera gazı salımlarını sıfıra indirme (Net Sıfır Karbon) taahhüdünde bulunmuştur. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi için hem ulusal hem de küresel düzeyde kapsamlı emisyon azaltım planları oluşturulmakta ve uygulanmaktadır.

Karbon ayak izini azaltmak sadece devletlerin sorumluluğunda değildir. Sivil toplum kuruluşları, özel sektör temsilcileri, yerel yönetimler ve bireyler de bu süreçte aktif rol almalıdır. Çünkü bu konu, çok paydaşlı ve bütüncül bir çaba gerektirmektedir. Tek yönlü politikalarla bu sorunun üstesinden gelinmesi mümkün değildir.

1950 yılından itibaren dünyada küresel ısınma etkileri belirgin bir şekilde hissedilmeye başlanmıştır. Bilimsel modelleme sonuçları, son 800.000 yıl içinde atmosferdeki karbon dioksit seviyelerinin hiçbir dönemde günümüzdeki kadar yüksek olmadığını ortaya koymaktadır. Doğal yutak sistemleri – okyanuslar, ormanlar, toprak ve bitkisel örtüler – karbonu emerek ve depolayarak dengeleyici bir rol üstlenmektedir. Ancak mevcut durumda, bu yutaklar salınan karbon miktarını dengelemek için yetersiz kalmaktadır.

Özellikle 1950'li yıllardan sonra sera gazı salımı hızla artmış ve bu durum, iklim sisteminin doğal işleyişini bozmaya başlamıştır. Günümüzde salınan karbonun yaklaşık %44'ü hâlen atmosferde birikmiş durumdadır. Bu durum, sera etkisinin daha güçlü hissedilmesine neden olmaktadır. Güneş ışınları uzaya geri yansımak yerine yeryüzüne geri dönmekte; bu da sıcaklık artışına, deniz seviyelerinin yükselmesine, iklim dengesizliklerine ve ekosistemlerde tahribata yol açmaktadır. Bu tür çevresel sorunların önlenmesi için karbon ayak izinin azaltılması son derece kritik bir

adımdır. Aksi takdirde, küresel ısınmanın etkileri daha da şiddetlenecek; aşırı iklim olayları, biyolojik çeşitlilikte azalma, gıda ve su güvenliği gibi temel alanlar tehdit altında kalacaktır [46].

2.4.1. Karbon Emisyon Oluşumunun Engellenmesi

Karbon ayak izini azaltma yöntemleri arasında en yaygın ve öncelikli tercih edilen yöntem, karbon emisyonlarının oluşmadan önce engellenmesi yoluyla azaltımdır. Bu yaklaşım, çevresel etkileri kaynağında kontrol altına almayı hedeflediği için oldukça etkili ve sürdürülebilir bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Ancak, özellikle işletmeler açısından emisyonların tamamen önlenemediği durumlar da bulunmaktadır. Bu tür durumlar genellikle üretim süreçlerinin doğasından veya operasyonel zorunluluklardan kaynaklanmaktadır. Örneğin:

- Hammadde temini sırasında ortaya çıkan emisyonlar,
- Tedarik zincirinde ve lojistik süreçlerde gerçekleşen ulaşım kaynaklı karbon salımları,
- Arazi ve toprak kullanımı gibi faaliyetlerin yol açtığı dolaylı emisyonlar,

Çoğu zaman işletmeler tarafından doğrudan kontrol edilemeyen ancak karbon ayak izine katkıda bulunan temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Bu nedenle, işletmeler için yalnızca doğrudan emisyonları değil, aynı zamanda dolaylı emisyon kaynaklarını da dikkate alan bütüncül bir karbon yönetimi stratejisi geliştirmek büyük önem taşımaktadır.

2.4.2. Karbon Uzaklaştırma

Karbon uzaklaştırma, atmosferde serbest halde bulunan karbondioksitin doğrudan havadan yakalanarak depolanması ya da farklı formlara dönüştürülmesi yoluyla atmosferden uzaklaştırılması sürecini ifade eder. Bu yöntem, iklim değişikliğiyle mücadelede ve çevresel risklerin azaltılmasında stratejik bir öneme sahiptir. Küresel ölçekte karbondioksit seviyelerinin hızla yükselmesi, iklim sistemleri üzerindeki baskıyı artırmakta ve çevresel kaygıları derinleştirmektedir. Bu bağlamda, karbon uzaklaştırma teknolojileri, geleceğe dönük etkili ve umut vadeden çözümler arasında değerlendirilmektedir [46].

2.4.3. Karbon Yakalama

Karbon yakalama, atmosferde serbest dolaşan ya da sanayi bacalarından salınan karbondioksitin çeşitli doğal ya da teknolojik yöntemlerle yakalanarak depolanması veya dönüştürülmesi sürecidir. Bu teknoloji, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi çevresel sorunlara karşı geliştirilen çözüm yollarından biridir.

Süreç genellikle CO₂'nin tutulduğu emilim aşamasıyla başlar. Bu adımda, salınan gazlar içerisinde bulunan karbondioksit, özel olarak seçilmiş sıvı veya katı emici maddelerle ayrıştırılır. Bu maddeler, yalnızca karbondioksiti çekme özelliğine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Daha sonra, ayrıştırma adımı karbondioksit, bu emici maddelerden ayrılarak saf hâlde elde edilir. Bu işlem genellikle ısıtma veya basınç uygulaması gibi fiziksel yöntemlerle gerçekleştirilir.

Elde edilen saf CO₂, taşıma aşamasında depolama ya da yeniden kullanım alanlarına aktarılır. Bu taşıma süreci; boru hatları, tankerler veya diğer uygun yöntemlerle gerçekleştirilir. Nakliye sırasında karbondioksit genellikle sıvı hâlde veya yoğunlaştırılmış biçimde bulunur [47].

2.4.4. Karbon Dengeleme

Karbon dengeleme, bireylerin ve kurumların neden oldukları karbon emisyonlarını çeşitli yöntemlerle telafi etmelerini sağlayarak, çevresel sorumluluk bilinciyle hareket etmelerine olanak tanır. Bu yaklaşım, sürdürülebilirlik odaklı kimlik oluşturma çabalarına katkı sağlayarak, yeşil imajın güçlendirilmesine destek olur. Günümüzde tüketicilerin çevresel etkiler konusunda artan farkındalığı, benzer değerleri benimseyen işletmelere olan ilgiyi de artırmaktadır. Çevreye duyarlı bir duruş sergilemek, aynı zamanda sürdürülebilirlik odaklı yatırımlar arayan yatırımcıların da dikkatini çekebilmektedir.

Karbon dengeleme uygulamalarına yapılan yatırımlar, çevresel projelerin finansmanını desteklemek açısından da önemli bir rol oynamaktadır. Genellikle gelişmekte olan ülkelerde yürütülen bu projeler, sadece sera gazı emisyonlarını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda sosyal ve ekonomik yönden sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmektedir [48].

2.5. Uluslararası Kuruluşların Küresel Çevre Politikası Yönetimindeki Roller

Küresel çevre politikalarının yönlendirilmesi amacıyla bir araya gelen uluslararası çevre kuruluşları, ortak bir vizyon etrafında faaliyetlerini sürdürmektedir. Bu kuruluşlardan biri olan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), dünya genelinde çevresel sürdürülebilirliği desteklemeyi, çevre sorunlarını azaltmayı ve ülkeler arasında iş birliğini güçlendirmeyi hedeflemektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), çevresel faktörlerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini inceleyerek çevre kaynaklı sağlık tehditlerine karşı küresel düzeyde önlemler almaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ise enerji alanında sürdürülebilir politikalara destek vererek, temiz enerji kullanımının yaygınlaştırılması adına çeşitli girişimlerde bulunmaktadır. Dünya Ticaret Örgütü (WTO), çevresel standartların uluslararası ticaret politikalarına entegre edilmesini savunarak ticaretin çevre

üzerindeki etkilerini azaltmaya katkı sağlamaktadır. Avrupa Çevre Ajansı (EEA) ise Avrupa'daki çevresel durumu analiz ederek topladığı verileri paylaşmakta ve bu veriler doğrultusunda çevre politikalarının şekillenmesine destek vermektedir [49].

Bu kurumlar, küresel çevre sorunlarının çözümünde önemli roller üstlenmektedir. İklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, hava ve su kirliliği gibi başlıca çevresel tehditler, bu kuruluşların öncelikli ilgi alanları arasındadır.

İklim değişikliğiyle mücadelede; karbon salımının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve yeşil teknolojilere yatırım yapılması gibi politikalar uygulanmaktadır. Bu yaklaşımlar hem çevresel zararın azaltılmasını hem de enerji sistemlerinin dönüşümünü amaçlamaktadır. Biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik olarak; ekosistemlerin korunması, doğal habitatların sürdürülebilir şekilde kullanılması ve insan faaliyetleri, özellikle avcılık gibi eylemlerin düzenlenmesi yoluyla türlerin korunması hedeflenmektedir. Hava ve su kirliliğine karşı verilen mücadelede ise sanayi kaynaklı emisyonların sınırlandırılması, atık yönetimi sistemlerinin iyileştirilmesi ve temiz enerji geçiş süreçlerinin hızlandırılması ön plana çıkmaktadır. Bu çabalar, küresel ölçekte sürdürülebilir bir geleceğin ancak güçlü uluslararası iş birlikleriyle mümkün olabileceğini göstermektedir [49].

2.5.1. Avrupa Birliği (AB)

Avrupa kıtasındaki birçok ülkenin ekonomik, siyasi ve sosyal entegrasyonunu amaçlayan bir uluslararası birlik olarak kurulmuştur. Temel amacı, üye ülkeler arasında barışı sağlamak, ekonomik refahı artırmak ve ortak bir gelecek inşa etmektir. Bu hedeflere ulaşmak amacıyla AB, üye ülkeler arasında gümrük birliği, ortak pazar ve birçok politika alanında iş birliği yürütmektedir. AB'nin çevre politikaları, birlik içinde ve dünya genelinde sürdürülebilir kalkınma ile çevresel koruma hedeflerini desteklemeyi amaçlamaktadır. Bu politikalar, çeşitli alanlarda çevresel sorunların ele alınmasını içermekte ve önemli çevresel standartların belirlenmesine odaklanmaktadır. Avrupa Topluluğu Antlaşması'nın 174. maddesinin (2) numaralı fıkrasında, Avrupa Birliği çevre politikasının, bölgesel farklılıkları gözetenek yüksek düzeyde bir çevre koruması sağlamayı amaçladığı belirtilmiştir. Burada geçen "yüksek koruma düzeyi" kavramı, bağlama ve gereksinimlere göre değişebilen göreceli bir anlayışı temsil etmektedir. Ancak bu hedefe ulaşmak için çevre politikasının bazı temel ilkelere dayanması ve bu ilkelerin etkin biçimde uygulanması gerekmektedir.

Avrupa Birliği çevre politikasının temelini üç ana ilke oluşturmaktadır. İlk olarak, Birinci Çevre Faaliyet Programı'nda yer alan önleme ilkesi, çevre kirliliğinin ortaya çıkmadan önce engellenmesine öncelik verilmesini öngörür. Örneğın, atıkların bertaraf yöntemlerine odaklanmak yerine, atık oluşumunu baştan engelleyecek stratejiler ön plana çıkarılmalıdır. Maastricht Antlaşması'yla birlikte bu ilkeye, "ihtiyat ilkesi" boyutu da eklenmiştir. Bu ilkeye göre, çevresel bir tehdidin kesinliğı düşük olsa bile ve bilimsel nedensellik tam olarak ispatlanmamış olsa dahi, önleyici tedbirler alınmalıdır. Ancak, her iki ilkenin uygulamasında, çevresel çıkarlar ile bireysel özgürlükler veya ekonomik faydalar arasında çatışmalar yaşanabilmektedir. İkinci temel ilke ise çevre kirliliğıyle kaynağında mücadeleyi esas alır. Bu yaklaşım, özellikle Üçüncü Faaliyet Programı'nda açık bir şekilde vurgulanmıştır. Bu ilke, kirliliğın önlenmesinden çok, oluştuğı anda müdahale edilerek etkilerinin azaltılmasını hedefler. Örneğın, bacaların yükseltilerek kirleticilerin daha geniş alanlara yayılmasına neden olunması, bu ilkenin doğasına aykırıdır. Çevre politikasının üçüncü ve son temel ilkesi ise "kirleten öder" prensibidir. Kaldırılması tarihli Konsey Tavsiyesinde ayrıntılı olarak açıklanan bu ilkeye göre, çevreye doğrudan ya da dolaylı şekilde zarar veren – gerçek ya da tüzel kişi fark etmeksizin – söz konusu kirlenmenin ortadan kaldırılması veya kabul edilebilir seviyelere düşürülmesi için gerekli önlemleri almakla yükümlüdür. Bu yaklaşım, doğrudan cezaî bir yaptırım değıl, çevresel zararların giderilmesi için gerekli maliyetlerin, zararın faili tarafından karşılanması öngörmektedir. Böylece, çevreyi kirleterek ekonomik kazanç elde eden kişi ya da kuruluşların, aynı zamanda bu zararın mali yükünü de üstlenmeleri gerektiğı yönündeki kolektif anlayış yansıtılmaktadır [50].

1973 yılında kurulan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), dünya genelinde çevresel politikaların geliştirilmesi ve uygulanmasında öncü bir konumda yer almaktadır. UNEP'in temel amacı, Birleşmiş Milletler sistemi içerisindeki farklı kurumlarla iş birliğı yaparak, çevre konusunda küresel ölçekte ortak bir hareket zemini oluşturmaktır. Bu doğrultuda, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Dünya Ticaret Örgütü (WTO) ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) gibi uluslararası kuruluşlar da çevresel politikaların şekillendirilmesinde etkin rol oynamaktadır.

Küresel çevre sorunlarının giderek derinleşmesiyle birlikte, UNEP'in faaliyet alanı önemli ölçüde genişlemiş ve son otuz yıl içerisinde 200'ü aşkın çok taraflı çevre anlaşmasının hayata geçirilmesinde aktif katkı sağlamıştır. Bu anlaşmalar arasında, Kyoto Protokolü ve Montreal Protokolü gibi çevre ve iklim politikaları açısından büyük önem taşıyan uluslararası düzenlemeler de bulunmaktadır. UNEP, iklim değışikliğı, çevre kirliliğı ve küresel ısınma gibi çevresel tehditlerle mücadelede uluslararası iş birliğini teşvik ederek, sürdürülebilir çevre politikalarının oluşturulmasında merkezi bir aktör olarak öne çıkmaktadır [51].

2.5.2. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)

1992 yılında Rio'da düzenlenen Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda, üç önemli sözleşme imzalanmıştır. Bu sözleşmelerden biri olan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), diğer ikisi ise Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi ve Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi'dir. BMİDÇS, sera gazlarını ve Montreal Protokolü kapsamı dışındaki emisyonları içermektedir. 1992 yılında 195 ülke tarafından kabul edilen bu sözleşmenin amacı, 2000 yılına gelindiğinde karbon dioksit ve diğer sera gazı emisyon miktarlarını 1990 yılı seviyelerine çekmeyi hedeflemiştir [52].

Türkiye, 1992 yılında BMİDÇS kabul edildiğinde, gelişmiş ülkelerle birlikte Sözleşme'nin EK-I ve EK-II listelerine dahil edilmiştir. Ancak 2001'de Marakeş'te düzenlenen 7. Taraflar Konferansı'nda (COP7) alınan bir kararla Türkiye'nin özel konumu tanınmış, adı EK-II listesinden çıkarılmış, ancak EK-I listesinde kalmıştır. Türkiye, 2004 yılında 189. Taraf olarak BMİDÇS'ye katılmış ve bu çerçevede iklim değişikliği politikalarını geliştirme, uygulama ve mevcut sera gazı emisyonlarıyla ilgili verileri BMİDÇS'ye bildirme yükümlülüğüne sahip olmuştur [53].

2.5.3. Montreal Politikası

1985'te ozon tabakasını incelten maddelerin azaltılmasına yönelik olarak Viyana Sözleşmesi kabul edilmesinin ardından, 1987 yılında bu maddelerin üretimi ve kullanımının kontrol altına alınmasını amaçlayan Montreal Protokolü kabul edilmiş ve 1989 yılında yürürlüğe girmiştir. Protokole bugüne kadar 196 ülke taraf olmuş, Türkiye ise 19 Aralık 1991 tarihinde taraf olmuştur. Bu süreçte, 12 Kasım 2008 tarihli Resmî Gazete 'de yayımlanan Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik ile protokol kapsamındaki tüm değişiklikler kabul edilmiştir. Montreal Protokolü ile Viyana Sözleşmesi, ozon tabakasının korunmasında önemli bir rol üstlenmiş ve uluslararası iş birliğinin etkisini açıkça ortaya koymuştur [54].

2.5.4. Kyoto protokolü

Kyoto Protokolü, küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle mücadele amacıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında kabul edilen bir uluslararası anlaşmadır. Protokol, 1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nda onaylanmış ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Kyoto Protokolü'nün ana amacı, atmosfere salınan sera gazlarının kontrol altına alınması ve bu gazların seviyelerinin azaltılmasıdır. Protokol, özellikle endüstriyel faaliyetler ve enerji üretimi gibi insan kaynaklı aktivitelerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını sınırlamayı hedeflemektedir [55].

2.5.5. Paris Anlaşması

G20 sonrasında şekillenen iklim rejiminin temelini oluşturan Paris Anlaşması, 2015 yılında Paris’te gerçekleştirilen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı’nda (COP21) kabul edilmiştir. Bu konferansla birlikte, 2020 sonrasında kapsayacak şekilde tüm ülkeler ilk kez küresel çapta sera gazı salımlarını azaltma taahhüdü vermiştir. Anlaşma, 5 Ekim 2016 itibarıyla, küresel emisyonların %55’ini temsil eden en az 55 ülkenin onayıyla 4 Kasım 2016’da yürürlüğe girmiştir. Böylece, Paris Anlaşması, onay süreci bu denli kısa sürede tamamlanan ilk uluslararası anlaşma olma niteliğini kazanmıştır. Anlaşmanın temel amacı, insan kaynaklı sera gazı salımlarının neden olduğu küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi döneme kıyasla 2°C’nin altında tutmak ve mümkünse 1,5°C sınırına yaklaşılmışının önemine dikkat çekmektir. Ayrıca, anlaşma “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler” ilkesi doğrultusunda, tüm ülkelerin kendi kapasitelerine göre iklim mücadelesine katkı sunmalarını öngörmektedir.

Paris Anlaşması’nı BMİDÇS’den ayıran en temel fark, tüm ülkelerin katkı beyanına dayalı bir mekanizma öngörmesidir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler ayrımı bulunsa da somut bir sınıflandırma yapılmamış ve bu iki grup için bağlayıcı ayrımcı kurallar belirlenmemiştir. Tüm taraflar, belirli ölçüde sorumluluk alarak kendi katkılarını sunmakla yükümlüdür.

Anlaşma; emisyonların azaltılması, uyum politikaları, kayıp ve zarar mekanizmaları, finansal destek, teknoloji transferi, kapasite inşası, izleme-değerlendirme ve şeffaflık gibi birçok konuda genel çerçeve kurallarını ortaya koymaktadır. Emisyonların azaltılmasına yönelik olarak; gelişmiş ülkelerden mutlak azaltım hedeflerini sürdürmeleri, gelişmekte olan ülkelere ise zaman içerisinde daha geniş kapsamlı hedefler belirlemeleri beklenmektedir. Bu sürecin temel aracını, her ülkenin sunduğu Ulusal Katkı Beyanları (NDC’ler) oluşturmaktadır.

Türkiye, 20 Eylül 2015’te 2030 yılına kadar emisyon artışını %21 oranında azaltmayı hedeflediğini “Niyet Edilen Ulusal Katkı” (INDC) olarak duyurmuştur. Bu hedefle birlikte Türkiye, 22 Nisan 2016’da New York’ta düzenlenen üst düzey imza töreninde Paris Anlaşması’nı imzalayan 175 ülke arasında yer almıştır. İmza aşamasında Türkiye’nin anlaşmaya “gelişmekte olan ülke” statüsüyle dâhil olduğu vurgulanmıştır. Paris Anlaşması, Türkiye tarafından 7 Ekim 2021 tarihli Cumhurbaşkanlığı Kararı ile resmî olarak onaylanmış; 11 Ekim 2021’de onay belgesi ve Türkiye’nin ulusal beyanı Birleşmiş Milletler Sekreteryası’na sunulmuş iç hukuki süreç tamamlanmıştır. Ayrıca Türkiye, 2053 yılı için net sıfır karbon hedefini de açıklamıştır.

Anlaşmanın uygulama detaylarını belirleyen Paris Anlaşması Çalışma Programı, 31 Ekim–13 Kasım 2021 tarihlerinde Birleşik Krallık’ın Glasgow kentinde yapılan COP26 toplantısında

tamamlanmıştır. Bu sayede 2020 sonrası küresel iklim rejimi fiilen işlerlik kazanmıştır. Ardından COP27, 6–18 Kasım 2022’de Mısır’ın Şarm El-Şeyh kentinde gerçekleştirilmiştir. Bu zirvede; kayıp ve zarar mekanizması, uyum finansmanı gibi kritik başlıklarda önemli kararlar alınmıştır.

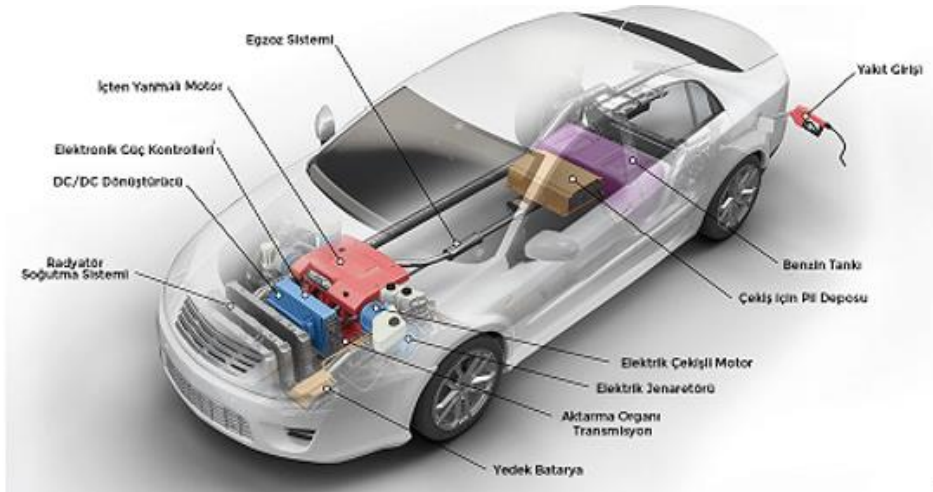
COP27 çerçevesinde 15–16 Kasım’da düzenlenen Bakanlar Oturumu’nda, Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanı Murat Kurum, ülkemizin 2030 yılına yönelik emisyon artışını azaltma hedefini %21’den %41’e çıkardığını açıklamıştır. Bu yeni hedef doğrultusunda yaklaşık 500 milyon tonluk karbon emisyonunun önüne geçilmesi planlanmaktadır. Son olarak, COP28 toplantısı 30 Kasım–13 Aralık 2023 tarihleri arasında Birleşik Arap Emirlikleri’nde düzenlenmiştir. Bu zirvede, ilk Küresel Durum Değerlendirmesi (Global Stocktake) gerçekleştirilmiş ve sonuçları uluslararası kamuoyunda olumlu karşılanmıştır. Ayrıca fosil yakıtların aşamalı olarak terk edilmesini hedefleyen önemli bir anlaşmaya varılmış; COP27’de gündeme gelen Kayıp ve Zarar Fonu resmen devreye alınmıştır. Konferans kapsamında iklim uyumuna yönelik küresel hedeflerin belirlenmesiyle de kayda değer bir adım atılmıştır [56].

3. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlar yerine elektrik motoru ile çalışan ve enerjilerini şarj edilebilen bataryalardan alan çevreci ulaşım teknolojileridir. Fosil yakıt tüketmedikleri için egzozdan karbondioksit salımı yapmazlar. Bu özellikleriyle, ulaşım sektörünün küresel sera gazı emisyonlarındaki yüksek payı göz önünde bulundurulduğunda, elektrikli araçlar karbon salımını azaltmaya yönelik politikalarda kilit bir konuma sahiptir. Ancak bu araçların çevresel etkileri, büyük ölçüde elektriğin nasıl üretildiğine bağlıdır. Eğer elektrik üretimi yenilenebilir kaynaklara dayanıyorsa, elektrikli araçların yaşam döngüsü boyunca bıraktığı karbon ayak izi oldukça azalmaktadır. Bu nedenle elektrikli araçlar yalnızca alternatif bir ulaşım yöntemi değil, aynı zamanda düşük karbon ekonomisine geçişte önemli bir yapı taşı olarak değerlendirilmektedir.

3.1. Elektrikli Araç Yapısı

Elektrikli araçlar, genel olarak elektrik motoruyla çalışan ve kara yolu ulaşımını sağlayan taşıtlar olarak tanımlanır. Bu sistemlerde bataryalarda depolanan elektrik enerjisi, bir elektrik motoru yardımıyla mekanik enerjiye dönüştürülür. Üretilen mekanik enerji, hareket aktarma organları aracılığıyla tekerleklerle iletilerek aracın ilerlemesi sağlanır. Elektrikli araçların başlıca bileşenleri; enerji depolama işlevini yerine getiren batarya, tahrik sistemi içerisinde yer alan elektrik motoru ve jeneratör, ayrıca mekanik aktarma organları ile güç kontrol birimlerinden oluşur. Tahrik sistemi yalnızca elektrik motoruna dayanabileceği gibi hem elektrik motorunun hem de içten yanmalı motorun birlikte kullanıldığı hibrit sistemler şeklinde de tasarlanabilir. Bu bileşenlerin farklı teknolojik yapılandırmalarla bir araya gelmesi sonucu, temelde iki ana tip elektrikli araç geliştirilmiştir [57]. Şekil 3.1’de hibrit elektrikli araç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Hibrit Elektrikli Araç [57]

Hibrit elektrikli araçlar; içten yanmalı motor, elektrik motoru ve dışarıdan şarj edilebilen batarya sistemini aynı anda bünyesinde barındıran taşıtlardır. Bu araçlar, sürüş sırasında enerji verimliliğini artırmak amacıyla farklı sürüş modlarına geçiş yapabilirler. Yalnızca elektrik motoruyla, yalnızca içten yanmalı motorla ya da her iki motorun birlikte çalışmasıyla hareket etmeleri mümkündür. Tamamen elektrikli sürüş sağlayabilmeleri için batarya kapasitelerinin genellikle 4 ile 16 kWh arasında olması beklenir. Batarya seviyesi düştüğünde ise içten yanmalı motor devreye girerek aracın menzilinı kayda değer ölçüde uzatır ve sürüşün kesintisiz devam etmesini sağlar [58].

Elektrikli araçların batarya sistemlerinde genellikle lityum iyon piller kullanılmaktadır. Bu bataryalar, kullanım süresiyle birlikte zamanla verim kaybı yaşamaktadır. Bu nedenle, elektrikli araçların sorunsuz ve uzun ömürlü şekilde kullanılabilmesi için, lityum iyon pillerle desteklenen batarya sistemleri tercih edilmekte ve yüksek verim hedeflenmektedir [59].

Elektrikli araçlar, harici bir enerji kaynağından aldıkları elektrikle bataryalarını şarj eden taşıtlardır ve bu şarj işlemi genellikle şarj istasyonları aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu istasyonlar, hem alternatif akım (AC) hem de doğru akım (DC) kullanarak enerji aktarımı sağlayabilir. DC tipi istasyonlar, yüksek güçte enerji iletimi sayesinde bataryaları kısa sürede doldurabilirken; AC şarj istasyonları daha düşük güçle çalıştığı için şarj süreci daha uzun zaman alır. Öte yandan, elektrikli araçlar yalnızca dış kaynaklara bağlı kalmaksızın bazı sistemler aracılığıyla kısmi enerji geri kazanımı da gerçekleştirebilir. Bu sistemler arasında en yaygın olanı rejeneratif frenleme teknolojisidir. Bu teknoloji, sürücünün gaz pedalından ayağını çekmesiyle devreye girer ve yavaşlama sırasında oluşan kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek bataryaya geri iletir. Ancak bu sistemin sağlayabildiği enerji sınırlıdır, bu nedenle araçlar belirli bir kullanım süresi sonrasında yeniden harici bir kaynaktan şarj edilmek zorundadır. Elektrikli motorlar ihtiyaç duyduğu enerjiyi doğrudan bataryadan almaktadır [60-61].

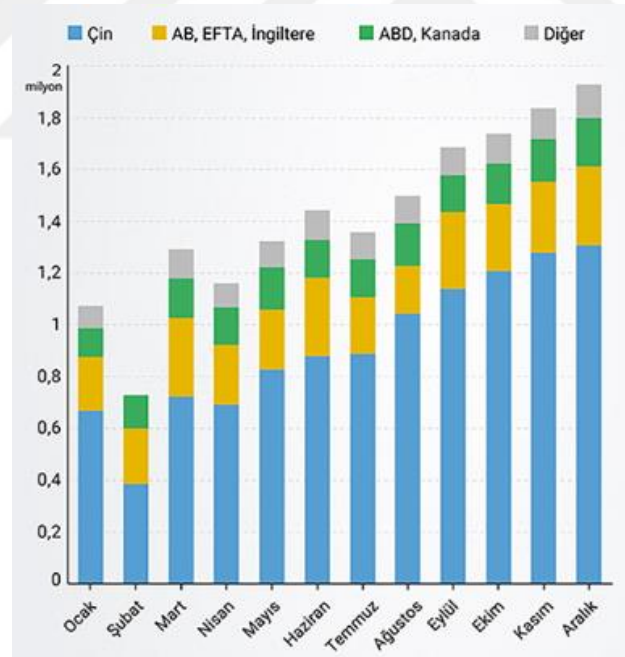
Elektrikli motor sistemleri, konvansiyonel içten yanmalı motorlara kıyasla daha basit bir yapıya sahiptir. Hem yakıt tasarrufu sağlaması hem de çevre dostu olması nedeniyle elektrikli araçlara olan ilgi giderek artmakta ve bu araçların kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır.

3.2. Dünyada Elektrikli Araç Teknolojisi

Elektrikli araçlar, küresel enerjiye bağlı emisyonların %15'inden fazlasını oluşturan bir sektör olan karayolu taşımacılığının karbonsuzlaştırılması açısından anahtar bir teknoloji konumundadır. Son yıllarda, elektrikli araç satışlarında önemli bir artış gözlemlenmiş; bununla birlikte araç menzili geliştirilmiş, model çeşitliliği artırılmış ve performans açısından da iyileştirmeler sağlanmıştır. Binek elektrikli otomobillere olan ilgi, bu gelişmeler doğrultusunda artmaya devam etmektedir.

Son iki yılda gözlemlenen büyüme eğiliminin devam etmesi durumunda, otomobillerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının 2030 yılı itibarıyla, 2050 Net Sıfır Emisyon (NZE) Senaryosu ile uyumlu bir çizgiye oturması mümkün olabilir. Ancak elektrikli araçlar, hâlen küresel çapta yeterince yaygınlaşmış değildir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler ile yükselen ekonomilerde, yüksek başlangıç maliyetleri ve yetersiz şarj altyapısı, elektrikli araç satışlarını içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha düşük seviyelerde tutmaktadır. İngiltere merkezli araştırma kuruluşu Rho Motion'un 2024 yılı verilerine göre, küresel elektrikli araç satışları bir önceki yıla oranla %25 artış göstermiştir. Bu artışla birlikte, 2024 yılında dünya genelinde 17,1 milyon elektrikli araç satışı gerçekleştirilmiş ve yeni bir rekor kırılmıştır [62].

Bölgesel olarak değerlendirildiğinde, Avrupa pazarında elektrikli araç satışları 2023'e göre %3 azalarak 3 milyon adede gerilemiştir. Avrupa'da Birleşik Krallık, 400 binin üzerindeki satışla en fazla bataryalı elektrikli araç satışının gerçekleştiği ülke olmuştur ve yıl sonuna doğru Almanya'nın satışlarını geride bırakmıştır. Almanya'da ise, 2023 yılı sonlarında elektrikli araç sübvansiyonlarının kaldırılmasının ardından, 2024 yılı içinde satışlarda düşüş gözlenmiştir [63]. Şekil 3.2'de Dünyada elektrikli araç durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Dünyada Elektrikli Araç Satışları [63]

3.3. Türkiye’de Elektrikli Araç Teknolojisi

Otomotiv sektörü dünya genelinde elektrifikasyon sürecini hızla benimsemiş ve bu dönüşüm, düzenleyici politikaların yönlendirmesiyle sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda ciddi bir ivme kazanmıştır. Fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması ve iklim değişikliğiyle mücadele gibi küresel gereklilikler, elektrikli araçların yalnızca teknolojik bir alternatif değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik geçişinde stratejik bir unsur olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu çerçevede Türkiye de çevre dostu ulaşım ve yeşil mobilite hedefleri doğrultusunda elektrikli araç teknolojilerine yönelik önemli adımlar atmaktadır. Türkiye’nin yerli markası TOGG’un elektrikli araç üreticisi olarak konumlanması, bu stratejik dönüşüme verilen önemin somut bir göstergesidir [64].

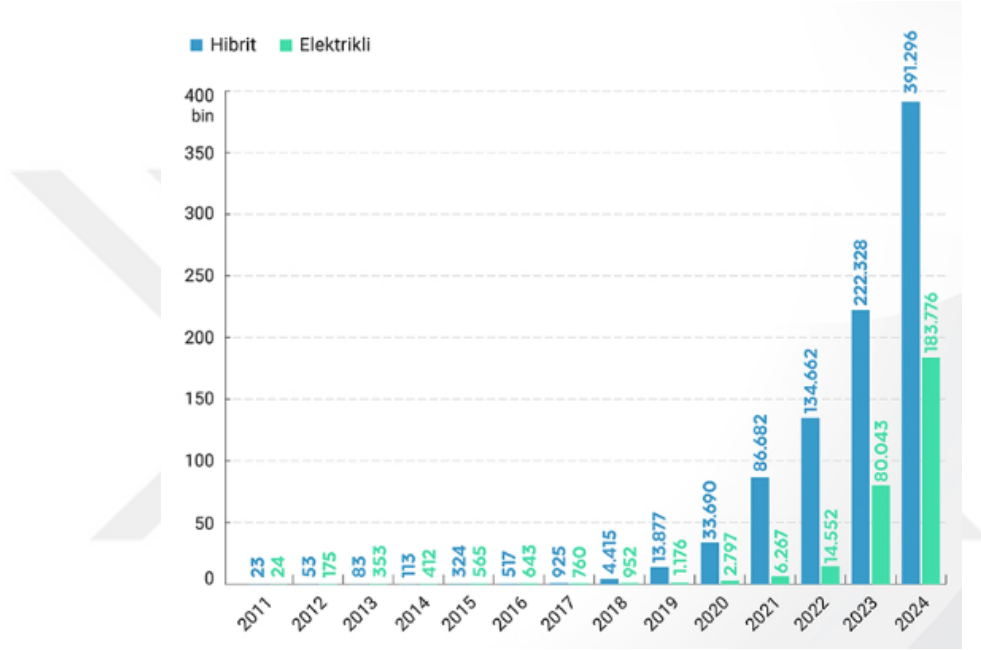
Elektrikli araçlar, sıfır emisyon potansiyeli, düşük işletme maliyetleri ve teknolojik gelişmeler sayesinde giderek daha fazla kullanıcı tarafından tercih edilmektedir. Ancak bu dönüşüm yalnızca üretim ve satışlardaki artışla sınırlı değildir. Gerçek anlamda bir dönüşümden söz edebilmek için, şarj altyapısının da güçlendirilmesi gerekmektedir. Yaygın, hızlı ve erişilebilir şarj istasyonu ağı, kullanıcı güvenliğini artırmakta ve menzil endişesini azaltarak elektrikli araçların günlük yaşamdaki kullanımını teşvik etmektedir. Türkiye’de de bu alanda sağlıklı bir ekosistem oluşturulabilmesi için şarj altyapısının kapsamlı ve adil bir şekilde yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle istasyonların ülke geneline dengeli biçimde dağıtılması ve herkesin erişimine açık olması, sürecin başarısında belirleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Elektrikli araç sektörü küresel düzeyde hızla büyüyen dinamik bir pazar hâline gelmiş olup, bu büyümenin etkileri Türkiye’de de net şekilde hissedilmektedir. 2024 yılı itibarıyla Türkiye’de elektrikli araç sayısı, bir önceki yıla kıyasla %130 artış göstererek 185 binin üzerine çıkmıştır. Bu yükseliş, toplumda elektrikli mobiliteye yönelik ilginin giderek arttığını göstermektedir. Yerli üretimin teşvik edilmesi, TOGG’un piyasaya girmesi ve devlet desteklerinin artması, bu yaygınlaşma sürecini hızlandıran başlıca etkenler arasında yer almaktadır. Buna ek olarak, Avrupa merkezli otomobil markalarının Türkiye pazarına giriş yapması rekabeti artırmakta ve bu durum, araç fiyatlarının daha ulaşılabilir seviyelere getirilmesine katkıda bulunmaktadır [65-66].

Elektrikli araçların yaygınlaşmasını sağlayan temel etkenler arasında; batarya teknolojilerindeki ilerlemeler, maliyetlerin azalması, araç menzilin artması ve şarj altyapısının genişlemesi yer almaktadır. Bu faktörler, elektrikli araçların daha geniş tüketici gruplarına ulaşabilmesini mümkün kılan önemli dinamiklerdir. Türkiye’de bu dönüşümü desteklemek amacıyla çeşitli vergi teşvikleri uygulanmaktadır. Elektrikli araç satın alımlarında, motor gücüne göre değişen oranlarda başlayan ve %10’dan itibaren uygulanan özel tüketim vergisi (ÖTV) oranları, içten yanmalı motorlu araçlara

kıyasla yedi kata kadar vergi avantajı sağlayabilmektedir. Buna ek olarak, motorlu taşıtlar vergisinde %75 oranında yapılan indirim de bu araçların cazibesini artıran bir başka unsurdur.

Uygulanan bu teşviklerin etkisiyle Türkiye’de elektrikli araç satışlarında dikkat çekici bir artış yaşanmıştır. 2022 yılında 14.552 adet olan elektrikli araç sayısı, 2023’te 80.043’e, 2024 yılında ise 184.776 adede yükselmiştir. Bu hızlı yükseliş, Türkiye’nin elektrikli mobiliteye geçiş sürecini zamanında ve stratejik adımlarla yürüttüğünü açık bir şekilde göstermektedir [67]. Şekil 3.3’de Türkiye’de toplam elektrikli araç sayısı yıllık değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Türkiye’de Toplam Elektrikli Araç Sayısı Yıllık Değişimi [67]

3.4. Türkiye Elektrikli Araç Şarj Altyapısı Durumu

2022 yılı Nisan ayında Elektrikli Araçlar için Şarj İstasyonları Destek Programı ilan edildiğinde, Türkiye genelinde hızlı şarj soketi sayısı yalnızca 200’ün biraz üzerindeydi. Bu destek programı sayesinde sektöre olan ilgi hızla arttı ve 200’den fazla firma başvuruda bulundu. Süreç içerisinde EPDK tarafından lisans verilen firma sayısı 170’i geçerek, sektörde sağlıklı ve düzenli bir yapının oluşmasına katkı sağlandı. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın desteğiyle, 31 Ocak 2024 tarihine kadar toplamda 2.100’ü aşkın hızlı şarj soketi hizmete alındı. Bu tarih itibarıyla Türkiye’de kurulu olan hızlı şarj soketlerinin yaklaşık %50’si bu destek programı kapsamında kurulmuştur.

Bugün itibarıyla, Türkiye’nin 81 ilinin tamamında ve yaklaşık 500 ilçesinde toplam hızlı şarj noktası sayısı 12 bine yaklaşmış durumdadır. Bu altyapının gelişiminde ilgili kamu kurumlarının koordineli çalışmaları belirleyici olmuştur. Aralık 2024 itibarıyla Türkiye, sahip olduğu hızlı şarj

altyapısıyla, şarj noktası başına düşen elektrikli araç sayısı bakımından Avrupa’da ilk sırada yer almaktadır. Öte yandan, son bir yıllık gelişim dikkate alındığında 2023 Aralık ayında toplam 11.812 şarj soketi (8.320 AC ve 3.492 DC) aktif durumdayken, bu sayı 2024 Aralık ayında 26.046’ya (15.714 AC ve 10.332 DC) ulaşarak önemli bir büyüme kaydedilmiştir [67]. Tablo 3.1’de Türkiye’de elektrikli araç şarj alt yapısı durumu verilmiştir.

Tablo 3.1 Türkiye’de Elektrikli Araç Şarj Alt Yapısı Durumu [68]

Türkiye Genel	2023 Kapanış	2024 Kapanış	2024 Yılı Büyüme %	2024 Yeni Kurulumlar	2024 Günlük Ortalama
Kurulu Güç (kW)	423.327	1.043.728	147	620.400	1.700
Soket Sayısı	12.254	26.466	116	14.212	39
Lokasyon Sayısı	5.700	10.520	85	4.820	13
Soket Başına Ortalama Güç	34.5	39,4	14	43,7	-

2023 yılı sonunda Türkiye genelinde toplam kurulu şarj gücü 423.327 kW iken, 2024 yılının sonuna gelindiğinde bu kapasite %147 oranında artış göstererek 1.043.728 kW seviyesine ulaşmıştır. Bu dönemde toplam 620.400 kW yeni şarj gücü sisteme kazandırılmış, bu da günlük ortalama 1.700 kW’lık bir artış anlamına gelmektedir. Aynı süreçte, şarj soketi sayısı 12.254’ten 26.466’ya çıkarak %116 oranında artmış; yıl boyunca 14.212 yeni soket kurulmuş ve günlük ortalama 39 adet soket hizmete alınmıştır.

Şarj istasyonu lokasyon sayısı da önemli ölçüde artış göstermiş, 2023 sonunda 5.700 olan lokasyon sayısı 2024 sonunda 10.520’ye çıkarak %85 büyüme kaydetmiştir. Bu artışla birlikte yıl boyunca 4.820 yeni lokasyon faaliyete geçmiş, günlük ortalama 13 yeni şarj noktası hizmete sunulmuştur.

2023 yılında şarj istasyonlarında soket başına düşen ortalama güç 34,5 kW iken, 2024 sonunda bu değer 39,4 kW’a yükselmiştir. Aynı zamanda, yeni kurulumların ortalama şarj gücü 43,7 kW olarak kaydedilmiştir. Aralık 2024 itibarıyla, elektrikli araç başına düşen şarj istasyonu kurulu gücü ülkelere göre şöyle sıralanmıştır: Türkiye 9,36 kW ile listenin başında yer alırken, Hollanda 8,30 kW, Almanya 6,2 kW ve Fransa 5,57 kW ile Türkiye’nin gerisinde kalmıştır [68].

Şehir bazında değerlendirildiğinde, İstanbul 2024 yılında 7.549 soket sayısına ulaşarak liderliği elinde bulundurmıştır. Ankara ise %135’lik bir artışla 3.019 sokete ulaşmış; Antalya, Bursa, İzmir ve Muğla gibi büyük ve turistik şehirler de kayda değer bir büyüme göstermiştir.

Diğer illerdeki artışlarla birlikte toplam soket sayısı 26.466'ya ulaşmıştır. Bu artış, elektrikli araç kullanıcıları açısından daha erişilebilir ve yaygın bir şarj altyapısının oluşturulmasına önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Türkiye'deki il bazında AC ve DC toplam soket sayısı Tablo 3.2'de sunulmaktadır.

Tablo 3.2 Türkiye'de il bazında AC ve DC toplam soket sayısı [68]

Şehir	2023 Kapanış (Adet)	2024 Kapanış (Adet)	2024 Yılı Büyüme (%)	2024 Yeni (Adet)	2024 Günlük
İstanbul	3344	7549	126	4025	11.5
Ankara	1286	3019	135	1733	4.7
Antalya	849	1514	78	665	1.8
Bursa	576	1325	130	749	2.1
İzmir	548	1172	114	624	1.7
Muğla	448	705	57	257	0.7
Kocaeli	305	661	117	356	1.0
Konya	355	628	77	273	0.7
Kayseri	320	608	90	288	0.8
Balıkesir	234	534	128	300	0.8
Sakarya	189	409	116	220	0.6
Mersin	126	379	201	253	0.7
Aydın	171	326	91	155	0.4
Adana	141	324	130	183	0.5
Diğerleri	3155	6898	119	3743	10.3

Sonuç olarak, 2024 yılı Türkiye açısından elektrikli araç şarj altyapısında önemli bir dönüşüm yılı olmuştur. Özellikle DC tipi hızlı şarj istasyonlarının yaygınlaşması, uzun yolculuk yapan kullanıcılar için daha konforlu bir sürüş deneyimi sunarken; şarj kapasitesindeki genel artış da elektrikli araç kullanımını destekleyen önemli bir unsur olmuştur. 2025 yılı ve sonrasına yönelik beklentiler ise, daha yüksek güçlü şarj istasyonlarının yaygınlaşması ve batarya teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde şarj sürelerinin önemli ölçüde kısalması yönündedir.

3.5. Elektrikli Araç Şarj Sistemlerinde İyileştirilmesi Gereken Alanlar

Şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla bütünleştirilmesi yönünde önemli ilerlemeler kaydedilmektedir. Özellikle güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla şarj istasyonlarının enerji ihtiyacının karşılanması, karbon emisyonlarının azaltılmasına ciddi katkı

sağlayacaktır. Ayrıca, bu istasyonların akıllı şebekelere entegre edilmesiyle enerji yönetimi daha verimli hale gelmekte; bu durum hem şebeke yükünün dengelenmesine hem de enerji maliyetlerinin düşürülmesine katkıda bulunmaktadır.

Türkiye'nin elektrikli araç şarj altyapısında gelişime açık alanların başında, şarj istasyonlarının coğrafi olarak dengesiz dağılımı gelmektedir. Mevcut durumda, şarj noktaları daha çok büyükşehirlerde yoğunlaşmakta; kırsal kesimlerde ve küçük şehirlerde yeterli erişim sağlanamamaktadır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, Elektrikli Araçlar İçin Şarj İstasyonları Destek Çağrısının ikinci fazı planlanmış ve ilk çağrının dışında kalan il ve ilçelerde toplam 536 yeni şarj istasyonunun kurulması hedeflenmiştir. Öte yandan, hızlı şarj noktalarının sayısı artmasına rağmen, yoğun kullanım saatlerinde yaşanan beklemler kullanıcı deneyimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle daha yüksek kapasiteli istasyonların kurulması kritik önem taşımaktadır. Aynı zamanda, farklı şarj ağı operatörleri arasında sistem uyumluluğunun artırılması ve evrensel şarj protokollerinin yaygınlaştırılması, kullanıcıların şarj hizmetlerine erişimini kolaylaştıracaktır [69].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının şarj altyapısıyla entegrasyonu, karbon salımının azaltılması açısından stratejik değer taşımaktadır. Bu alandaki uygulamaların artırılması ve daha fazla şarj noktasının yenilenebilir enerjiyle desteklenmesi gerekmektedir. Ayrıca, şarj ücretlendirme sistemlerinin daha şeffaf ve ulaşılabilir hale getirilmesi, elektrikli araçların benimsenmesini teşvik edici unsurlar arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, hızlı şarj altyapısının teknik kapasitelerinin artırılması ve yüksek voltajlı bataryaları destekleyebilecek sistemlerin geliştirilmesi, yeni nesil araçların ihtiyaçlarını karşılamak açısından önem arz etmektedir. Türkiye'de kısa vadede enerji arzında bir sıkıntı beklenmemekle birlikte, yüksek güçlü şarj istasyonlarının kurulumu sürecinde mevcut dağıtım altyapısının bazı bölgelerde yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, şarj ağı işletmecileri ile elektrik dağıtım firmalarının eşgüdüm içinde çalışması ve gerekli altyapı yatırımlarının önceliklendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

3.6. Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri

Günümüzde elektrikli araçlar için üç temel şarj yöntemi bulunmaktadır: batarya değişimi, kablolu şarj ve kablosuz şarj. Kablolu şarj sistemi, kendi içinde alternatif akım (AC) ve doğru akım (DC) olmak üzere iki ayrı kategoriye ayrılmaktadır. Elektrikli araçların büyük çoğunluğu, AC ve DC şarj istasyonları kullanılarak bataryalarını şarj edebilmektedir.

Kablosuz şarj teknolojisi ise, herhangi bir kablo ya da aparat gerektirmemesi nedeniyle hem güvenli hem de kullanıcı dostu bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemde araç, zemin altına yerleştirilen bir indüksiyon ünitesi üzerine park edilmekte; şarj işlemi, oluşturulan elektromanyetik alan aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Söz konusu teknoloji halen geliştirme aşamasında olup, araçların hareket hâlindeyken de şarj edilebilmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir.

Batarya değiştirme yöntemi ise belirli değişim merkezlerinde uygulanan bir sistemdir. Bu yöntemde araç sahipleri, boş bataryalarını hızlıca şarj edilmiş bir batarya ile değiştirerek zaman kaybı yaşamadan yola devam edebilmektedir. Özellikle hızlı şarj beklemeyen kullanıcılar için bu yöntem avantajlı bir alternatif olarak değerlendirilmektedir [70].

3.6.1. Kablo ile Şarj Seviyeleri

Elektrikli araçlarda kullanılan kablolu şarj ekipmanları, aracın marka ve modeline göre farklılık gösterebilmektedir. Karmaşık bir kullanım yapısına sahip olmayan bu yöntem; ev tipi, standart ve hızlı şarj olmak üzere üç temel seviyede sınıflandırılmaktadır.

Seviye 1 Ev Tipi Şarj: Bu yöntemde araç, doğrudan standart ev prizine takılarak şarj edilir. “Yavaş şarj” olarak da adlandırılan bu sistem genellikle 120 Volt gerilimle çalışır ve bir saatlik şarjla yaklaşık 6–8 kilometre menzil sunar. Bataryanın tam kapasiteyle dolması, aracın teknik özelliklerine bağlı olarak ortalama 7 ila 29 saat sürebilir. Seviye 1 sisteminde, herhangi bir ek dönüştürücü cihaza ihtiyaç duyulmaz; şarj için gerekli donanımlar genellikle araçla birlikte temin edilir.

Seviye 2 Standart Şarj: Bu sistem, yavaş şarja göre daha kısa sürede enerji sağlarken, hızlı şarja kıyasla daha ekonomik bir alternatiftir. 240 ila 400 Volt aralığında enerji sağlayan prizlerle çalışan Seviye 2 istasyonları; genellikle şehir merkezlerinde, alışveriş alanlarında, akaryakıt istasyonlarında ve dinlenme tesislerinde yer almaktadır. Bu şarj yöntemiyle bir saatlik işlem sonunda araç yaklaşık 25–40 kilometre menzil kazanabilir. Tam dolum süresi ise ortalama 2 ile 10 saat arasında değişmektedir. Bu süreçte ek bir enerji dönüştürücüsüne gerek duyulmadan şarj, aracın mevcut sistemiyle gerçekleştirilir [71].

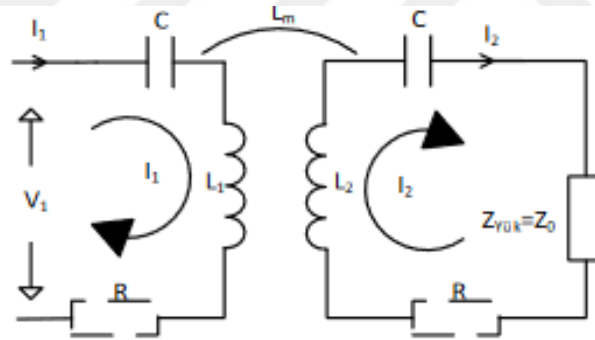
Seviye 3 Hızlı Şarj: Hızlı şarj teknolojisi hem alternatif akım (AC) hem de doğru akım (DC) ile çalışabilmektedir. AC modunda genellikle üç fazlı sistemler tercih edilirken, DC şarj sistemlerinde alternatif akım önce doğrultularak kullanılır. AC ekipmanları genellikle araca bütünleşmiş şekilde çalışırken, DC şarj üniteleri harici olarak yapılandırılmıştır. DC hızlı şarj ile yalnızca 10 dakikalık bir işlem sonucunda araç yaklaşık 70 kilometrelik bir menzil elde edebilmektedir. Bu yöntem,

enerji aktarım hızının yüksek olması sayesinde bataryanın tam şarj süresini kayda değer oranda azaltmaktadır [71].

3.6.2. Kablosuz Şarj

Günümüzde birçok elektronik cihaz, geleneksel kablolu bağlantılara ihtiyaç duyulmaksızın kablosuz olarak şarj edilebilmektedir. Akıllı telefonlar, tabletler, akıllı saatler ve benzeri çeşitli elektronik cihazlar, doğrudan bir kablo bağlantısı olmadan, dock olarak adlandırılan özel şarj yüzeylerine yerleştirilerek enerji alabilmektedir. Bu sistem, kullanıcıya hem pratiklik hem de estetik açıdan avantaj sunmaktadır.

Şarj yüzeyi, enerjisini doğrudan bir prize kablo ile bağlanarak ya da içerisinde yer alan batarya ünitesi aracılığıyla sağlayabilmektedir. Şarj edilecek cihaz ile bu yüzey arasında gerçekleşen enerji transferi ise, manyetik rezonanslı kuplaj (MRK) teknolojisine dayanmaktadır. Bu teknoloji, elektromanyetik alan üzerinden temassız enerji iletimini mümkün kılmaktadır [71]. Şekil 3.4'te, MRK sistemine ait eşdeğer devre şeması sunulmuştur.



Şekil 3.4 Manyetik Rezonanslı Kuplaj Eşdeğer Devresi [71]

Elektrikli araçların şarj edilmesine yönelik geliştirilen bu sistemin, araçların park edildiği alanlara veya otopark gibi ortak kullanım alanlarının zeminine entegre edilerek pratik bir şekilde kullanılabilir hale getirilmesi hedeflenmektedir. Sistem, çift yönlü enerji iletimine olanak tanıdığından, araçların alt kısmına şarj alımını mümkün kılan özel bileşenlerin entegre edilmesi gerekmektedir. Bu sayede, araçlar herhangi bir fiziksel bağlantıya ihtiyaç duyulmadan, park edildikleri noktalarda kablosuz biçimde şarj edilebilecektir [72].

3.6.3. Batarya Değiştirme Yöntemi

Elektrikli araçların ulaşabildiği maksimum mesafe, doğrudan bataryanın doluluk seviyesiyle bağlantılıdır. Bu araçlar, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla genellikle daha sınırlı bir menzil sunmaktadır. Benzinli ve dizel araçlar, ihtiyaç duydukları enerjiyi daha kısa sürede

karşılayabildikleri için uzun yolculuklarda avantaj sağlayabilmektedir. Bu durum, elektrikli araç kullanıcılarının daha sık batarya şarj etme gereksinimiyle karşı karşıya kalmasına yol açmakta ve bu nedenle batarya değişim sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Söz konusu yöntemle, boşalmış bir batarya yaklaşık 1,5 dakika içerisinde tamamen dolu bir batarya ile değiştirilebilmekte ve böylece şarj için bekleme süresi ortadan kaldırılmaktadır [73].

3.7. Elektrikli Araç Şarj Modları

Elektrikli araçlar, batarya teknolojilerinin gerektirdiği şekilde doğrudan doğru akım (DC) ile şarj edilebilmektedir. Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 olarak sınıflandırılan şarj yöntemlerinde, şebekeden sağlanan alternatif akım (AC), araç içerisinde yer alan entegre şarj ünitesi aracılığıyla doğru akıma dönüştürülmektedir. Buna karşın, Mod 4 şarj yönteminde AC-DC dönüşüm işlemi araç içinde değil, doğrudan şarj istasyonunun altyapısında gerçekleştirilmekte ve araca DC akım iletilmektedir.

3.7.1. Mod 1

Mod 1 şarj yöntemi, elektrikli aracın doğrudan alternatif akım kullanılarak şebekeden şarj edilmesini ifade eder. Bu yöntemde kullanılan akım 16 Amper ile sınırlıdır; gerilim ise tek fazda 250 Volt, üç fazda ise 480 Volt seviyesindedir. Bu sistemin güvenli çalışabilmesi için topraklama gereklidir. Ancak birçok ülkede, priz sistemlerinde yeterli topraklama ve koruyucu donanım bulunmadığından Mod 1 yöntemi güvenlik gerekçeleriyle yasaklanmıştır. Bu riskleri azaltmak amacıyla, daha güvenli bir yapı sunan Mod 2 şarj yöntemi geliştirilmiştir [74]. Şekil 3.5’de Mod 1 Şarj modu verilmiştir.



Şekil 3.5 Mod 1 Şarj Modu [74]

3.7.2. Mod 2

Mod 2 şarj yöntemi hem AC hem de DC akımlarına karşı entegre şok koruma sistemine sahip özel bir şarj kablosu kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yöntemde şarj kablosu, genellikle araçla birlikte sunulmaktadır. Mod 1’den farklı olarak, Mod 2 şarj kablosunda elektrik çarpmasına karşı güvenlik sağlayan dahili koruma mekanizması bulunmaktadır. Günümüzde bu yöntem, elektrikli araçların şarj edilmesinde en yaygın ve pratik seçenek olarak öne çıkmaktadır. Şarj işlemi, içinde koruma

cihazı bulunan standart bir ev tipi priz veya endüstriyel priz üzerinden AC akımla gerçekleştirilmektedir [75]. Şekil 3.6’da Mod 2 Şarj modu verilmiştir.



Şekil 3.6 Mod 2 Şarj Modu [75]

3.7.3. Mod 3

Mod 3 şarj yöntemi, elektrikli araçların şarjı için özel olarak tasarlanmış şarj istasyonlarının ya da duvara monte edilen şarj ünitelerinin kullanılmasını kapsamaktadır. Bu sistemler, hem alternatif akım (AC) hem de doğru akıma (DC) karşı şok koruması sağlamaktadır. Mod 3'te bağlantı kablosu doğrudan şarj ünitesi tarafından sağlanır, dolayısıyla araca özel bir kablo taşımaya gerek kalmaz. Günümüzde bu yöntem, elektrikli araç şarjı için en çok tercih edilen seçeneklerden biridir.

Şarj işlemi sırasında araç şarj ünitesine bağlandığında otomatik olarak bir iletişim kurulur. Araç, istasyona çekebileceği maksimum akım miktarını bildirir; şarj ünitesi ise bu bilgilere göre en uygun akımı belirleyerek araca aktarır. Böylece güvenli ve verimli bir şarj süreci sağlanmış olur [75]. Şekil 3.7’de Mod 3 Şarj modu verilmiştir.



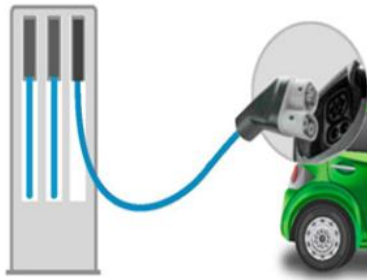
Şekil 3.7 Mod 3 Şarj Modu [75]

3.7.4. Mod 4

Mod 4 şarj yöntemi, yaygın olarak "DC hızlı şarj" ya da kısaca "hızlı şarj" olarak bilinmektedir. Bu yöntemde çok çeşitli güç seviyeleriyle şarj imkânı sunulmakta olup, taşınabilir 5 kW’lık

sistemlerden başlayarak 50 kW, 150 kW ve hatta 350–400 kW’a kadar çıkan standartlar mevcuttur. Şarj işlemi, kontrol ve koruma fonksiyonları entegre edilmiş bir doğru akım şarj istasyonu aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu sistemler, araçlara doğrudan DC akım sağlayarak şarj süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır.

Mod 4 kapsamında kullanılan donanımlar arasında, 80 ampere kadar olan akımlar için Tip 2 şarj fişleri, 200 ampere kadar olan uygulamalarda ise Combo (Combined Charging System – CCS) tipi fişler ve şarj istasyonları tercih edilmektedir. Bu tür şarj altyapılarında sunulan maksimum güç kapasitesi 170 kW düzeyine kadar ulaşabilmektedir [75]. Mod 4 şarj sistemine ait şematik gösterim Şekil 3.8’de sunulmuştur.



Şekil 3.8 Mod 4 Şarj Modu [75]

Mod 4 şarj yönteminde, şebekeden sağlanan alternatif akım (AC), hızlı şarj istasyonunda yer alan güç dönüştürücü sistem aracılığıyla doğru akıma (DC) çevrilir ve bu enerji doğrudan aracın bataryasına aktarılır. Bu işlem, araç üzerinde ek bir doğrultucu ünitesine ihtiyaç duyulmaksızın gerçekleştirilir. Doğrudan doğru akım iletimine imkân tanıyan bu yapı sayesinde, yüksek akım değerlerine ulaşmak mümkün olmakta ve böylece şarj süresi önemli ölçüde kısaltılmaktadır.

3.8. Elektrikli Araç Şarj İstasyon Tipleri

Günümüzde elektrikli araçlar, hem alternatif akım (AC) hem de doğru akım (DC) kaynakları kullanılarak şarj edilebilmektedir. Bu doğrultuda, farklı güç ve hız seviyelerine sahip çeşitli şarj altyapıları geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanıma sunulmuştur. Genel sınıflandırma kapsamında, elektrikli araç şarj istasyonları iki ana gruba ayrılmaktadır: AC şarj istasyonları ve DC hızlı şarj istasyonları. Her iki tip istasyon, şarj süresi, güç kapasitesi ve enerji dönüşüm noktası açısından farklılık göstermektedir.

3.8.1. AC Şarj İstasyonu

Şehir elektrik şebekesinden alınan alternatif akım ile çalışan şarj istasyonları, sistemin teknik altyapısına bağlı olarak farklı şarj hızlarında hizmet verebilmektedir. Elektrikli araçlarda yer alan

enerji dönüştürücüler sayesinde, üretici firma tarafından belirlenen teknik sınırlamalar doğrultusunda AC enerji, doğru akıma çevrilerek kullanıma sunulmaktadır. Günümüzde, genellikle 380 Volt gerilimle çalışan üç fazlı ve 22 kW gücünde AC şarj istasyonları, düşük kurulum ve işletme maliyetleri sebebiyle kullanıcılar tarafından oldukça yaygın şekilde tercih edilmektedir. Hem 22 kW gücündeki AC şarj sistemlerine hem de bazı özel firmalar tarafından sağlanan 43 kW seviyesindeki AC şarj olanaklarına ilişkin bilgiler Tablo 3.3'te yer almaktadır [76].

Tablo 3.3 Elektrikli araçların şarj standartları [76]

Şarj Metodu	Voltaj (AC/Volt)	Faz	Maksimum Akım (A)	Maksimum Güç (W)
AC Seviye 1	120	1 Faz	12-16	1,44-1,92
AC Seviye 2	208-240	1 Faz	80 üstü	19,2 üstü

3.8.2. DC Şarj Metodu

Elektrikli araç bataryaları yalnızca doğru akım (DC) ile şarj edilebilmektedir. Araç içerisinde yer alan dönüştürücü yardımıyla alternatif akım (AC) doğru akıma çevrilirken, bu dönüşüm sırasında yüksek akımların etkisiyle önemli miktarda ısı oluşmaktadır. Ortaya çıkan bu ısı, üreticilerin sistemdeki güç seviyelerini sınırlandırmalarına neden olmaktadır. Alternatif bir yöntem olarak, AC'den DC'ye enerji dönüşümünün araç dışında gerçekleştirilmesi ve bataryaya doğrudan DC gücün verilmesi öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımda, araç içinde bir dönüştürücü kullanılmadığı için aşırı ısınma sorunu yaşanmaz ve dolayısıyla güç sınırlaması gereksinimi ortadan kalkar. DC şarj sistemleri, alternatif akıma kıyasla çok daha yüksek hızlara olanak tanıdığı için, elektrikli araçların şarj süresi bu yöntemle ciddi oranda kısalmaktadır [76]. DC şarj istasyonlarına ilişkin Otomotiv Mühendisleri Derneği tarafından tanımlanan teknik standartlar Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4 Elektrikli Araçların Şarj Hızları ve Süreleri [76]

Şarj Türü	Şarj Olma Hızları	60 Dakikada Alabileceği Yol	Zaman
Şarj Cihazı (8A)	1,8 kW	10 km	35 saat
1 Faz AC Şarj	7,4 kW	40 km	9 saat
3 Faz AC Şarj	22 kW	120 km	3 saat
DC Şarj	25 kW	150 km	1,5 saat
Hızlı DC Şarj	50 kW	300 km	1 saat
Ultra Hızlı DC Şarj	175 kW	1000 km	15 dakika

3.9. Elektrikli Araçlarda Karbon Emisyonunun İncelenmesi

Elektrikli araçlar, konvansiyonel içten yanmalı motorlu taşıtlara oranla oldukça düşük düzeyde sera gazı emisyonu üretmeleri nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir ulaşım alternatifi olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, bu araçların "sıfır emisyonlu" olarak nitelendirilmesi her zaman gerçeği tam olarak yansıtmayabilir. Zira, kullanım aşamasında doğrudan egzoz emisyonu üretmeseler de, elektrik enerjisinin üretim kaynaklarına bağlı olarak oluşan dolaylı emisyonlar ile araçların üretim, batarya imalatı ve geri dönüşüm süreçlerinde ortaya çıkan karbon ayak izi de toplam çevresel etkiyi oluşturan unsurlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, elektrikli araçların çevre üzerindeki gerçek etkileri, yaşam döngüsü analizi (Life Cycle Assessment - LCA) temelinde çok yönlü olarak ele alınmalıdır.

3.9.1. Doğrudan Emisyon

Elektrikli araçlar, çalışma esnasında herhangi bir egzoz gazı salımı gerçekleştirmez ve bu özellikleriyle "sıfır egzoz emisyonlu araçlar" sınıfında değerlendirilmektedir. Sürüş sırasında karbonmonoksit (CO) emisyonu oluşmazken, karbondioksit (CO₂) salımı da doğrudan gerçekleşmemektedir. Ayrıca, içten yanmalı motorlarda yaygın olarak karşılaşılan azot oksitler (NO_x) ve partikül maddeler (PM) gibi zararlı bileşenler de elektrikli araçlarda bulunmamaktadır [77]. Bu yönüyle elektrikli araçlar, hava kalitesinin korunması ve şehir içi çevresel etkilerin azaltılması açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

3.9.2. Dolaylı Elektrik Üretimi ve Araç Üretiminden Kaynaklanan Emisyonlar

Elektrikli araçların dolaylı emisyonları, enerji üretim süreçlerinden ve araç üretim aşamasından kaynaklanabilir.

3.9.2.1 Elektrik Üretiminden Kaynaklanan Emisyonlar

Elektrikli araçların şarj edilmesinde kullanılan elektrik enerjisinin üretim kaynağı, ortaya çıkan dolaylı karbon emisyonlarının düzeyini belirleyen temel faktörlerden biridir. Şayet şarj işlemi, kömür, doğal gaz veya petrol gibi fosil yakıt kaynaklı elektrikle gerçekleştiriliyorsa, bu durum dolaylı sera gazı emisyonlarına yol açmaktadır. Örneğin, elektrik üretimi kömür santralleri aracılığıyla sağlanıyorsa, 1 kWh enerji üretimi yaklaşık olarak 0,8 kg CO₂ emisyonuna neden olabilmektedir. Buna karşın, şarj için kullanılan elektrik enerjisi güneş, rüzgâr veya hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edildiğinde, bu süreçte ortaya çıkan dolaylı emisyonlar ihmal edilebilir seviyelere, hatta neredeyse sıfıra kadar düşebilmektedir.

3.9.2.2 Elektrikli Araç Üretiminden Kaynaklanan Emisyonlar

Elektrikli araçların üretim süreci, özellikle batarya üretimindeki enerji yoğunluğu nedeniyle, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha yüksek düzeyde karbon emisyonuna yol açabilmektedir. Bu durumun temel nedeni, Lityum-İyon batarya üretiminde kullanılan lityum, nikel ve kobalt gibi madenlerin çıkarılması, rafinasyonu ve işlenmesinin yüksek miktarda enerji gerektirmesidir. Üretim kaynaklı karbon salımı açısından değerlendirildiğinde, ortalama bir elektrikli aracın imalat süreci yaklaşık 8–10 ton CO₂ emisyonu oluşturabilirken, bu değer içten yanmalı motorlu araçlar için genellikle 5–7 ton CO₂ düzeyinde kalmaktadır. Dolayısıyla, elektrikli araçların çevresel avantajları, üretimden kaynaklanan emisyonlar dikkate alınarak yaşam döngüsü perspektifiyle değerlendirilmelidir.

3.10. Elektrikli Araçların Yaygınlaşmasının Türkiye'nin Ulusal Karbon Ayak İzine Etkisi

Türkiye'nin 2053 yılı için belirlediği net sıfır emisyon hedefi kapsamında, ulaşım sektöründe karbon salımının azaltılması amacıyla elektrikli araçların yaygınlaştırılması stratejik bir rol üstlenmektedir. 2024 yılı itibarıyla Türkiye'de yaklaşık 200.000 elektrikli araç bulunmaktadır ve bu sayının artış hızı oldukça yüksektir. Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu taşıtlara kıyasla daha yüksek enerji verimliliği sunmaktadır; yakıt enerjisinin %70 ila %80'ini hareket enerjisine dönüştürebilirken, bu oran içten yanmalı sistemlerde %20–30 civarındadır. Egzoz salımı üretmemeleri nedeniyle elektrikli araçlar, özellikle şehir içi hava kalitesinin artmasına katkı sağlamakta ve insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır. Öte yandan, ülke genelinde elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının yükselmesiyle birlikte elektrikli araçların toplam karbon ayak izi daha da düşük seviyelere inmektedir. Tüm bu gelişmeler, Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma sürecinde önemli katkılar sunmaktadır.

Yapılan hesaplamalara göre, elektrikli araçların kilometre başına karbon salımı yaklaşık 0,12 kg CO₂ eşdeğeri iken, içten yanmalı motorlu araçlarda bu değer 0,21 kg CO₂ eşdeğeri olarak belirlenmiştir. Yani iki sistem arasında araç başına ve kilometre bazında 0,09 kg CO₂ eşdeğeri fark bulunmaktadır. Literatürde yer alan verilere göre, Türkiye'nin yıllık toplam karbon ayak izi yaklaşık olarak 442,8 milyon ton (Mton) CO₂ eşdeğeri düzeyindedir [78].

4. MOTORLU TAŞITLAR

Geleneksel içten yanmalı motorlarda en yaygın kullanılan enerji kaynakları; benzin, dizel, LPG ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardır. Benzin, özellikle yüksek performans beklentisi olan binek araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dizel ise düşük devirde yüksek tork sağlama özelliği nedeniyle, özellikle ağır vasıtalar ve ticari taşıtlarda tercih edilmektedir. Öte yandan, çevresel etkileri daha sınırlı olan LPG ve sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) gibi alternatif yakıt türleri, emisyonları azaltma potansiyelleri nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir. Hangi yakıt türünün seçileceği ise aracın teknik yapısına ve kullanım amacına bağlıdır. Örneğin, uzun yol taşımacılığı için genellikle dizel motorlar öne çıkarken, şehir içi ulaşımında benzinli ya da LPG'li araçlar daha yaygındır. Yakıt türü seçimi yalnızca aracın performans ve yakıt ekonomisini değil, aynı zamanda çevre üzerindeki etkisini de doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, uygun yakıt tercihi hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik verimlilik açısından oldukça önemlidir [79].

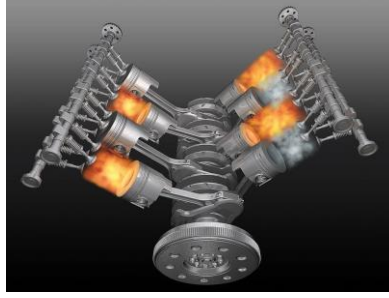
4.1. Motor Çeşitleri

Motor çeşitleri, benzinli motor ve dizel motor olarak ayrılır. Otomobil motorları, çalışma prensiplerine ve yakıt türlerine göre sınıflandırılabilir. En yaygın araç motor çeşitleri şunlardır:

İçten Yanmalı Motorlar: Benzinli Motor (Benzin veya LPG yakabilir), dizel motor, doğal gazlı (CNG) motor olmak üzere 3'e ayrılır. Dıştan Yanmalı Motor ise buhar motorlarıdır.

4.1.1. İçten Yanmalı Motorlar

İçten yanmalı motorlar, yakıtın hava ile karıştırılarak motorun yanma odasında kontrollü bir şekilde yakılması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren sistemlerdir. Yanma odasında gerçekleşen bu kimyasal reaksiyon sonucunda yüksek basınçlı gazlar oluşur; bu basınç, silindir içerisinde yer alan pistonu aşağı yönde iterek doğrusal bir hareket üretir. Pistonun oluşturduğu bu doğrusal hareket, biyel kolu aracılığıyla krank miline iletilir ve burada dairesel harekete dönüştürülür. Krank milinde üretilen dönme momenti sırasıyla volana, şanzımana ve daha sonra şaft ile aks sistemleri üzerinden tekerleklerle aktarılır. Bu mekanik güç aktarımı sayesinde aracın tekerlekleri döner ve araç ileri yönde hareket eder. Şekil 4.1'de tipik bir içten yanmalı motorun yapısal görünümü sunulmaktadır.



Şekil 4.1 İçten Yanmalı Motor [79]

4.1.1.1 Benzinli Motor

Benzinli motorlar, içten yanmalı motorlar sınıfında yer almakta olup genellikle yüksek performans ve hız arayışında olan kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. Bu motorlar, benzin yakıtının yanmasıyla ortaya çıkan enerjiyi mekanik enerjiye çevirerek çalışmaktadır. Yüksek devir kapasitesi ve hızlı ivmelenme, benzinli motorların başlıca avantajları arasında yer almaktadır.

Tarihsel süreçte otomotiv endüstrisinin temel yapı taşlarından biri olan benzinli motorlar, günümüzde hâlâ yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun temel nedenleri arasında, benzinin yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ve motorların geniş bir hız aralığında etkin çalışabilme kabiliyeti bulunmaktadır. Ayrıca, benzinli motorlar nispeten daha hafif yapıları ve düşük gürültü seviyeleri ile de öne çıkmaktadır. Ancak bu motorların dezavantajları arasında yüksek yakıt tüketimi ve karbondioksit (CO_2) emisyonları yer almaktadır. Bu durum, artan çevresel kaygılar ve yakıt maliyetleri nedeniyle kullanıcıların alternatif motor teknolojilerine yönelmesine neden olmaktadır [80]. Şekil 4.2’de Benzin Motor görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.2 Benzin Motoru [80]

4.1.1.2 Dizel Motor

Dizel motorlar, içten yanmalı motorlar sınıfında yer almakta olup yakıt olarak dizel (motorin) kullanılmaktadır. Bu motorlar, özellikle yüksek tork üretim kapasiteleri sayesinde ağır yük taşıma gereksinimi olan uygulamalarda ön plana çıkmaktadır. Yakıt tüketimi açısından

değerlendirildiğinde, benzinli motorlara kıyasla daha yüksek verimlilik sunmaları nedeniyle ticari araçlar ve uzun mesafe taşımacılığı yapan kamyonlar için ideal bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Dizel motorların yüksek tork üretmesi, özellikle ağır yüklerin taşınmasını kolaylaştırmakta ve işletme maliyetlerini azaltmaktadır. Bu verimlilik, dizel yakıtının sahip olduğu yüksek enerji yoğunluğu ve motorun yanma sürecinin daha etkili olmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte, dizel motorların bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Yüksek ilk yatırım maliyeti, motorun çalışması sırasında ortaya çıkan daha fazla gürültü ve azot oksitler (NO_x) ile partikül madde gibi karbondioksit dışı zararlı emisyonlar bu dezavantajlar arasında yer almaktadır.

Son yıllarda, dizel motorların çevre üzerindeki etkilerine yönelik artan toplumsal ve yasal farkındalık, bu motorların kullanımını sınırlamaya yönelik çeşitli düzenlemeleri beraberinde getirmiştir [80]. Şekil 4.3'te tipik bir dizel motor yapısı görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 4.3 Dizel Motor [80]

4.1.1.3 Doğal Gazlı (CNG) Motor

Sıkıştırılmış doğal gazlı (CNG) araçlar, kıvılcım ateşlemeli içten yanmalı motorlara sahip benzinli araçlara çok benzer şekilde çalışır. Motor, benzinli bir motorla aynı şekilde çalışır. Doğal gaz, genellikle aracın arkasında bulunan bir yakıt deposunda veya silindirde depolanır. CNG yakıt sistemi, yakıt deposundan gelen yüksek basınçlı gazı yakıt hatları boyunca aktarır; burada bir basınç regülatörü basıncı motor yakıt enjeksiyon sistemiyle uyumlu bir seviyeye düşürür. Son olarak, yakıt emme manifolduna veya yanma odasına verilir; burada hava ile karıştırılır ve ardından bir buji tarafından sıkıştırılır ve ateşlenir [81]. Şekil 4.4'de Doğalgaz Motoru görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.4 Doğal Gaz Motoru [81]

4.2. Dıştan Yanmalı Motor

Yakıtın, motor silindirlerinin dışında yer alan ayrı bir yanma haznesinde yakılmasıyla elde edilen ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren sistemler, dıştan yanmalı motorlar olarak adlandırılmaktadır. Bu motorlarda, yanma işlemi doğrudan silindir içinde değil, harici bir yanma odasında gerçekleştirilir. Elde edilen ısı enerjisi, genellikle suyun buharlaştırılması amacıyla kullanılır. Elde edilen su buharı kapalı bir haznede depolanarak yüksek basınca ulaşması sağlanır. Yüksek basınçlı buhar, silindir içerisine yönlendirilerek pistonu hareket ettirir. Pistonun doğrusal hareketi, krank mili aracılığıyla dönme hareketine çevrilerek mekanik enerji üretilmiş olur

4.3. Motorlu Taşıtlar ve Karbon Emisyonu

Türkiye’de motorlu taşıtlardan kaynaklanan karbon salımları, ulaşım sektörünün çevresel etkileri açısından dikkate değer bir paya sahiptir. 2021 yılı verileri incelendiğinde, ulaşım kaynaklı karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %94,8’inin karayolu taşımacılığına ait olduğu görülmektedir. 2022 yılında ise ülkenin toplam sera gazı emisyonu 558,3 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Bu miktarın %71,8’i enerji sektörüne, %12,8’i tarıma, %12,5’i sanayi kaynaklı işlemler ve ürün kullanımı süreçlerine, %2,9’u ise atık yönetimi faaliyetlerine atfedilmiştir.

Ulaşım alanında karayolları, emisyon yükünün büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu sebeple, karayolu taşımacılığından kaynaklanan sera gazı salımlarının azaltılması, Türkiye’nin genel emisyon azaltım politikalarında kilit bir konumda yer almaktadır. Türkiye’nin 2053 yılına kadar ulaşmayı hedeflediği net sıfır emisyon vizyonu çerçevesinde, elektrikli araç kullanımının yaygınlaştırılması, çevreci toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi ve alternatif yakıt seçeneklerinin teşvik edilmesi gibi çok boyutlu stratejilere ağırlık verilmektedir [82].

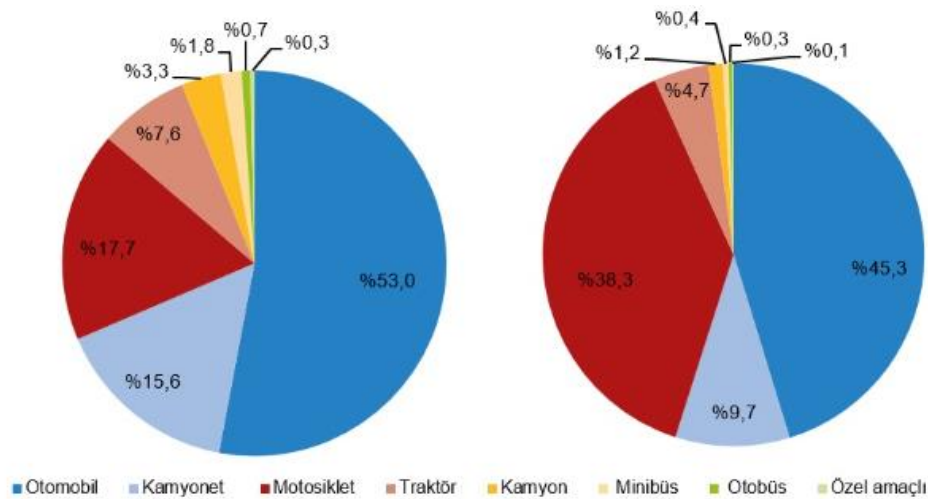
5. TÜRKİYE’DE MOTORLU VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN MEVCUT DURUMU

Ulaşım sektörü hem ekonomik kalkınma hem de çevresel etkiler açısından büyük öneme sahiptir. Türkiye’de artan nüfus, kentleşme ve bireysel ulaşım talepleri, motorlu taşıt sayısının her yıl artmasına neden olmaktadır. Bu artış, beraberinde yüksek yakıt tüketimi, hava kirliliği ve sera gazı emisyonları gibi çevresel sorunları da getirmektedir. Son yıllarda dünyada olduğu gibi Türkiye’de de çevre dostu ulaşım araçlarına olan ilgi oldukça artmıştır. Bu ilginin temelinde, iklim değişikliğiyle mücadele, enerji verimliliği sağlama ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma hedefleri yatmaktadır.

Bu çerçevede, elektrikli araçlar önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Düşük emisyon değerleri ve çevreci yapısıyla elektrikli araçlar, sürdürülebilir ulaşım politikalarının merkezinde yer almaya başlamıştır.

5.1. Motorlu Taşıt Sayısı ve Yakıt Türlerine Göre Sınıflandırılması

Trafiğe kayıtlı toplam taşıt sayısı 2025 Nisan ayı sonu itibarıyla 31 milyon 976 bin 478’dir. Nisan ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı taşıtların %51,8’ini otomobil, %20,3’ünü motosiklet, %14,9’unu kamyonet, %7,1’ini traktör, %3,2’sini kamyon, %1,7’sini minibüs, %0,7’sini otobüs ve %0,3’ünü özel amaçlı taşıtlar oluşturmuştur. Ayrıca Nisan ayında geçen yılın aynı ayına göre trafiğe kaydı yapılan taşıt sayısı minibüste %59,2, kamyonette %24,5, otomobilde %24,2, otobüste %17,7, özel amaçlı taşıtta %12,3, kamyonunda %6,8 artarken motosiklette %21,8 ve traktörde %17,6 azalmıştır [83]. Şekil 5.1’de Türkiye’de trafiğe kayıtlı ve kaydı yapılan araç sayısı, Tablo 5.1’de ise 2021-2025 yılları arası trafiğe kayıtlı araç sayısı verilmiştir.



Şekil 5.1 Türkiye’de trafiğe kayıtlı ve kaydı yapılan araç sayılarının dağılımı [83]

Tablo 5.1 2021-2025 Yılları Arası Trafığe Kayıtlı Araç Sayısı [83]

Yıl	Toplam	Otomobil	Minibüs	Otobüs
2021	25.249.119	13.706.065	484.806	208.882
2022	26.482.847	14.269.352	487.381	208.442
2023	28.740.492	15.221.134	502.628	210.740
2024	31.301.389	16.232.458	522.608	213.416
2025	31.976.478	16.580.427	528.890	214.768

TÜİK'in motorlu kara taşıtlarına ilişkin yayınladığı veriler, genellikle otomobillerin yakıt türü dağılımına odaklanmaktadır. Ancak otobüs ve minibüsler için yakıt türlerine dair detaylı yüzdeler bilgileri doğrudan sunulmamaktadır. Bu nedenle, mevcut veriler ve sektörel eğilimler doğrultusunda genel bir değerlendirme yapılabilir. Örneğin, Otokar gibi yerli üreticiler, dizel, doğalgazlı ve elektrikli otobüs modelleri sunarak bu dönüşüme katkı sağlamaktadır. Minibüs segmentinde dizel motorlar hâlen baskın durumdadır.

LPG'li minibüsler de özellikle şehir içi taşımacılıkta tercih edilmektedir. Elektrikli minibüslerin sayısı ise henüz çok sınırlıdır. Türkiye'de şehir içi ve şehirlerarası otobüslerin büyük çoğunluğu hâlen dizel motorlarla çalışmaktadır. Ancak çevresel kaygılar ve enerji maliyetleri nedeniyle belediyeler ve özel işletmeler, alternatif yakıtlı otobüslere yönelmektedir [84-85].

TBB'nin "Büyükşehir Belediyelerinde Toplu Ulaşım 2021" raporuna göre, büyükşehirlerdeki toplu ulaşımında otobüslerin önemli bir payı bulunmaktadır. Örneğin, İzmir Büyükşehir Belediyesi'nde 2021 yılı itibarıyla 132 adet elektrikli otobüs hizmet vermektedir. Bu, toplam otobüs sayısının küçük bir kısmını oluştursa da elektrikli otobüslerin sayısındaki artış, çevre dostu ulaşım politikalarının bir göstergesidir. EGO Genel Müdürlüğü'nün 2021 yılı faaliyet raporuna göre, Ankara'da %90'ı doğalgazlı (CNG) olmak üzere toplam 282 adet otobüs hizmet vermektedir. Bu, dizel otobüslere kıyasla daha çevreci bir yaklaşımı yansıtmaktadır [86].

Bu veriler ele alınarak verilen CNG ve elektrikli otobüs sayıları toplam sayıdan çıkarıldığında yakıt türlerine ait genel bir değerlendirme yapılabilir.

Minibüslerde genel bir dağılım yapıldığı takdirde dizel yaklaşık olarak %88, LPG yaklaşık olarak %10 ve elektrikli araçlar ise %1 civarındadır. Otobüslerde ise dizel yaklaşık olarak %95, LPG %2 ve benzinli ise %2 civarındadır. Tablo 5.2'de otobüs ve minibüslerin yakıt türüne göre yüzdeler dağılımları verilmiştir.

Tablo 5.2 Otobüs-Minibüs Yakıt Türüne Göre Yüzdelik Dağılımı

Araç Türü	Dizel%	LPG%	Benzin%	Elektrikli%
Otobüs	95	2	2	1
Minibüs	88	10	1	1

5.2. Türkiye’de Elektrikli Araç Durumu

Dünyada giderek hız kazanan “yeşil dönüşüm” süreci, Türkiye’deki otomobil tercihlerini de önemli ölçüde etkilemiştir. Fosil yakıtların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik politikalar, elektrikli araçlara olan talebin artmasına neden olmuştur. Bu dönüşümle birlikte Türkiye hem üretici hem de kullanıcı açısından daha güçlü bir konum elde etmeyi amaçlamaktadır.

Elektrikli araçlara yönelik ilginin Türkiye’deki gelişimine bakıldığında, 2015 yılında yalnızca 565 olan trafiğe kayıtlı elektrikli araç sayısı, 2019 yılında ilk kez 1.000’i aşmıştır. 2024 yılı sonunda bu sayı 183.776’ya ulaşmış, 2025 yılının ilk çeyreği itibarıyla ise 218.238’e yükselmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Mart 2025 itibarıyla trafikteki elektrikli araç sayısı geçen yılın aynı dönemine göre yaklaşık %120 oranında artış göstermiştir [87]. Tablo 5.3’te yıllara göre hibrit ve elektrikli araç sayıları verilmiştir.

Tablo 5.3 Hibrit ve Elektrikli Araç Sayısı

Yıl	Hibrit	Elektrikli
2024	391296	183776
2025	465427	218238

6. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasının temel amacı, son yıllarda giderek artan hava kirliliğiyle ve CO₂ emisyonlarıyla günlük hayatımızın bir parçası olan yoğun araç trafiğinin yakından ilgisi olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, dizel/benzinli/LPG yakıtlı motorlu taşıtların yerini elektrikli araçların alması durumunda karbon emisyonu bakımından analiz gerçekleştirilecektir. Yapılacak olan analizde, Türkiye'deki toplu taşıma araçlarının yakıt tiplerine göre emisyon miktarları hesaplanarak elektrikli araç değişimi ile toplu taşımada önümüzdeki yıllarda meydana gelebilecek emisyon durumu irdelenecektir. Ulaştırma için kullanılan içten yanmalı motorlar küresel ısınmaya neden olan karbon emisyonlarının en büyük sebeplerinden biridir.

Toplam emisyonların büyük bir kısmını içten yanmalı benzin, dizel gibi fosil bazlı yakıtlar kullanan araçlar oluşturmaktadır. Aynı zamanda bilhassa şehirleşmenin yaygın olduğu bölgelerde hava kalitesi de bu durumdan ciddi bir biçimde olumsuz etkilenmektedir.

Elektrikli araçların sunduğu en büyük avantajlardan bir tanesi fosil yakıtlara göre daha düşük maliyetlerle yürütülebilmeleridir. İçten yanmalı motorlarda enerjinin bir kısmı ısıya dönüşerek kullanılmaz hale gelirken elektrikli araçlarda frene basıldığında dahi enerji geri dönüşümü sağlanarak kayıpların önüne geçilmektedir. Tüm bunlarla birlikte küresel ısınmaya karşı olumlu katkısı ise en dikkate değer avantajıdır.

Elektrikli araçların tam anlamıyla sıfır emisyonlu olarak değerlendirilmesi mümkün değildir. Egzoz gazı dikkate alındığında içten yanmalı motorlara sahip araçlar gibi karbon salınımı yapmadıkları aşıkardır. Diğer yandan sadece egzoz emisyonlarına bakarak değerlendirme yapmak doğru değildir zira şarj için kullanılan elektriğin kaynağı ve araçların üretim süreçlerinde kullanılan karbon bazlı yakıtlar çevreye verilen zararda oldukça etkilidir.

Yapılacak olan çalışmada, toplu taşıma araçlarının meydana getirdiği karbon emisyon miktarını hesaplayıp elektrikli araçlara geçildiği takdirde çevreye saldıgı emisyon miktarının uzun vadede meydana gelen karbon emisyon miktarındaki değişimi kıyaslanacaktır. Motorlu taşıtların CO₂ emisyon miktarının hesabı Tier 2 yaklaşımı ile hesaplanacaktır.

6.1. Emisyon Hesabı Tier 2 Yaklaşımı

Bu yöntemde, taşıtların katettiği mesafe temel alınarak emisyon hesaplamaları gerçekleştirilir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha ayrıntılı bir yaklaşım sunan bu model, veri gereksinimi

açısından daha yoğun olmakla birlikte, özellikle karbondioksit (CO₂) dışındaki sera gazlarının tahmininde daha yüksek doğruluk sağlamaktadır [88].

Tier 2 yaklaşımında kullanılan yakıtlar, türlerine göre sınıflandırılır ve her bir grup için uygun emisyon faktörleri belirlenerek hesaplamalar yapılır. Bu yaklaşım, beş temel adımdan oluşan sistematik bir hesaplama sürecine dayanır:

Taşıt Sınıflandırması: İlk adımda taşıtlar; türlerine, kullandıkları yakıt tipine ve sahip oldukları emisyon kontrol teknolojisine göre kategorize edilir.

Emisyon Faktörlerinin Belirlenmesi: Belirli taşıt türü, yakıt türü, emisyon kontrol düzeyi ve hedeflenen emisyon tipi doğrultusunda uygun emisyon faktörü seçilir.

Taşıt Aktivitesinin Belirlenmesi: Taşıtların kullanım verisi, yani yolculuk uzunluğu veya faaliyet düzeyi belirlenir.

Emisyon Miktarının Hesaplanması: Taşıt sayısı, kat edilen mesafe ve emisyon faktörü çarpılarak ilgili gaz için emisyon miktarı hesaplanır.

Toplam Emisyonun Belirlenmesi: Aynı gaz için farklı taşıt gruplarından elde edilen emisyon miktarları birleştirilerek toplam emisyon değeri elde edilir. Bu yöntemle ait matematiksel ifade Denklem 6.1’de verilmiştir [89].

$$\sum \text{Emisyon} = \sum [\text{Aktivite}_{abc} \times \text{EF}_{abc}] \quad (6.1)$$

(Emisyon miktarı: (g), Aktivite, tüketilen enerji miktarı veya verilen mobil kaynağın kat ettiği yol uzunluğu: (km), EF (Emisyon faktörü): (g/km), a: Yakıt tipi (dizel, benzin, LPG vb.), b: Araç tipi (özel otomobil, hafif dizel, ağır dizel vb.), c: Emisyon kontrol teknolojisi (kontrolsüz, 15.04, Euro I, Euro III vb.) Tier 2 hesaplamaları kapsamında Türkiye geneli araç sayıları TÜİK verilerinden alınmış olup Tablo 6.1’de gösterilmiştir [89].

Tablo 6.1 Yakıt Türlerine Göre Yıllık Araç Sayısı [89]

Yıl	Otobüs/ Dizel	Otobüs/Benzin	Otobüs/LPG	Minibüs/Dizel	Minibüs/ Benzin	Minibüs/LPG
2022	198020	2084	4169	424820	4879	48738
2023	195990	4215	6322	437287	5026	50263
2024	198487	4268	6402	454669	5226	52261
2025	199734	4295	6443	460344	5289	52889

Araç sayıları elde edildikten sonra, her araç grubunun 100 km’deki yakıt tüketim miktarları belirlenir. Bunun için IPCC Kılavuzunda yer alan araç gruplarından seçim yapılmaktadır [90]. Ayrıca fabrika üretim verileri ve kullanıcı deneyimlerinden de yararlanılmıştır. Tablo 6.2’de araçların 100 km’de yakıt tüketim miktarı verilmiştir.

Tablo 6.2 Her araç grubunun 100 km’deki yakıt tüketim miktarları (litre) [90]

Yıl	Dizel Otobüs	Benzinli Otobüs	LPG Otobüs	Dizel Minibüs	Benzinli Minibüs	LPG Minibüs
2022	30	25	22	12	13	14
2023	30	25	22	12	13	14
2024	30	25	22	12	13	14
2025	30	25	22	12	13	14

Araçların 100 km’deki yakıt tüketimleri belirlendikten sonra, araç gruplarının bir yılda gittiği mesafenin belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerle ise 2022-2023 TÜİK verilerinden yıllık bazda alınarak yakıt türüne göre araç başına düşen yıllık kilometre hesaplanmıştır [91]. Tablo 6.3’te 2022 yılı minibüs ve otobüs taşıt kilometreleri verilmiştir.

Tablo 6.3 2022 Yılı Minibüs Otobüs Taşıt Kilometresi [91]

Taşıt Türü	Toplam Taşıt Sayısı	Taşıt-km (milyon)
Minibüs	487381	13 760
Otobüs	208442	11 011

Otobüs ve Minibüslerin yıllık bazda taşıt kilometreleri belirlendikten sonra benzin, dizel ve LPG kullanımına göre gruplandırma yapılması gerekmektedir. Daha önce elde ettiğimiz verilerden yola çıkarak toplam taşıt sayısından ortalama benzin, dizel ve LPG kategorilerine göre yüzdeleri alınıp taşıt kilometreleri hesaplanmıştır. Tablo 6.4’te araçların yakıt türlerine göre kilometre dağılımları, Tablo 6.5 ve 6.6’de ise dönüşüm ve emisyon faktörleri verilmiştir.

Tablo 6.4 Araçların Yakıt Türlerine Göre 2022 Yılı Kilometre Dağılımı

Taşıt Türü	Dizel (milyon)	Benzin (milyon)	LPG (milyon)
Minibüs	11 490	130	1 310
Otobüs	10 460	110	220

Tablo 6.5 Yakıt türlerine ait dönüşüm faktörleri [92]

Dönüşüm Faktörü (TJ/Gg) (Eşdeğer CO₂ hesabı)	Yakıt Türü	Dönüşüm faktörü (TJ/kt) (Toplam CO₂ hesabı)
44.3	Benzin	44.8
43	Dizel	43.33
47.3	LPG	47.31

Tablo 6.6 Yakıt türlerinin CO₂ emisyon faktörleri [92]

Yakıt Türü	Emisyon Faktörü (kgCO₂ /TJ)	Emisyon Faktörü (tC/TJ)
Benzin	69300	18.9
Dizel (Motorin)	74100	20.2
LPG	63100	17.2

Karayolu taşımacılığı kaynaklı sera gazı emisyonlarının belirlenmesi amacıyla, 2022 yılına ait dizel ve benzinli otobüslerden kaynaklanan karbon dioksit (CO₂) emisyonları aşağıda hesaplanmıştır. Hesaplamalar, IPCC'nin standart metodolojilerine dayalı olarak, yakıt tüketimi verileri ve belirli dönüşüm katsayıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, yakıt tüketimi verileri ton cinsinden alınarak, bu verilerden enerji tüketim değeri hesaplanmıştır. Bu işlem, Denklem 6.2'de gösterildiği gibi, yakıt tüketimi ile dönüşüm faktörünün çarpılması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Dönüşüm faktörü, kullanılan yakıtın birim başına sağladığı enerji miktarını temsil etmektedir (TJ/kt).

Elde edilen enerji tüketimi değeri, Denklem 6.3'te tanımlandığı şekilde, karbon emisyon faktörü ile çarpılarak toplam karbon içeriği (ton C) hesaplanmıştır. Bu değer, daha sonra Denklem 6.4 kullanılarak bin ile bölünerek gigagram karbon (GgC) birimine dönüştürülmüştür. Karbon içeriği, yalnızca yakıtta bulunan karbonu temsil ettiğinden, bunun tamamının atmosfere emisyon olarak geçmediği varsayılmıştır. Bu nedenle, karbon oksitlenme oranı (çoğu fosil yakıt için yaklaşık 0,99) ile çarpılarak gerçek karbon emisyonu elde edilmiştir (Denklem 6.5). Son olarak, bu karbon emisyonu değeri, karbonun CO₂'ye dönüşüm katsayısı olan (44/12) oranı ile çarpılarak toplam CO₂ emisyonu Denklem 6.6 ile hesaplanmıştır [89].

Uygulama örneği olarak, 2022 yılına ait dizel yakıtlı otobüslerin yıllık yakıt tüketim miktarı 2.634.679 ton olarak alınmıştır. Emisyon faktörüne karşılık gelen enerji tüketimi, 43.33 TJ/kt dönüşüm faktörü kullanılarak 114.112,3 TJ olarak hesaplanmıştır. Dizel için karbon emisyon

faktörü 20,2 tC/TJ olarak alındığında, toplam karbon içeriği 2.305.069,46 ton C'ye ulaşmaktadır. Bu değer gigagram birimine çevrildiğinde 2.305,07 GgC elde edilir. Oksitlenme oranı 0,99 dikkate alındığında, gerçek karbon emisyonu 2.282,02 GgC olarak bulunmuştur. Bu değer, CO₂ eşdeğerine dönüştürüldüğünde yaklaşık 8.370,02 GgCO₂ emisyon üretildiği görülmektedir.

Benzer şekilde, benzinli otobüslerin 2022 yılı için yıllık yakıt tüketimi 20.366,22 ton olarak belirlenmiştir. 44,8 TJ/kt dönüşüm katsayısı ile hesaplanan enerji tüketimi 912,44 TJ'dir. Benzin için karbon emisyon faktörü 18,9 tC/TJ olarak kullanıldığında, toplam karbon içeriği 17.248,12 ton C, yani 17,25 GgC olarak hesaplanmıştır. Karbon oksitlenme oranı dikkate alındığında 17,08 GgC gerçek karbon emisyonu elde edilmiş; bu da yaklaşık 62,61 GgCO₂ emisyonuna karşılık gelmektedir. Bu hesaplamalar sayesinde farklı yakıt türlerinin karayolu taşımacılığı kaynaklı sera gazı emisyonlarına etkisi ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmuştur.

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/kt]} \quad (6.2)$$

$$\text{Karbon İçeriği [t C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [tC/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ]} \quad (6.3)$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg C]} = \text{Karbon İçeriği [tC]} \times 10^{-3} \quad (6.4)$$

$$\text{Karbon Emisyonu [Gg C]} = \text{Karbon İçeriği [Gg C]} \times \text{Karbon Oksitlenme Oranı} \quad (6.5)$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu [GgCO}_2\text{]} = \text{Karbon Emisyonu [GgC]} \times (44/12) \quad (6.6)$$

$$\text{Dizel Otobüs Yakıt Tüketimi 2022} = 2.634.679 \text{ t}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 43.33 \text{ TJ/ kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 2.634.679 \text{ t} \times 43.33 = 114.112,3 \text{ TJ}$$

$$\text{Motorin Karbon Emisyon Faktörü} = 20.2 \text{ TC /TJ}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = 114.112,3 \times 20.2 = 2.305.069,46 \text{ TC}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = 2.305.069,46 \times 10^{-3} = 2.305.07 \text{ GgC}$$

$$\text{Motorin Karbon Oksitlenme Oranı} = 0.99$$

$$\text{Gerçek Karbon Emisyonu} = 2.305.07 \times 0.99 = 2.282,02 \text{ GgC}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu} = 2.282,02 \text{ GgC} \times 44/12 = 8.370,02 \text{ GgCO}_2$$

Yine elde edilen veriler kapsamında örnek olarak 2022 yılı benzin yakıtlı otobüslerden açığa çıkan CO₂ emisyon değeri hesaplanmıştır.

$$\text{Otobüs Yakıt Tüketimi Benzin 2022} = 20.366,22 \text{ t}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44.8 \text{ TJ/ kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 20.366,22 \times 44.8 = 912, 443 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin Karbon Emisyon Faktörü} = 18.9 \text{ TC /TJ}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = 912, 443 \text{ TJ} \times 18.9 = 17.248,12 \text{ TC}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = 17.248,12 \times 10^{-3} = 17,2481 \text{ GgC}$$

$$\text{Motorin Karbon Oksitlenme Oranı} = 0.99$$

Gerçek Karbon Emisyonu = $17,2481 \text{ GgC} \times 0.99 = 17,07552 \text{ GgC}$

CO₂ Emisyonu = $17,07552 \times 44/12 = 62,613 \text{ GgCO}_2$

Tüm araç türleri yakıt cinsine göre sınıflandırılıp karbon emisyon miktarları 2022 yılı için ayrı ayrı hesaplanıp bu doğrultuda elde edilen veriler Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7 2022 Yılı Araçların Karbon Emisyon Miktarları (GgC)

Taşıt Türü	Dizel	Benzin	LPG
Minibüs	3.683,26	35,58	292,43
Otobüs	8.370,41	62,613	77,276

2022 yılında minibüs ve otobüsler baz alındığında havaya salınan toplam CO₂ emisyon miktarı toplamda 12.521,57 GgC dur. Her yıl toplu taşıma araç sayısındaki artış ulaşım talebinin artmasına paralel olarak toplam katedilen mesafeyi de arttırmaktadır. Buda daha fazla emisyon artışına sebep olmaktadır.

6.2. Elektrikli Araçlara Dönüşümü ve Emisyon Hesabı

Batarya üretimi, elektrikli araçların üretim aşamasındaki en büyük karbon emisyon kaynağıdır. Araştırmalar, elektrikli araç üretiminin, özellikle batarya üretimi nedeniyle, fosil yakıtlı araçlara göre yaklaşık %60 daha fazla karbon emisyonuna neden olduğunu göstermektedir. Ancak, bu "karbon borcu" genellikle aracın kullanımının ilk iki yılında telafi edilir [93].

Elektrikli araçlar, sürüş sırasında doğrudan karbon emisyonu yaymazlar. Ancak, şarj için kullanılan elektriğin üretim kaynağına bağlı olarak dolaylı emisyonlar oluşur. Türkiye’de, elektrik üretiminin ortalama karbon yoğunluğu yaklaşık 0,396 kg CO₂/kWh’dir [94].

Elektrikli araçlarda elektriğin ağırlıklı emisyon yoğunlukları üretim denklemleri, Denklem 6.7’de yenilenebilir (Cl_m) ve Denklem 6.8’de yenilenemez (Cl_{nr}) kaynaklar için ayrı ayrı verilmiştir.

$$Cl_{rn} = \sum(E_{rni} \times C_{rni}) / \sum(E_{rni}) \quad (6.7)$$

$$Cl_{nr} = \sum(E_{rni} \times C_{nr}) / \sum(E_{rni}) \quad (6.8)$$

Burada (E_{rm}) yenilenebilir kaynak türü (GWh) bazında elektrik üretimini belirtir, (C_m) ise sera gazıdır. Elektrikli araç için araç tüketim emisyon değeri hesabı ise Denklem 6.9 ve 6.10’da verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$E_{TTW} = Cl \times VC \times 1 \text{ kWh}/1000\text{Wh} \quad (6.9)$$

$$E_{WTW} = Cl \times RC \times 1\text{kWh}/ 1000\text{Wh} \quad (6.10)$$

VC araç tüketimini (Wh/km), RC ise nominal tüketimi (Wh/km) göstermektedir. Cl ise yıllık elektrik tüketimi için bulunduğundan doğrudan Denklemden kullanılır [95].

Bu çalışmada, elektrikli otobüs ve minibüslerin 2023 yılı içinde neden olacağı karbon dioksit (CO₂) emisyon miktarı, elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının emisyon faktörleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine dayalı olarak, 2023 yılı itibarıyla karayolu ulaşımında faaliyet gösteren tüm otobüs ve minibüslerin toplamda yaklaşık 24 milyar kilometre yol katettiği kabul edilmiştir. Bu değer, elektrikli taşıtların enerji talebini ve dolayısıyla şebeke üzerinden kaynaklanan dolaylı emisyonları değerlendirmek için temel veri olarak kullanılmıştır.

Elektrikli otobüs ve minibüsler için ortalama enerji tüketim değeri 0,6 kWh/km olarak alınmıştır. Bu ortalama değer, literatürde yer alan çeşitli teknik raporlar ve saha çalışmaları doğrultusunda belirlenmiş olup hem şehir içi hem de şehirler arası kullanım koşullarını kapsayacak şekilde genellenmiştir.

Elektrik üretiminin kaynak dağılımı dikkate alındığında; Türkiye'nin elektrik üretiminin %42,5'i yenilenebilir enerji kaynaklarından, %36,5'i kömürden ve %21'i doğalgazdan karşılanmaktadır. Her bir enerji kaynağına ait emisyon faktörleri sırasıyla 0.02 kgCO₂/kWh (yenilenebilir), 0.95 kgCO₂/kWh (kömür) ve 0.45 kgCO₂/kWh (doğalgaz) olarak alınmıştır [96-97]. Burada yenilenebilir enerji kaynaklarının emisyon değerlerinin sıfıra oldukça yakın olması nedeniyle hesaplama pratikliği açısından bu grup sabit 0.02 kgCO₂/kWh değeriyle temsil edilmiştir. Böylece fosil kaynakların sistem üzerindeki emisyon baskısı daha net biçimde analiz edilebilmiştir.

Toplam elektrik üretiminden kaynaklı ortalama karbon yoğunluğu (kgCO₂/kWh) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$Cl \text{ (Karbon Yoğunluğu)} = (0.425 \times 0.02) + (0.365 \times 0.95) + (0.21 \times 0.45) = 0.44975 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$$

Bu değer, şebeke verimliliği de dikkate alınarak elektrik tüketimine dönüştürülmesi gereklidir. Türkiye'de elektrik üretim, iletim ve dağıtım süreçlerinde ortalama sistem verimliliği yaklaşık %90 (0.9) olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, karbon yoğunluğu net tüketim üzerinden yenilenerek şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Tüketim Bazlı Emisyon Faktörü} = 0.44975 / 0.9 = 0.499 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$$

Bu veriler doğrultusunda, elektrikli araçların ortalama enerji tüketimi (0.6 kWh/km) ve toplam yıllık kat ettikleri mesafe (24.080×10^6 km) dikkate alınarak toplam karbon emisyonu aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Toplam Emisyon} = 24.080 \times 10^6 \text{ km} \times 0.6 \text{ kWh/km} \times 0.499 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 7.209,55 \text{ GgCO}_2$$

Sonuç olarak, 2023 yılında elektrikli otobüs ve minibüs filosunun toplam karbon emisyonu yaklaşık 7,2 milyon ton CO₂ (7.209,55 GgCO₂) olarak tahmin edilmiştir. Bu hesaplama, enerji altyapısının mevcut karbon yoğunluğu çerçevesinde elektrikli araçların çevresel etkilerini değerlendirme açısından önemli bir gösterge niteliğindedir. Ayrıca, elektrifikasyonun karbon avantajının artırılması için şebeke karbonsuzlaştırmasının stratejik bir öncelik olduğu da bu analizle ortaya konulmuştur.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye’de karayolu ulaşımının önemli bir bölümünü oluşturan minibüs ve otobüsler, yıllık yakıt tüketimleri ve yüksek kullanım oranları nedeniyle sera gazı emisyonlarının kayda değer bir kısmını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, fosil yakıtle çalışan içten yanmalı motorlu araçların neden olduğu karbon emisyonları, çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Son yıllarda elektrikli araç teknolojilerindeki gelişmeler ve enerji altyapısındaki dönüşüm çabaları, bu sektörde önemli bir dönüşümü ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada, Türkiye genelinde hizmet veren toplu taşıma araçlarının yani minibüs ve otobüs filosunun tamamının elektrikli araçlara dönüştürülmesi durumunda karbon emisyonlarında meydana gelecek değişim, teknik veriler ve hesaplama formülleri ile analiz edilmiştir. Elektrikli araçların farklı enerji senaryoları altında ne ölçüde avantaj sağladığı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir ve özellikle iletim kayıpları ve şebekenin enerji üretim yapısı gibi detaylar dikkate alınarak sistem bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır.

Bu bölümde, elde edilen bulgular detaylı şekilde sunulmakta ve sonuçların mevcut durumla kıyaslaması yapılarak, Türkiye’deki ulaşım sektörünün elektrikli dönüşüm yolunda sağlayabileceği çevresel kazanımlar tartışılmaktadır.

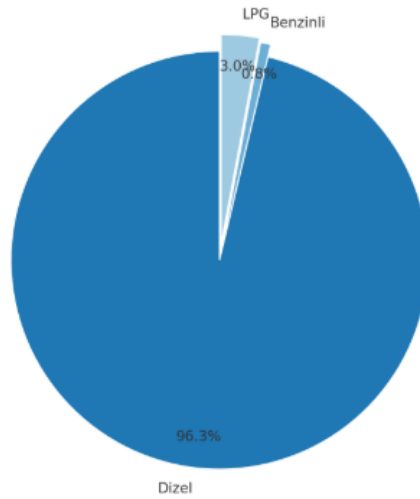
7.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçların Analizi

Türkiye’de şehir içi ulaşımın temel taşıyıcı unsurlarından olan minibüs ve otobüsler, 2022 yılı itibarıyla toplamda 695.823 adetlik bir araç filosuyla faaliyet göstermektedir. Bu filonun 487.381’i minibüs, 208.442’si ise otobüs kategorisindedir. Ulaştırma sektörü genelindeki karbon ayak izinin önemli bir kısmını oluşturan bu iki taşıt türü, sadece taşıma kapasiteleriyle değil, yakıt türlerine göre değişen karbon salım seviyeleriyle de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Verilere göre, minibüs filosu bir yılda 13.076.000.000 kilometre, otobüs filosu ise 11.010.000.000 kilometre yol kat etmektedir. Bu toplamda yaklaşık 24 milyar kilometrelik devasa bir yolculuk hacmi demektir. Bu hacmin ne denli büyük bir karbon salınımına neden olduğu ise yakıt türüne ve taşıt türüne göre yapılan ayrıntılı emisyon analizleriyle ortaya konmuştur. Otobüs filosu içerisinde 198.020 araç dizel, 2.084 araç benzinli ve 4.169 araç LPG’li motor teknolojisine sahiptir. Yapılan yıllık emisyon hesaplamalarına göre: Dizel otobüsler, toplamda 8.370,41 GgCO₂ salınımıyla yalnızca otobüs sınıfında değil, tüm toplu taşıma sisteminde en yüksek emisyonu sahip alt kategori olmuştur. LPG’li otobüsler, dizel yakıta göre daha düşük salınım yapmasına rağmen, 77,27 GgCO₂ ile yine kayda değer bir emisyon yaratmaktadır.

Benzinli otobüsler ise toplam 62,61 GgCO₂ emisyon değeri ile sayıca az olmalarına rağmen önemli bir etki yaratmaktadır. Otobüsler toplamda 8.510 GgCO₂’nin üzerinde bir emisyonu neden olmakta,

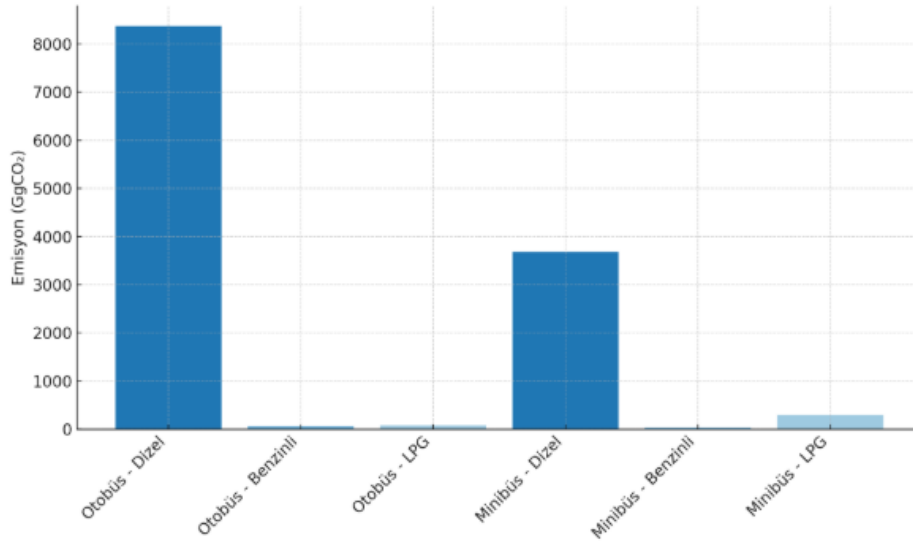
bu da tüm sistemin yaklaşık %68'lik emisyon yükü anlamına gelmektedir. Yine yıllık emisyon hesaplarına göre: Dizel minibüsler, toplamda 3.683,26 GgCO₂ ile minibüs sınıfında başı çekmektedir. LPG'li minibüsler ise 292,43 GgCO₂ salımı ile dikkat çekici bir seviyededir. Benzinli minibüslerin toplam emisyonu ise 35,58 GgCO₂ olarak hesaplanmıştır. Minibüslerin toplam emisyonu yaklaşık 4.011 GgCO₂ olup, tüm sistemin %32'sine yakın bir kısmını oluşturmaktadır. Toplam olarak bakıldığı zaman toplu taşıma araçlarının yılda ürettiği CO₂ emisyonu 12.521,57 GgCO₂ seviyesindedir.

Şekil 7.1'de, toplam emisyonun dizel, benzinli ve LPG'li araçlar arasında nasıl paylaşıldığı gösterilmektedir. Bu dağılımda özellikle dizel yakıtlı taşıtların baskınlığı dikkat çekicidir. Minibüs ve otobüslerde kullanılan dizel motorların toplam emisyonun yaklaşık %96'sını oluşturduğu görülmektedir. Buna karşın benzinli ve LPG'li taşıtlar emisyon açısından çok daha sınırlı etkiye sahiptir.



Şekil 7.1 Yakıt türüne göre toplam emisyon

Şekil 7.2'de ise emisyon değerlerini hem taşıt türü hem de yakıt türü ayrımıyla birlikte verilmiştir. Özellikle dizel otobüslerin sistem içindeki en yüksek emisyonla sahip araç grubu olduğu açıkça gözlemlenmektedir. Dizel minibüsler de yüksek emisyon üretmesine karşın, taşıma kapasitesi ve motor gücü açısından dizel otobüslere göre çok daha düşük bir etki yaratmaktadır. Şekil ayrıca benzinli ve LPG'li taşıtların, toplam sistem emisyonuna katkısının oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 7.2 Otobüs ve minibüs bazında emisyon değerlendirmesi

Bu iki grafik birlikte değerlendirildiğinde, mevcut toplu taşıma sisteminde dizel yakıtın çevresel etkisinin ne denli yoğun olduğu ve elektrikli dönüşümün öncelikli olarak bu segmentte odaklanması gerektiği net bir şekilde anlaşılmaktadır.

7.2. Elektrikli Araçların Analizi

Türkiye şehir içi ulaşım sisteminde yer alan minibüs ve otobüslerin tamamının elektrikli araçlara dönüştürülmesi durumunda ortaya çıkacak yıllık karbon emisyonu hesaplanmıştır. Önceki bölümlerde belirtildiği üzere, 2022 yılı itibarıyla şehir içi kullanımda olan 487.381 minibüs ve 208.442 otobüs, birlikte yılda yaklaşık 24 milyar km yol kat etmektedir.

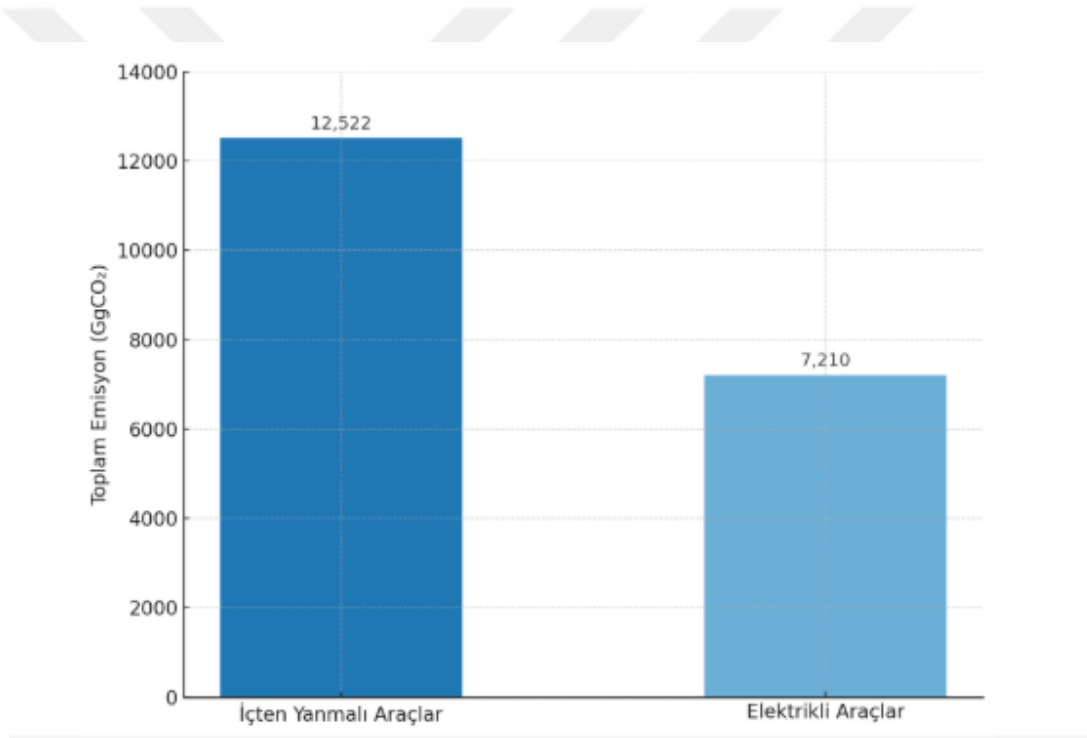
Bu veriler esas alınarak yapılan hesaplamada, elektrikli araçların ortalama 0.6 kWh/km enerji tükettiği varsayılmış ve şebeke elektriğinin karbon yoğunluğu dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, sistemin tamamen elektrikli araçlardan oluştuğu bir senaryoda yıllık toplam CO₂ emisyonu: 7209,55 GgCO₂ olarak bulunmuştur. Bu değer, içten yanmalı mevcut taşıt filosunun yarattığı 12.521,57 GgCO₂'lik yıllık emisyonla karşılaştırıldığında, yaklaşık %42,4 oranında bir azalma anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle, sadece minibüs ve otobüslerin elektrifikasyonu sayesinde Türkiye ulaşım kaynaklı karbon salınımında yaklaşık 5312 GgCO₂'lik bir azalma sağlanabilecektir.

Yapılan bu emisyon azaltımı, çevresel açıdan önemli bir kazanımı da beraberinde getirmektedir. Çünkü bir adet yetişkin ağacın yılda ortalama 21 kg CO₂ absorbe edebildiği kabul edildiğinde, 5312 GgCO₂ (5.312.000.000 kg CO₂) değerindeki azalma, yaklaşık olarak 252 milyon ağacın yıllık karbon tutma kapasitesine eşdeğerdir. Bu dönüşüm sayesinde yaklaşık 252 milyon ağaç kesilmekten kurtarılmıştır.

Bu sonuç, elektrikli araç dönüşümünün yalnızca enerji verimliliği değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da büyük bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Elektrikli araç dönüşüm senaryosu, sadece teknolojik bir tercih değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından zorunlu bir strateji olarak karşımıza çıkmaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlar özellikle dizel yakıtın yoğun kullanımı sebebiyle yüksek oranda emisyonu neden olmaktadır. Buna karşın elektrikli araçlar, üretim kaynaklarının karbonsuzlaştırılmasıyla birlikte zaman içinde daha da düşük emisyon profili sunma potansiyeline sahiptir.

Şekil 7.3'te içten yanmalı ve elektrikli araçların yıllık emisyon miktarı da net şekilde görülmektedir.



Şekil 7.3 Yıllık Toplam Emisyon Karşılaştırması (GgCO₂)

Özellikle şehir içi ulaşım sisteminde kullanılan minibüs ve otobüslerin içten yanmalı motorlardan tamamen elektrikli araçlara dönüştürülmesi durumunda oluşacak yıllık karbon emisyonu farkı açık biçimde görülmektedir. İçten yanmalı taşıtlar yaklaşık 12.521,57 GgCO₂, elektrikli taşıtlar ise yalnızca 7.209,55 GgCO₂ emisyon üretmektedir. Bu dönüşümle birlikte sağlanacak %42,4 oranındaki azalma, ulaştırma kaynaklı emisyonların düşürülmesinde elektrikli araçların oynayacağı kilit rolü ortaya koymaktadır.

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, şehir içi toplu taşımada kullanılan minibüs ve otobüslerin neden olduğu karbon emisyonlarının yüksek seviyelerde olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle dizel yakıtlı araçların, hem yaygınlıkları hem de yüksek emisyon faktörleri nedeniyle sistemin en büyük çevresel yükünü oluşturduğu belirlenmiştir. Buna karşın, benzinli ve LPG’li araçların toplam emisyon üzerindeki etkisi sınırlı kalmıştır. Bu durum, dönüşüm sürecinde öncelikli olarak hangi araç gruplarına odaklanılması gerektiğini göstermesi açısından önemlidir.

Taşıt türleri karşılaştırıldığında, otobüslerin daha az sayıda olmasına rağmen minibüslere kıyasla daha fazla emisyon salınımı gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Bu farkın, otobüslerin motor hacmi, taşıma kapasitesi ve yakıt tüketim özelliklerinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Elde edilen grafiklerle bu farklar daha net bir şekilde ortaya konulmuş ve görsel analiz ile sayısal veriler ile desteklenmiştir. Alternatif bir senaryo olarak incelenen elektrikli araç dönüşümünde ise yıllık toplam karbon emisyonunun ciddi oranda azaldığı hesaplanmıştır. Mevcut sistemle kıyaslandığında, elektrikli taşıt kullanımının emisyonları anlamlı bir düzeyde düşürdüğü ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir yapı sunduğu görülmüştür. Ancak bu fark yalnızca taşıt teknolojisinden değil; enerji üretim biçimi, şebeke verimliliği ve altyapı yeterliliği gibi pek çok unsurdan da etkilenmektedir.

Genel olarak elde edilen bulgular hem mevcut sistemin çevresel açıdan zayıf yönlerini ortaya koymuş hem de gelecekte uygulanabilecek dönüşüm politikalarının hangi alanlara yönelmesi gerektiğine dair ön bilgi sunmuştur. Yapılan analizler, şehir içi ulaşırmada çevresel etkilerin azaltılması için elektrikli araç dönüşümünün somut bir fırsat olduğunu göstermektedir.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye’de şehir içi toplu taşımada kullanılan toplu taşıma araçlarının içten yanmalı motorlardan kaynaklanan karbon emisyonları analiz edilmiş, ardından tüm taşıt filosunun elektrikli araçlara dönüştürülmesi senaryosu değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

1. 2022 yılı verilerine göre Türkiye’de şehir içi ulaşımında kullanılan toplam 695.823 adet minibüs ve otobüs, yılda yaklaşık 24 milyar km yol kat etmektedir. Bu taşıt filosunun tamamı içten yanmalı motorlara sahiptir.
2. Yapılan analizler sonucunda, toplu taşıma araçlarının karbon emisyonlarının büyük ölçüde dizel yakıt kullanımından kaynaklandığı belirlenmiştir. Özellikle dizel otobüsler 8.370,41 GgCO₂ ile toplam emisyonların %66’sını oluştururken, dizel minibüsler 3.683,26 GgCO₂ ile %29’luk paya sahiptir. Bu iki araç türü bir arada değerlendirildiğinde, dizel kaynaklı toplam emisyon oranı yaklaşık %96,27’ye ulaşmaktadır. Buna karşılık, benzinli ve LPG’li otobüs ve minibüslerin emisyon katkısı oldukça sınırlı kalmaktadır (toplamda yaklaşık %3,7).
3. Mevcut sistemdeki yakıt türü dağılımında dizel araçlar %95’in üzerinde bir orana sahip olup, karbon emisyonunun neredeyse tamamına yakınıni oluşturmaktadır. Benzinli ve LPG’li araçların toplam emisyon içindeki payı oldukça düşüktür.
4. İçten yanmalı araçların neden olduğu toplam yıllık emisyon değeri 12.521,57 GgCO₂ olarak hesaplanmıştır. En yüksek katkı, dizel otobüslerden gelmektedir.
5. Yapılan karşılaştırmalı analizlerde, otobüslerin toplam sayılarının minibüslerden daha az olmasına rağmen, motor gücü ve yakıt tüketimi nedeniyle daha yüksek oranda emisyon ürettikleri tespit edilmiştir.
6. Elektrikli araçlara geçiş senaryosunda, yıllık toplam karbon emisyonunun 7.209,55 GgCO₂’ye düştüğü görülmüştür. Bu senaryo ile mevcut sistem arasında yaklaşık %42 oranında bir emisyon azalışı elde edilmiştir. Bu miktar, yaklaşık 252 milyon ağacın bir yılda emebileceği karbonu temsil etmektedir. Bu dönüşüm sayesinde yaklaşık 252 milyon ağaç kesilmekten kurtarılmıştır.
7. Yapılan grafik analizleriyle, taşıt türüne ve yakıt cinsine göre emisyon dağılımları net bir şekilde görselleştirilmiş; emisyon yükünün dizel araçlarda yoğunlaştığı açık biçimde görülmüştür.
8. Toplam emisyonların yaklaşık %71’i otobüslerden, %29’u minibüslerden kaynaklanmaktadır. Bu durum, şehir içi yolcu taşıma kapasitesi yüksek olan otobüslerin dönüşümünde önceliklendirilmesinin, toplam karbon salınımını azaltma açısından stratejik bir adım olacağını göstermektedir.

9. Aynı araç sınıfı içinde karşılaştırıldığında, benzinli otobüsler dizel otobüslere kıyasla %99,25 daha düşük karbon salımı yapmaktadır. Ancak benzinli araçların sayısal olarak azlığı, toplam emisyon üzerindeki etkisini sınırlamaktadır.
10. Minibüslerde ise LPG'li modeller dizel minibüslere kıyasla yaklaşık %92 daha az emisyon üretmektedir. Bu durum, LPG'nin dizel karşısında çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir geçiş opsiyonu olabileceğini ortaya koymaktadır.
11. Elektrikli araç dönüşümü ile yılda yaklaşık 5.312 GgCO₂'lik karbon salınımı önlenabilmektedir. Bu miktar, Türkiye'deki yıllık konut kaynaklı toplam emisyonların (yaklaşık 25.000 GgCO₂) %21'ine eşdeğerdir. Bu kıyas, toplu taşıma sektöründe yapılacak dönüşümün etkisini göstermektedir.
12. Türkiye'deki elektrik üretiminin yalnızca %42,5'i yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır. Eğer bu oran %70'e çıkarılırsa, elektrikli araçların toplam emisyonu da önemli ölçüde düşecek ve CO₂ azaltımı %60'ın üzerine çıkabilecektir. Bu da elektrikli dönüşümün başarısının sadece ulaşım sektörüne değil, enerji üretim sistemine de bağlı olduğunu göstermektedir.

ÖNERİLER

Bu çalışmada ulaşılan veriler ve yapılan analizler doğrultusunda, şehir içi toplu taşıma sistemlerinde karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik olarak aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

1. Elektrikli araçlara geçiş hızlandırılmalıdır. Özellikle yüksek emisyon üreten dizel otobüs ve minibüslerin kademeli olarak elektrikli modellere dönüştürülmesi, toplam emisyonların önemli derecede düşmesini sağlayacaktır. Bu dönüşüm için ulusal düzeyde teşvik ve destek programları geliştirilmelidir.
2. Elektrikli araç altyapısı güçlendirilmelidir. Şarj istasyonlarının sayısı artırılmalı, özellikle şehir içi ve güzergâh yoğunluğu fazla olan bölgelerde hızlı şarj sistemlerine öncelik verilmelidir. Ayrıca, otobüs garajları ve durak noktaları gibi toplu taşıma odaklı alanlarda özel altyapı yatırımları yapılmalıdır.
3. Elektrik üretim kaynakları karbonsuzlaştırılmalıdır. Elektrikli araçlardan elde edilen çevresel faydanın maksimum seviyeye çıkarmak için elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı artırılmalı, kömür ve doğalgaz gibi yüksek karbon yoğunluklu kaynakların oranı azaltılmalıdır.
4. Yerel yönetimler aktif rol almalıdır. Belediyeler, çevre dostu ulaşım politikalarının sahada uygulanmasında öncü rol üstlenmeli, toplu taşıma araçlarını yenileme projeleri, elektrikli filo ihaleleri ve altyapı yatırımlarıyla bu süreci desteklemelidir.
5. İzleme ve değerlendirme mekanizmaları kurulmalıdır. Uygulanan politikaların ve dönüşüm programlarının etkileri düzenli olarak izlenmeli, yıllık emisyon ölçümleriyle çevresel kazanımlar şeffaf biçimde raporlanmalıdır.
6. İçten yanmalı taşıtlarda düşük karbonlu yakıt seçenekleri teşvik edilmelidir. Tam dönüşüm mümkün olana kadar, mevcut dizel ve benzinli araçlarda daha düşük karbon salımı sağlayan biyodizel, etanol karışımı yakıtlar gibi alternatiflerin kullanımına öncelik verilmelidir.
7. Elektrikli otobüs ve minibüslerin pil performansı izlenmeli ve standardize edilmelidir. Araçların yaşına göre performans düşüşleri ve verimlilik kayıpları göz önünde bulundurularak, batarya ömrü ve geri dönüşüm stratejileri belirlenmelidir.
8. İçten yanmalı araçlara yönelik “kademeli kullanım sınırı” politikası uygulanmalıdır. Belirli yaş ve emisyon seviyesinin üzerindeki araçların şehir içi trafiğe girişleri kısıtlanmalı, bu araçlar için dönüşüm desteği sağlanarak filodan çıkarılmaları teşvik edilmelidir.

9. Elektrikli araçlar için bakım ve servis altyapısı geliştirilmelidir. Yeni sistemlerin sürdürülebilirliği, sadece üretim ve kullanımda değil, aynı zamanda bakım ve onarım süreçlerinde de desteklenmelidir. Teknik personel eğitimi bu açıdan kritik öneme sahiptir.
10. Elektrikli araç teknolojilerinde yerleşme desteklenmelidir. Türkiye'nin enerji ve sanayi politikalarıyla uyumlu olarak, batarya üretimi, motor sistemleri ve yazılım altyapısının yerli firmalar tarafından geliştirilmesi teşvik edilmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] A. Choudhary, S. Sarkar, S. Settur, And M. K. Tiwari, "A Carbon Market Sensitive Optimization Model For Integrated Forward–Reverse Logistics," *International Journal Of Production Economics*, Vol. 164, Pp. 433–444, 2015, Doi: 10.1016/J.ijpe.2014.08.015.
- [2] P. Ghosh, A. Jha, And R. R. K. Sharma, "Managing Carbon Footprint For A Sustainable Supply Chain: A Systematic Literature Review," *Modern Supply Chain Research And Applications*, Vol. 2, No. 3, Pp. 123–141, 2020, Doi: 10.1108/Mscra-06-2020-0016.
- [3] "Ulaştırma Türüne Göre Seragazi Emisyonu" Çevresel Göstergeler, T.C. Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://Cevreselgostergeler.Csb.Gov.Tr/Ulastirma-Turune-Gore-Seragazi-Emisyonu-I-85790>
- [4] K. Dong, X. Dong, And Q. Jiang, "How Renewable Energy Consumption Lower Global Co₂ Emissions? Evidence From Countries With Different Income Levels," *The World Economy*, Vol. 43, No. 6, Pp. 1665–1698, 2020. Doi: 10.1111/12898.
- [5] T. P. Hendrickson, O. Kavvada, N. Shah, R. Sathre, And C. D. Scown, "Life-Cycle Implications And Supply Chain Logistics Of Electric Vehicle Battery Recycling In California," *Environmental Research Letters*, Vol. 10, No. 1, P. 014011, 2015. Doi: 10.1088/1748-9326/10/1/014011.
- [6] C40 Cities, *Cities100: Los Angeles – Demand Aggregation For Ev Proliferation Plan*, 2016. [Online]. Available: <https://www.c40.org/case-studies/cities100-los-angeles-demand-aggregation-for-ev-proliferation-plan/>
- [7] P. Jochem, S. Babrowski, And W. Fichtner, "Assessing Co₂ Emissions Of Electric Vehicles In Germany In 2030," *Transportation Research Part A: Policy And Practice*, Vol. 78, Pp. 68–83, 2015. Doi: 10.1016/J. Tra.2015.05.007.
- [8] S. Küfeoğlu And D. K. K. Hong, "Emissions Performance Of Electric Vehicles: A Case Study From The United Kingdom," *Applied Energy*, Vol. 260, P. 114241, 2020. Doi: 10.1016/J.Apenergy.2019.114241.
- [9] Y. Mishina And Y. Muromachi, "Are Potential Reductions In Co₂ Emissions Via Hybrid Electric Vehicles Actualized In Real Traffic? The Case Of Japan," *Transportation Research Part D: Transport And Environment*, Vol. 50, Pp. 372–384, 2017. Doi: 10.1016/J. Trd.2016.11.019.
- [10] J. Hofmann, D. Guan, K. Chalvatzis, And H. Huo, "Assessment Of Electrical Vehicles As A Successful Driver For Reducing Co₂ Emissions In China," *Applied Energy*, Vol. 184, Pp. 995–1003, 2016. Doi: 10.1016/J.Apenergy.2016.06.042.
- [11] C. Hoehne, M. Muratori, P. Jadun, B. Bush, A. Yip, C. Ledna, L. Vimmerstedt, K. Podkaminer, And O. Ma, "Exploring Decarbonization Pathways For Usa Passenger And Freight Mobility," *Nature Communications*, Vol. 14, Article No. 6913, Oct. 2023. Doi: 10.1038/S41467-023-42483-0
- [12] H. Ritchie And M. Roser, "Co₂ And Greenhouse Gas Emissions," *Our World In Data*, 2017. [Online]. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- [13] M. S. Alam, P. Duffy, B. Hyde, And A. McNabola, "Improvement In The Estimation And Back-Extrapolation Of Co₂ Emissions From The Irish Road Transport Sector Using A Bottom-Up Data Modelling Approach," *Transportation Research Part D: Transport And Environment*, Vol. 56, Pp. 18–32, 2017. Doi: 10.1016/J. Trd.2017.07.011.
- [14] T. D. Güzel And K. Alp, "Modeling Of Greenhouse Gas Emissions From The Transportation Sector In Istanbul By 2050," *Atmospheric Pollution Research*, Vol. 11, No. 12, Pp. 2190–2201, 2020. Doi: 10.1016/J. Apr.2020.08.034.
- [15] M. Y. Kılıç, T. Dönmez ve S. Adalı, "Karayolu Ulaşımında Yakıt Tüketimine Bağlı Karbon Ayak İzi Değişimi: Çanakkale Örneği," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Vol. 11, No. 3, Pp. 943–955, 2021. Doi: 10.17714/Gumusfenbil.848016
- [16] Sahin, H., & Esen, H. (2024). Well-To-Wheel Emissions Of Electric Vehicles In Türkiye And Emission Mitigation By Renewable Penetration. *Renewable Energy*, 235, 121344.

- [17] S. Varol, Z. Öztürk ve O. Öztürk, "İstanbul'da Karayolu Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araç Kullanımının İncelenmesi," *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, Vol. 5, No. 2, Pp. 367–386, 2018. Doi: 10.31202/Ecjse.382348.
- [18] L. Hubka, "Electric Cars In The Czech Republic – The Analysis Of Co₂ Emissions Reduction," In *2019 20th International Carpathian Control Conference (Iccc)*, Kraków, Poland, 2019, Pp. 1–6. Doi: 10.1109/Carpathiancc.2019.8765971.
- [19] S. Küfeoğlu And D. K. K. Hong, "Emissions Performance Of Electric Vehicles: A Case Study From The United Kingdom," *Applied Energy*, Vol. 260, P. 114241, 2020. Doi: 10.1016/J.Apenergy.2019.114241.
- [20] S. Kocabey, "Elektrikli Otomobillerin Dünyü, Bugünü ve Geleceği," *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, Vol. 1, No. 1, Pp. 16–23, 2018. Doi: 10.29157/Jitsa.396912.
- [21] M. S. Maarouf, "Estimating The Carbon Emissions Caused By Electric Vehicle Use İn Turkey Using Marginal Emission Factors," M.S. Thesis, Industrial Engineering, Sabancı University, İstanbul, Turkey, 2020. Doi: 10.2139/Ssm.4300036.
- [22] O. Karabasoglu, "Hibrit ve Elektrikli Araçlar İçin Güç Aktarım Sistemi Bağlantılı Yeşil Rotalama," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, Vol. 23, No. 68, Pp. 421–433, 2021. Doi: 10.21205/Deufmd.2021236807
- [23] Y. S. Shen, G. T. Huang, C. L. Chang-Chien, L. H. Huang, C. H. Kuo, And A. H. Hu, "The Impact Of Passenger Electric Vehicles On Carbon Reduction And Environmental Impact Under The 2050 Net Zero Policy İn Taiwan," *Energy Policy*, Vol. 183, P. 113838, 2023. Doi: 10.1016/J.Enpol.2023.113838.
- [24] S. Erdoğan, "Enerji, Çevre ve Sera Gazları," **Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Vol. 10, No. 1, Pp. 277–303, 2020, Doi: 10.18074/Ckuiibfd.670673.
- [25] Türkiye Uzay Ajansı, "İklim Değişikliği," *Türkiye Uzay Ajansı Blog*, Accessed Jun. 2025. [Online]. Available: <https://Tua.Gov.Tr/Tr/Blog/Dunya/Iklim-Degisikligi>
- [26] Ekol Çevre, "Karbon Emisyonu Nedir?," *Ekol Çevre Blog*. Erişim Adresi: https://www.ekolcevre.com/blog/karbon-emisyonu-nedir?utm_source
- [27] Aydem Enerji, "Sera Etkisi Nedir? Sera Gazları Nelerdir?," *Aydem Enerji Blog*. Erişim Adresi: https://www.aydemenerji.com.tr/blog/231/Sera-Etkisi-Nedir-Sera-Gazlari-Nelerdir-/?utm_source
- [28] Haliç Çevre Laboratuvarı, "İklim Değişikliği ve Hava Kalitesi," *Haliç Çevre Blog*. Erişim Adresi: <https://haliccevre.com/iklim-degisikligi-ve-hava-kalitesi/>
- [29] B. Alkaya ve M. A. Yıldırım, "Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri," *Ekoloji Çevre Dergisi*, Cilt 9, Sayı 34, Ss. 15–20, 2000, Doi: 10.17714/Gumusfenbil.848016.
- [30] T. Kılıç, T. Bozkurt, C. Mamalı, G. Ünal, A. Gümüş, H. Şentürk, Z. Solak ve Ö. Karataş, *Motorlu Taşıtlar ve Adapazarı'nda Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyon Envanterlenmesi*, Bitirme Projesi, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı, 2007.
- [31] A. Keskin, "Dizel Motorlarında Partikül Madde Emisyon Kontrolü Ve Gelişmeler," *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 13–15 Mayıs 2009.
- [32] H. Uçarol ve E. Kural, "Ulaşımında Enerji Verimliliği İçin Hibrid Ve Elektrikli Araçlar," *Mühendis Ve Makina Dergisi*, Cilt 50, Sayı 594, Ss. 66–71, 2009, Doi: 10.1016/J.Cie.2008.09.015.
- [33] B. Alkaya ve M. A. Yıldırım, "Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri," *Ekoloji Çevre Dergisi*, Cilt 9, Sayı 34, Ss. 15–20, 2000, Doi: 10.17714/Gumusfenbil.848016
- [34] İ. Sert, "Balıkesir İl Merkezinde Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyon Envanterinin Hesaplanması", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2008.
- [35] O. Tünay, *Hava Kirliliği Ve Kontrolü*, Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1986.
- [36] F. Schäfer And R. Van Basshuysen, *Reduced Emissions And Fuel Consumption İn Automobile Engines*, Springer-Verlag, Vienna, 1995, Doi: 10.1007/978-3-7091-3806-9.

- [37] T. Atabey, *Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, 2013.
- [38] R. Çömert, Ö. Bilget Ve A. Çabuk, “Kyoto Protokolüne İmza Atan G20 Ülkelerinin Yıllara Göre Karbon Salınımlarının (1990–2012) Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımı İle Analizi,” *17. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Ss. 908–916, 2015.
- [39] R. Çömert, Ö. Bilget Ve A. Çabuk, “Kyoto Protokolüne İmza Atan G20 Ülkelerinin Yıllara Göre Karbon Salınımlarının (1990–2012) Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımı İle Analizi,” *17. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Ss. 908–916, 2015.
- [40] M. Özen Ve H. Tüdeş-Yaman, “Türkiye’de Şehirlerarası Yük Trafiği Co₂ Emisyonlarının Tahmini,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 17, Sayı 3, Ss. 56–64, 2013, Doi: 10.19113/Sdufbed.16698.
- [41] N. Işık Ve E. C. Kılıç, “Ulaştırma Sektöründe Co₂ Emisyonu Ve Enerji Ar–Ge Harcamaları İlişkisi,” *Sosyoekonomi*, Cilt 22, Sayı 22, Ss. 320–346, 2014, Doi: 10.17233/Se.51323.
- [42] Türkiye İstatistik Kurumu (Tüik), “1990–2015 Ulusal Gaz Envanteri Raporu,” 1990–2015 Ulusal Gaz Envanteri Yıllık Raporu (Bm İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kapsamında Teslim İçin), 552 S., 2015.
- [43] A. Haines, R. S. Kovats, D. Campbell-Lendrum And C. Corvalan, “Climate Change And Human Health: Impacts, Vulnerability And Public Health,” *The Lancet*, Vol. 367, No. 9528, Pp. 2101–2109, 2006, Doi: 10.1016/S0140-6736(06)68933-2.
- [44] A. Haines, R. S. Kovats, D. Campbell-Lendrum And C. Corvalan, “Climate Change And Human Health: Impacts, Vulnerability And Public Health,” *The Lancet*, Vol. 367, No. 9528, Pp. 2101–2109, 2006, Doi: 10.1016/S0140-6736(06)68933-2.
- [45] Kovancılar, “Küresel Isınma Sorununun Çözümünde Karbon Vergisi Ve Etkinliği,” *Yönetim Ve Ekonomi*, Cilt 8, Sayı 2, Ss. 7–19, 2001.
- [46] Casem, “Karbon Ayak İzi Nasıl Azaltılır?”, *Casem.Com.Tr*, Erişim Adresi: <https://www.casem.com.tr/karbon-ayak-izi-nasil-azaltilir/>
- [47] Uluslararası Enerji Ajansı (Iea), “Carbon Capture, Utilisation And Storage,” *Iea.Org*, <https://www.iea.org/topics/carbon-capture-utilisation-and-storage>
- [48] Greenly, “What Is Carbon Offsetting?”, *Greenly.Earth*, <https://greenly.earth/en-us/blog/company-guide/what-is-carbon-offsetting>
- [49] Ş. Kaypak, “Küreselleşme Sürecinde Sürdürülebilir Bir Kalkınma İçin Sürdürülebilir Bir Çevre,” *Karamanoğlu Mehmetbey Ü. Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, Cilt 2011, Sayı 1, Ss. 19–33, 2011.
- [50] Mevzuat Dergisi, “Sürdürülebilir Kalkınma Ve Çevre Politikaları,” *Mevzuatdergisi.Com*, Erişim Adresi: <https://www.mevzuatdergisi.com/2010/04a/06.htm>
- [51] Mevzuat Dergisi, “Çevre Politikaları,” *Mevzuatdergisi.Com*, Erişim Adresi: <https://www.mevzuatdergisi.com>
- [52] M. Öztürk Ve A. Öztürk, “Bmidçs’den Paris Anlaşması’na: Birleşmiş Milletler’in İklim Değişikliğiyle Mücadele Çabaları,” *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 12, Sayı 4, Ss. 527–541, 2019, Doi: 10.25287/Ohuiibf.494667.
- [53] U. Birol Ve Y. Bilgici, “Karbon Fiyatlandırmasında Emisyon Ticaret Sistemi Ve Önemi,” *Kırklareli Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 10, No 1, Ss. 47–72, Mar. 2021.
- [54] B. Şahin, *Türkiye’de Depo Gazından Enerji Eldesi Ve Adana İli Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2021.
- [55] N. E. Kaya, “Fosil Yakıt Kaynaklı Karbon Emisyonlarının Bu Yıl Tarihi Zirveye Ulaşacağı Öngörülüyor,” *Yeşil Hat, Anadolu Ajansı*. Erişim Adresi: <https://www.aa.com.tr/tr/yesilhat/iklim-degisikligi/fosil-yakit-kaynakli-karbonemisyonlarinin-bu-yil-tarihi-zirveye-ulasacagi-ongoruluyor/1821890>
- [56] *Paris Anlaşması*, T.C. Dışişleri Bakanlığı. Erişim: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>

- [57] S. Kocabey, "Elektrikli Otomobillerin Dünü, Bugünü Ve Geleceği," *Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Uygulamaları Dergisi*, Cilt 1, No 1, Ss. 16–23, Şubat 2018.
- [58] Ö. Polat, K. Yumak, M. S. Sezgin, G. Yumurtacı Ve Ö. Gül, "Elektrikli Araç Ve Şarj İstasyonlarının Türkiye'deki Güncel Durumu," *Vi. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu*, İzmit, 4–6 Haziran 2015.
- [59] Ev Connect, "How Long Do Electric Car Batteries Last?," *Ev Connect Blog*. Erişim Adresi: <https://www.evconnect.com/blog/how-long-do-electric-car-batteries-last>
- [60] Sciencedirect, "Rejeneratif Frenleme," *Sciencedirect*. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/regenerative-braking>
- [61] Sciencedirect, "Frenleme," *Sciencedirect*. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com>
- [62] Uluslararası Enerji Ajansı (Iea), "Elektrikli Araçlar," *Iea*. Erişim Adresi: <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles>
- [63] Rho Motion, "2024'te 17 Milyondan Fazla Elektrikli Araç Satıldı – Rekor Yıl," *Rho Motion*. Erişim Adresi: <https://rhomotion.com/news/over-17-million-evs-sold-in-2024-record-year/>
- [64] Trt World Research Centre, *Türkiye'nin Elektrikli Araçlarda Küresel Yarış: Togg ve Ötesi*, Trt World Research Centre. Erişim Adresi: <https://researchcentre.trtworld.com/wp-content/uploads/2023/06/global-race-electric-car.pdf>
- [65] Ekotürk, "Nisan Ayında Şarj Noktası Sayısı %2,7 Arttı: Elektrikli Araç Sayısı 231 Bini Geçti," *Ekotürk*. Erişim Adresi: <https://www.ekoturk.com/haberler/nisan-ayinda-sarj-noktasi-sayisi-27-artti-elektrikli-arac-sayisi-231-bini-gecti/>
- [66] Pwc Türkiye, *Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Sektörüne Genel Bakış 2025*, Pwc Türkiye. Erişim Adresi: <https://www.pwc.com.tr/tr/sektorler/otomotiv/elektrikli-arac-sarj-istasyonu-sektorune-genel-bakis-2025.pdf>
- [67] Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, "Türkiye İçin Elektrikli Araç Şarj Altyapısı," *Elektrikli Araçlar Şarj Altyapı Desteği Programı*, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. Erişim Adresi: <https://sarjdestek.sanayi.gov.tr/turkiye-icin-elektrikli-arac-sarj-altyapisi>
- [68] Beefull, *Türkiye'de Elektrikli Araç Şarj Altyapısında 2024 Rüzgârı*, Beefull. Erişim Adresi: <https://beefull.com/blog/turkiyede-elektrikli-arac-sarj-altyapisinda-2024-ruzgari/>
- [69] Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, *Elektrikli Araçlar İçin Hızlı Şarj Altyapısı – İkinci Çağrı*, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı. Erişim Adresi: <https://sarjdestek.sanayi.gov.tr/assets/media/sarj-destek-programiikinci-cagri.pdf>
- [70] V. Yazıcı ve E. Özdemir, "Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri," *5. Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 23–24 Mayıs 2013, Ss. 288–292.
- [71] M. Yılmaz and P. T. Krein, "Review Of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, And Infrastructure For Plug-In Electric And Hybrid Vehicles," *Ieee Transactions On Power Electronics*, Cilt 28, No 5, Ss. 2151–2169, Mayıs 2013. Doi: 10.1109/Tpel.2012.2212917
- [72] A. Kerem Ve H. Gürbak, "Elektrikli Araçlar İçin Hızlı Şarj İstasyonu Teknolojileri," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, Cilt 8, No 3, Ss. 644–661, 2020. Doi: 10.29109/Gujsc.713085
- [73] B. Schmuelling And F. Turki, "A Sepic Fed Inductive Charging Device For Electric Vehicles," *In Proc. 4th Int. Conf. Power Eng., Energy And Electrical Drives (Powereng)*, İstanbul, Türkiye, Ekim 2013. Doi: 10.1109/Powereng.2013.6635731
- [74] Mıda Evse, *Ev Rehberi – Ev Şarj Modları*, Mıda Evse. Erişim Adresi: <https://www.midaevse.com/tr/ev-guide-1/>
- [75] O. Kırat Ve A. Çiçek, "Nesnelerin İnterneti Uygulamalarıyla Rezervasyon Sistemli Ve Pv Destekli Bir Elektrikli Araç Şarj İstasyonunun İşletimi: Bir Üniversite Örneği," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 25, No 75, Ss. 659–674, Eylül 2023. Doi: 10.21205/Deufmd.2023257512

- [76] B. Kuzu, M. Nurmhammed, O. Akdağ Ve T. Karadağ, “V2g Uygulamalarında Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Optimum Entegrasyonunun Analizi İçin Newton Raphson Temelli Yeni Bir Model”, *Dümf Md*, C. 15, Sy. 2, Ss. 375–385, 2024, Doi: 10.24012/Dumf.1441551.
- [77] Ecobox Şarj, “Elektrikli Araçların Emisyon Değeri,” *Ecobox Şarj*. Erişim Adresi: <https://www.ecoboxsarj.com/Elektrikli-Araclarin-Emisyon-Degeri>
- [78] J. Timperley, “Carbon Brief Ülke Profili: Türkiye,” *Carbon Brief*. Erişim Adresi: <https://www.carbonbrief.org/Carbon-Brief-Profile-Turkey>
- [79] İxt Türkiye, “İçten Yanmalı Motorlar Nasıl Çalışır?”, *Sixt Türkiye Blog*. Erişim Adresi: <https://www.sixt.com.tr/Blog/Arac-Bakimi-Ve-İpuclari/Icten-Yanmali-Motor-Hakkinda-Merak-Edilenler>
- [80] Volkswagen, “Motor Çeşitleri Nelerdir Ve Kaç Çeşit Otomobil Motoru Vardır?” *Volkswagen Sürüş Rehberi*. Erişim Adresi: <https://www.binekarac.vw.com.tr/Volkswagen-Dunyasi-Teknolojisi/Volkswagen-Surus-Rehberi/Bilgilendirme/Motor-Cesitleri.Html>
- [81] Alternative Fuels Data Center (Afdc), *Doğal Gazlı Araçlar Nasıl Çalışır?*, Afdc. Erişim Adresi: <https://www.afdc.energy.gov/Vehicles/How-Do-Natural-Gas-Cars-Work>
- [82] Türkiye İstatistik Kurumu (Tüik), *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri 1990–2023*, Tüik. Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?P=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2023-53974>
- [83] Türkiye İstatistik Kurumu (Tüik), “Motorlu Kara Taşıtları, Nisan 2025,” *Tüik*. Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?P=Motorlu-Kara-Tasitlari-Nisan-2025-54040>
- [84] Otokar, *Şehir İçi Otobüsler Aile Ürünleri Ve Teknoloji*, Otokar. Erişim Adresi: <https://commercial.otokar.com.tr/Otobus/Sehir-Ici-Otobus>
- [85] Utikad (Türkiye Ulaştırma Ve Lojistik Meclisi), *Karayollarında Ağır Taşıt Trafığının Ve Yük Taşımacılığının Özellikleri Ve Eğilimleri 2010–2014*, Utikad. Erişim Adresi: <https://www.utikad.org.tr/Images/Bilgibankasi/Karayollarindaagirtasittrafigininveyuktasimaciliginozellikleriveegilimleri20102014.Pdf>
- [86] Ankara Büyükşehir Belediyesi Ego Genel Müdürlüğü, *Faaliyet Raporu*, Ego. Erişim Adresi: <https://m.ego.gov.tr/Dosya/Indir/27334>
- [87] Ekotürk, “Türkiye’de Elektrikli Otomobil Sayısı Bir Yılda Yüzde 120 Arttı,” *Ekotürk*. Erişim Adresi: <https://www.ekoturk.com/Haberler/Turkiyede-Elektrikli-Otomobil-Sayisi-Bir-Yilda-Yuzde-120-Artti/>
- [88] Y. Bıyık, *Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2018.
- [89] Türkiye İstatistik Kurumu (Tüik), “Motorlu Kara Taşıtları, Aralık 2024,” *Tüik*. Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?P=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2024-53463>
- [90] Ippc/Unep/Oecd/Iea, *Revised 1996 Ippc Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories, Volume Ii: Reference Manual*, Bölüm 1, Ss. 4–44, 62–98, Intergovernmental Panel On Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization For Economic Co-Operation And Development, International Energy Agency, Paris, 1997.
- [91] Türkiye İstatistik Kurumu (Tüik), “Taşıt-Kilometre İstatistikleri, 2023”, *Tüik*. Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?P=Tasit-Kilometre-Istatistikleri-2023-54055>
- [92] Ippc, *2006 Ippc Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy, Chapter 3*, Intergovernmental Panel On Climate Change, Paris, 2006.
- [93] J. Jolly, “Elektrikli Arabalar Gerçekten Benzinli/Dizel Araçlara Kıyasla Daha Az Karbon Emisyonu Üretiyor Mu?”, *The Guardian*, 23 Aralık 2023. Erişim Adresi: <https://www.theguardian.com/Business/2023/Dec/23/Do-Electric-Cars-Really-Produce-Fewer-Carbon-Emissions-Than-Petrol-Or-Diesel-Vehicles>
- [94] Cormind, “Üretimde Karbon Emisyonu Hesaplaması,” *Cormind Blog*. Erişim Adresi: <https://cormind.com.tr/Uretimde-Karbon-Emisyonu-Hesaplamasi>

- [95] H. Sahin, "Electricity Consumption Of Electric Vehicles İn Türkiye And İts Share İn Total Electricity Consumption: 2030 Projection," *Firat Univ. J. Eng. Sci.*, Vol. 37, No. 1, 2025.
- [96] T. C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimliliği Ve Çevre Dairesi Başkanlığı (Evçed), "Türkiye Elektrik Üretimi Ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri", Bilgi Formu, Mar. 12, 2024. [Online]. Available: <https://Enerji.Gov.Tr/Evced-Cevre-Ve-Iklim-Elektrik-Uretim-Tuketim-Emisyon-Faktorleri>
- [97] B. Şekip Güray And E. Merdan, *Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü 2022*, Istanbul International Center For Energy And Climate (İicec), Sabancı University, Aralık 2022. [Online]. Available: https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/T%C3%Bcrkiye_Yenilenebilir_Enerji_G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC Kitap_T%C3%Bcrk%C3%A7e_.Pdf

ÖZGEÇMİŞ

Seren ARSLAN

[Redacted]

[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]

ARAŞTIRMACI BİLGİLERİ

Öğrenci Orcid ID : 0009-0003-2181-5452
Danışman Orcid ID : 0000-0001-8802-8080

[Redacted]

[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

Programlama dilleri : C-C++, MATLAB
Bilgisayar programları: AutoCAD, SolidWorks

[Redacted]

[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler:

1. S. Arslan, H. Esen, E. Avcı, ve C. Cengiz, “Modeling a Solar Power Plant with Artificial Neural Networks”, ijiea, IJIEA, c. 7, sy. 2, ss. 201–206, 2023, doi: 10.46460/ijiea.1336917.