

**ULAŖIM SEKTÖRÜNÜN DÜŖÜK KARBON
EKONOMİSİNE GEÇİŖTEKİ ROLÜNÜN ANALİZİ**

**ANALYSIS OF THE ROLE OF TRANSPORTATION
SECTOR DURING THE TRANSITION TO A LOW
CARBON ECONOMY**

ŖÜKRAN ELÇİN TEKELİ

DOÇ. DR MERİH AYDINALP KÖKSAL

Tez Danışmanı

DR. SHIHOMI ARA AKSOY

Eş Danışman

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Sevgili aileme

ÖZET

ULAŞIM SEKTÖRÜNÜN DÜŞÜK KARBON EKONOMİSİNE GEÇİŞTEKİ ROLÜNÜN ANALİZİ

Şükran Elçin TEKELİ

Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL

Eş Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Shihomi ARA AKSOY

Haziran 2020, 143 sayfa

Ulaşımından kaynaklanan emisyonlar, şehirlerin hava kalitesinin ve insan sağlığının bozulmasında önemli bir paya sahiptir. Ülkemizde 2000-2017 yıllarında ulaşım sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarında %132'lik bir artış gözlenmiş ve bu emisyonlar 85 Mt CO₂ eşdeğerine ulaşmıştır. Türkiye düşük karbon ekonomisine geçişte bir taraftan sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedeflerken, diğer taraftan da ekonomik kalkınmasının devam etmesi gerekmektedir. Bu sebeple kirletici vasfı yüksek araçların trafikten çekilmesiyle yerine gelecek yeni nesil teknolojik hibrit ve elektrikli araçların maliyet etki analizlerinin gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Literatürde Türkiye'de ulaşım sektöründe karbon emisyonunun azaltımı üzerine gelecek yılları göz önünde bulundurarak senaryo bazında yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Fakat bununla beraber yeni nesil temiz teknolojik hibrit ve elektrikli araçların kullanılması ile maliyet etkin ulaşım kaynaklı emisyon azaltılmasının planlandığı çalışmalar literatürde bulunmamaktadır. Ayrıca CO₂ emisyonları hesaplanırken sadece araç kaynaklı

emisyonlar hesaplanmış, özellikle elektrikli araçların elektrik temininde oluşan emisyonlar hesaplamalara dahil edilmemiştir. Bunlara ek olarak, yakıt olarak temiz kaynak kullanılmasının karbon emisyon değerlerine etkisi gözlenmiş fakat maliyet değerine karşı herhangi bir analiz yapılmamıştır. Bu çalışmayla mevcut araç filosu bilgisi edinilmiş ve kirletici vasfı yüksek araçlar yerine geçecek yeni nesil temiz teknolojili hibrit ve elektrikli araçların trafiğe katılmasının çeşitli senaryolarla hava kalitesine, ekonomiye ve elektrik talebine olan etkileri analiz edilmiştir. COPERT emisyon modeli senaryolar bazında karayolu taşıtlarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını ve kirletici emisyonlarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Aynı zamanda elektrikli araçların elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları da hesaplanmış ve yenilenebilir enerji kaynak paylarının bu emisyonlar üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Buna göre hibrit ve elektrikli araçların filodaki oranının %20 olması halinde olağan duruma göre sera gazı emisyonlarında %12 azaltıma, kirletici emisyonlarında ise %42'ye kadar azaltıma neden olacağı tahmin edilmiştir. Elektrikli araçların elektrik talebine olan etkisi incelenmiştir. Trafiğe katılan elektrikli araçların elektrik talebine olan etkisinin oldukça düşük olacağı tahmin edilmiştir. Senaryolar bazında ekonomik ve çevresel fayda maliyet analizleri yapılmıştır. Hava kirliliğinin solunum hastalıkları ve kanser hastalıklarına sebep olduğu bundan dolayı da bir çok erken ölüme sebebiyet verdiği bilinmektedir. Çalışmada kirletici emisyonlarından kaynaklanan sağlık maliyetleri de ayrıca hesaplanmıştır. Net fayda maliyet analizleri sonunda uygun bir senaryo uygulandığında 174 milyar TL tasarruf sağlanabileceği tahmin edilmiştir. Bu şekilde, ulaşımda düşük karbon ekonomisine geçişte ulaşım kaynaklı emisyonlar bazında gerçekçi politikaların oluşturulmasına katkıda bulunacak bir veri tabanı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım Sektörü, Sera Gazı Emisyonu, Kirletici Emisyonları, Düşük Karbon Ekonomisi, Fayda Maliyet Analizi, Hibrit Araç, Elektrikli Araç

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE ROLE OF TRANSPORTATION SECTOR DURING THE TRANSITION TO A LOW CARBON ECONOMY

Şükran Elçin TEKELİ

Master of Science, Department of Clean Renewable Energies

Supervisor: Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL

Co- Supervisor: Dr. Shihomi ARA AKSOY

June 2020, 143 pages

Emissions from transportation play a significant role in the deterioration of air quality and human health. In our country, greenhouse gas emissions (GHG) from the transportation sector increased by 132% in 2000-2017 and these emissions reached up to 85 Mt CO₂ equivalent. Turkey while aiming to reduce GHG emissions in the transition to a low carbon economy, on the other hand it is necessary to keep the economic development. For this reason, it is important to analyze the cost impact of replacing new generation technology hybrid and electric vehicles with high polluting vehicles. In the literature, there are studies on the reduction of GHG emissions in the transport sector in Turkey.

However, there are no studies in the literature that the use of new generation clean technology hybrid and electric vehicles is planned to be used to reduce emissions with cost-effective transportation. In addition, only emissions from the vehicle were calculated in these studies, but emissions especially in the electric supply of electric vehicles were not included in the calculations. Also, the effect of using clean sources as fuel on carbon emissions was observed, but no analysis about the cost value of that has been reported. In this study, the current vehicle fleet information was determined and the effects of new generation clean technology hybrid and electric vehicles on air quality, economy and electricity demand were analyzed based on various scenarios. COPERT emission model is used to estimate GHG emissions associated with the road transport in Turkey based on scenarios. Also, GHG emissions from electricity consumption of electric vehicles are calculated and the effect of renewable energy resource shares on these emissions is also investigated. According to the results, if the share of hybrid and electric vehicles in the fleet is 20%, the emissions are estimated to be reduced by 12% for GHG emissions and 42% for pollutant emissions compared to the estimated based on the business-as-usual scenario. The effect of electric vehicles on electricity demand is examined. It is estimated that the impact of electric vehicles participating in traffic on electricity demand will be quite low. Economic and environmental cost benefit analysis are calculated based on scenarios. It is known that air pollution causes respiratory diseases and cancer diseases thus causes many premature deaths. Health costs related to pollutant emissions are also calculated in the study. It is estimated that 174 billion TRY can be saved if a suitable scenario is applied. In this way, a database is provided that will contribute to the creation of realistic policies on the basis of emissions from transportation in transition to a low carbon economy.

Keywords: GHG Emission, Pollutant Emissions, Transportation Sector, Low Carbon Economy, Cost Benefit Analysis, Hybrid Vehicle, Electric Vehicle

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans dönemim boyunca bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, hedeflerim doğrultusunda doğru yolu gösteren ve bu yolda her türlü desteği veren değerli hocam Prof. Dr. Aynur ERAY'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmamda büyük emeği olan, hava kalitesi üzerine yoğunlaşmamı sağlayan, bana her seferinde güvenen ve bu iki yılda bana verdiği sonsuz destek için çok değerli hocam Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ'ye teşekkür ederim.

Tezimde birlikte çalıştığım ve bana bu yolda desteğini her zaman sürdürmüş olan, çalışmam için değerli zamanından büyük bir kısmını harcayan değerli danışman hocam Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL'a, bana disiplinli çalışmayı öğreten ve ekonomi çalışmalarımda sonsuz yardımı olan değerli danışman hocam Dr. Shihomi ARA AKSOY'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmamda ekonomik fayda maliyet analizlerindeki yardımlarından dolayı Dr. Anna Kızıltan ve Dr. Mustafa Kızıltan'a, sağlık maliyet analizlerindeki katkılarından dolayı Dr. Ulaş İm ve ekibine çok teşekkür ederim.

Jüri üyeleri Doç. Dr. Gamze YÜCEL İŞILDAR'a ve Dr. Merve GÖRGÜNER'e zamanlarını ayırdıkları ve çalışmam için verdikleri değerli önerileri için çok teşekkür ederim.

Uzun yıllar boyunca bütün sabrıyla benden desteğini esirgemeyen canım arkadaşım Buşra KÜÇÜK'e, gerek çalışmamda gerekse normal hayatımda bana yoldaş olan Nilhan DURAN, Dilem MARŞAN, Parisa BABAEİ, Afsoun NİKRAVAN, Elmira AGHAALİPOUR ve Dr. S. Yeşer ASLANOĞLU'na teşekkür ederim.

En büyük teşekkürü hiç bir zaman beni yalnız bırakmayan, her seferinde sonsuz desteğini sürdüren, beni ben yapan canım aileme, annem Nefise TEKELİ, babam Turhan TEKELİ ve kardeşim İ. Eda TEKELİ'ye ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Ön Bilgi	1
1.2. Problem Tanımı	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve Hedefi.....	3
1.4. Çalışma Yöntemi.....	3
1.5. Çalışmanın İçeriği	4
2. GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Ulaşım Sektörü	6
2.2. Düşük Karbon Ekonomisi	9
2.3. Bölüm Sonu	10
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
3.1. Ulaşımda Farklı Yakıt ve Teknolojiler Üzerine Yapılan Çalışmalar	12
3.2. Ulaşım Sektöründe Politikalar Üzerine Yapılan Çalışmalar	15
3.3. Araç Talep Tahminlerinin Yapıldığı Çalışmalar	19
3.4. Bölüm Sonu	21
4. ULAŞIM SEKTÖRÜNDE MEVCUT DURUM	22
4.1. Araç Bilgileri	22
4.1.1. Araç Sayısı	23
4.1.2. Araç Yaşı	24

4.1.3.	Araç Motor Silindir Hacmi.....	29
4.1.4.	Araç Motor Teknolojileri.....	29
4.2.	Trafiğe Yeni Giren Araçlar	34
4.2.1.	Trafiğe Yeni Giren Araç Sayısı ve Satışı	34
4.2.2.	Trafiğe Yeni Giren Araçların Motor Hacmi ve Teknolojileri	35
4.3.	Emisyon Faktörlerinin Euro Standartlarına Göre Değişimi.....	38
4.4.	Karayolu Ulaşımında Enerji Tüketimi	41
4.5.	Karayolu Ulaşımında Kilometre Değerleri	43
4.6.	Bölüm Sonu.....	45
5.	METODOLOJİ VE VERİ KAYNAKLARI	47
5.1.	Araç Sayısı Tahmininin Yapılması	47
5.1.1.	Kaydı Yapılan Araç Sayısı Tahmini.....	48
5.1.2.	Kaydı Silinen Araç Sayısı Tahmini	53
5.1.3.	Toplam Araç Sayısı Tahmini.....	53
5.2.	Araç Sayısı ve Yakıt Bazında Senaryoların Oluşturulması	54
5.2.1.	Olağan Durum Senaryosu.....	54
5.2.2.	Senaryo 1	54
5.2.3.	Senaryo 2	55
5.2.4.	Senaryo 3	55
5.2.5.	Senaryo Karşılaştırmaları	55
5.3.	Elektrikli Araçlarda Elektrik Tüketiminin Hesaplanması.....	56
5.4.	Emisyonların Hesaplanması.....	56
5.4.1.	Taşıtlarda Fosil Yakıt Kullanımından Kaynaklanan Emisyonların Hesaplanması.....	57
5.4.2.	Taşıtlarda Elektrik Tüketiminden Kaynaklanan Emisyonların Hesaplanması.....	58
5.5.	Maliyetlerin Hesaplanması	61
5.5.1.	Kaydı Silinen Araçların Maliyet Analizi.....	61
5.5.2.	Kaydı Yapılan Araçların Maliyet Analizi	64
5.5.3.	Yakıt Maliyetlerinin Hesaplanması	65
5.5.4.	Karbon Maliyetlerinin Hesaplanması	66
5.5.5.	Elektrik Maliyetlerinin Hesaplanması	67

5.5.6.	Sağlık Maliyetlerinin Hesaplanması	68
5.5.7.	Toplam Fayda Maliyet Analizi	70
5.6.	Bölüm Sonu	71
6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	72
6.1.	Araç Sayısı Tahmini	72
6.1.1.	Kayı Yapılan Araç Sayısı Tahmini	72
6.1.2.	Kayı Silinen Araç Sayısı Tahmini	73
6.1.3.	Toplam Araç Sayısı Tahmini	73
6.2.	Araç Sayısı ve Yakıt Bazında Senaryoların Oluşturulması	76
6.2.1.	ODS	76
6.2.2.	Senaryo 1	79
6.2.3.	Senaryo 2	82
6.2.4.	Senaryo 3	83
6.2.5.	Senaryo Karşılaştırmaları	85
6.3.	Elektrikli Araçlarda Elektrik Tüketimi	87
6.4.	Emisyonların Hesaplanması	89
6.4.1.	Taşıtlarda Fosil Yakıt Kullanımından Kaynaklanan Emisyonlar	89
6.4.2.	Taşıtlarda Elektrik Tüketiminden Kaynaklanan Emisyonlar	93
6.5.	Maliyetlerin Hesaplanması	100
6.5.1.	Kayı Silinen Araçların Maliyet Analiz Değerleri	101
6.5.2.	Kayı Yapılan Araçların Maliyet Analiz Değerleri	103
6.5.3.	Yakıt Maliyeti Değerleri	106
6.5.4.	Karbon Maliyet Değerleri	108
6.5.5.	Elektrik Maliyet Değerleri	111
6.5.6.	Sağlık Maliyet Değerleri	112
6.5.7.	Toplam Fayda Maliyet Değerleri	114
6.6.	Bölüm Sonu	118
7.	YORUM	119
7.1.	Gelecek Çalışmalar için Öneriler	126
8.	KAYNAKLAR	128
EKLER	135

EK 1 – Araç Bilgileri	135
EK 2 – Modelde Kullanılan Veriler.....	137
EK 3 – Emisyon Bilgileri.....	139
ÖZGEÇMİŞ	143

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Toplam sera gazı emisyonları 1990-2017, Mton CO ₂ eşdeğer [12]	7
Şekil 2.2. Ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonları 1990-2017, Mton CO ₂ eşdeğer [12]	8
Şekil 2.3. Karayolu taşıtlarından kaynaklanan emisyonların yakıt bazında değerleri 1990-2017, Mton CO ₂ eşdeğeri [13]	8
Şekil 4.1. 1994-2018 yılları arasında araç tiplerinin sayıları [45].....	23
Şekil 4.2. 1994 ve 2018 yıllarında kara taşıtlarının dağılımı (%) [45].....	24
Şekil 4.3. 2013-2018 yıllarında araç yaş gruplarında araç sayıları [47]	25
Şekil 4.4. 2013-2018 yılları arasında araç ortalama yaşları [48]	26
Şekil 4.5. 2018 yılı yaş gruplarına göre araç sayıları [48]	27
Şekil 4.6. 2013 ve 2018 yıllarında araçların yaş grubuna göre dağılımları (%) [48].....	27
Şekil 4.7. 2013 ve 2018 yıllarında 16-20 yaş araçların dağılımı (%) [45].....	28
Şekil 4.8. 2013 ve 2018 yıllarında 21 yaş ve üstü araçların dağılımı (%) [48].....	29
Şekil 4.9. 2004-2017 yılları arası yakıt türüne göre araç sayıları [55].....	33
Şekil 4.10. 2004-2018 yıllarında yakıt cinsine göre otomobil sayısı [56]	34
Şekil 4.11. Otomobil sayısının ODD ve TÜİK verileri karşılaştırması [12, 2].....	35
Şekil 4.12. 2013 ve 2018 yıllarında motor silindir hacimleri dağılımı (%) [51].....	36
Şekil 4.13. Trafığe kaydı yapılan otomobillerin silindir hacimleri bazında sayıları [51]	37
Şekil 4.14. Benzinli otomobiller (M1) için Euro Standartlarına göre emisyon faktörleri [59]	39
Şekil 4.15. Dizelli otomobiller (M1) için Euro Standartlarına göre emisyon faktörleri [59]	39
Şekil 4.16. Benzinli kamyonetler (N1) için Euro Standartlarına göre emisyon faktörleri [59]	40
Şekil 4.17. Dizelli kamyonetler (N1) için Euro Standartlarına göre emisyon faktörleri [59]	41
Şekil 4.18. 1997-2018 yıllarında karayolu ulaşımı enerji tüketimi [61]	43
Şekil 4.19. 2015 ve 2016 yıllarında araç kilometre değerlerinin dağılımı (%) [63]	45
Şekil 5.1. Çalışma metodolojisi.....	47

Şekil 5.2. COPERT akış şeması [78].....	58
Şekil 6.1. Araç tipi bazında tahmin edilen araç sayısı, 2019-2030.....	76
Şekil 6.2. Yakıt bazında otomobil (M1) sayısı değişimleri - ODS, 2019-2030	77
Şekil 6.3. Yakıt bazında otomobil (M1) sayısı değişimleri – Senaryo 1, 2019-2030.....	80
Şekil 6.4. Yakıt bazında otomobil (M1) sayısı değişimleri – Senaryo 2, 2019-2030.....	83
Şekil 6.5. Yakıt bazında otomobil (M1) araç sayısı değişimleri – Senaryo 3, 2019-2030	84
Şekil 6.6. 2030 yılında senaryolar bazında yakıt dağılımlarına göre otomobil (M1) sayısı	86
Şekil 6.7. 2030 yılında senaryolar bazında yakıt dağılımlarına göre kamyonet (N1) sayısı	86
Şekil 6.8. Senaryolar bazında elektrikli araçların elektrik tüketim değerleri, MWh/yıl.	88
Şekil 6.9. Toplam elektrik talebi 1994-2018 gerçek, 2019-2030 tahmini değerleri, TWh	88
Şekil 6.10. 2030 yılında senaryolar bazında elektrik talebi ve toplam elektrik talebi, TWh	89
Şekil 6.11. Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan toplam sera gazı emisyonları, Mton CO ₂ eşdeğeri	90
Şekil 6.12. Senaryolar bazında CO emisyonları, ton	91
Şekil 6.13. Senaryolar bazında NO _x emisyonları, ton	92
Şekil 6.14. Senaryolar bazında PM _{2.5} emisyonları, ton	92
Şekil 6.15. Senaryolar bazında SO ₂ emisyonları, ton	93
Şekil 6.16. ODS için sera gazı emisyonlarında durum değerlendirmeleri, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl.....	95
Şekil 6.17. Senaryo 1 için sera gazı emisyonlarında durum değerlendirmeleri, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl.....	96
Şekil 6.18. Senaryo 2 için sera gazı emisyonlarında durum değerlendirmeleri, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl.....	97
Şekil 6.19. Senaryo 3 için sera gazı emisyonlarında durum değerlendirmeleri, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl.....	98
Şekil 6.20. Sera gazı emisyonlarının 3.Durum değerleri, ton CO ₂ eşdeğeri.....	100
Şekil 6.21. 2019-2030 yıllarında kaydı silinen araçlarda toplam vergi kaybı ve hurda ithalatındaki etkisi, milyar TL	103

Şekil 6.22. 2019-2030 yıllarında kaydı yapılan araçlarda toplam vergi geliri ve ithalat etkisi, trilyon TL.....	106
Şekil 6.23. 2019-2030 yıllarında araçların fosil yakıt kullanımına bağlı vergi geliri ve ithalat etkisi, trilyon TL.....	108
Şekil 6.24. 2019-2030 yıllarında senaryolar bazında karbon maliyeti, milyar TL	111
Şekil 6.25. 2019-2030 yıllarında senaryolar bazında elektrik maliyeti, milyar TL	112
Şekil 6.26. 2019-2030 yıllarında senaryolar bazında sağlık maliyeti, trilyon TL.....	114
Şekil 6.27. Senaryolar bazında ekonomik ve çevresel veriler dahilinde net (=fayda-maliyet) değerleri, milyar TL	116
Şekil 6.28. Senaryolar bazında ekonomik, çevresel ve sağlık verileri dahilinde net (= fayda - maliyet) değerleri, milyar TL.....	117

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Ulaşımında alternatif yakıt üzerine yapılan çalışmalar	14
Çizelge 3.2. Ulaşım sektöründe politikalar üzerine yapılan çalışmalar.....	18
Çizelge 3.3. Araç talep tahminlerinin yapıldığı çalışmalar	20
Çizelge 4.1. Otomobil ve minibüsler ile kamyonetler için araç teknoloji sınıfları [54].	31
Çizelge 4.2. Kamyon, otobüsler ve motorlu iki tekerliler için araç teknoloji sınıfları [54]	31
Çizelge 4.3. Yıllar bazında yakıt türüne göre araç sayısı [55].....	32
Çizelge 4.4. 2004-2018 yıllarında yakıt bazında otomobil sayısı [56].....	33
Çizelge 4.5. Trafığe kaydı yapılan otomobillerin silindir hacimlerine göre sayısı [51].	36
Çizelge 4.6. Motor hacmi ve teknolojisine göre OOD'den alınan otomobil satışları [58]	38
Çizelge 4.7. 1997-2018 yıllarında karayolu ulaşımı enerji tüketimi (Bin TEP) [61]	42
Çizelge 4.8 2011-2014 verileri bazında tüm yaş grupları için taşıtların yıllık ortalama kilometre değerleri [62].....	43
Çizelge 4.9. 2013-2014 verileri bazında araçların yıllık ortalama kilometre değerleri [62]	44
Çizelge 4.10. 2015-2016 verileri bazında araç kilometre değerleri [63].....	45
Çizelge 5.1. Kaydı yapılan araç sayısı için kullanılan parametreler ve değerleri.....	49
Çizelge 5.2. Kaydı yapılan araç sayısı için kullanılan parametrelerin 2019-2030 yılları için tahminleri.....	51
Çizelge 5.3. Kaydı yapılan M1 & N1 sayısı, 1994-2018 [70].....	52
Çizelge 5.4. Kaydı silinen M1&N1 sayısı, 1994-2018 [71].....	53
Çizelge 5.5. Senaryoların özeti	56
Çizelge 5.6. Yakıt bazında spesifik emisyon faktörleri, kg CO ₂ /MWh [76].....	59
Çizelge 5.7. Yakıtların elektrik üretimindeki payları, 2018, %.....	60
Çizelge 5.8. Kaynakların elektrik üretimindeki payı, 2030 %.....	60
Çizelge 5.9. 2018 yılında hurda metal değerleri, kg.....	62
Çizelge 5.10. 2018 yılında hurda metal değerleri, TL.....	62
Çizelge 5.11. 2018 yılı M1 için MTV değerleri, TL	63
Çizelge 5.12. 2018 yılı N1 için MTV değerleri, TL	64

Çizelge 5.13. M1 ve N1 için motor hacimlerine göre ÖTV oranı, 2018	64
Çizelge 5.14. Yakıt bazında litre başına yakıt fiyatları 2019-2030, TL/litre	66
Çizelge 5.15. Nominal elektrik tarifesi 2019-2030, kr/kWh.....	68
Çizelge 5.16. Sağlık etkilerinin maruziyet-yanıt katsayıları ve birim maliyeti Euro [88][89]	69
Çizelge 6.1. Kaydı yapılan otomobil ve kamyonet (M1 & N1) tahmin modelinin sonuçları	72
Çizelge 6.2. Tahmini kaydı silinen otomobil ve kamyonet sayısı	73
Çizelge 6.3. 2019-2030 yıllarına ait toplam otomobil ve kamyonet sayıları	74
Çizelge 6.4. 2019-2030 yıllarına ait otobüs ve kamyon sayıları	74
Çizelge 6.5. Tahmini toplam araç sayısı, 2019-2030	75
Çizelge 6.6. Yakıt bazında otomobil (M1) sayıları - ODS.....	77
Çizelge 6.7. Yakıt bazında kamyonet (N1) araç sayıları – ODS.....	78
Çizelge 6.8. Yakıt bazında otobüs ve kamyon araç sayıları - ODS	78
Çizelge 6.9. Toplam araç sayıları – ODS, 2019-2030	79
Çizelge 6.10. Yakıt bazında otomobil (M1) sayıları - Senaryo 1	79
Çizelge 6.11. Yakıt bazında kamyonet (N1) sayıları – Senaryo 1	80
Çizelge 6.12. Yakıt bazında otobüs ve kamyon sayıları – Senaryo 1	81
Çizelge 6.13. Toplam araç sayıları – Senaryo 1	81
Çizelge 6.14. Yakıt bazında otomobil (M1) sayıları – Senaryo 2, 2019-2030	82
Çizelge 6.15. Toplam araç sayıları – Senaryo 2.....	83
Çizelge 6.16. Yakıt bazında araç sayıları – Senaryo 3, 2019-2030	84
Çizelge 6.17. Toplam araç sayıları – Senaryo 3.....	85
Çizelge 6.18. Senaryolar bazında elektrikli araçlarda elektrik tüketimleri, MWh/yıl	87
Çizelge 6.19. 1. Durumda elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl.....	94
Çizelge 6.20. 2. Durumda elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl.....	94
Çizelge 6.21. 3. Durumda elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl.....	95
Çizelge 6.22. 1. Durumda toplam sera gazı emisyonu, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl	98
Çizelge 6.23. 2. Durumda toplam sera gazı emisyonu, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl	99
Çizelge 6.24. 3. Durumda toplam sera gazı emisyonu, ton CO ₂ eşdeğeri/yıl	99

Çizelge 6.25. Senaryolar bazında hurda metal değerleri, TL	101
Çizelge 6.26. Senaryolar bazında hurda araçlardan kaynaklanan MTV kayıp değeri, TL	102
Çizelge 6.27. Kaydı yapılan araçlarda MTV değerleri, TL	103
Çizelge 6.28. Kaydı yapılan araçlarda toplam KDV ve ÖTV değerleri, TL	104
Çizelge 6.29. Senaryolar bazında kaydı yapılan araçlarda ithalat etkisi, TL.....	105
Çizelge 6.30. Yakıt tüketiminden kaynaklanan vergi geliri, TL	106
Çizelge 6.31. Senaryolar bazında yakıt tüketiminin ithalat üzerine etkisi, TL.....	107
Çizelge 6.32. 1. Durum için yapılan toplam karbon maliyeti, TL	108
Çizelge 6.33. 2. Durum için yapılan toplam karbon maliyeti, TL	109
Çizelge 6.34. 3. Durum için yapılan toplam karbon maliyeti, TL.....	110
Çizelge 6.35. Senaryolar bazında elektrik maliyet değerleri, TL	111
Çizelge 6.36. Trafik emisyonlarına bağlı olarak oluşan hava kirliliğinin sebep olduğu yıllık sağlık maliyeti, TL	113
Çizelge 6.37. 2019-2030 dönemi net (= fayda – maliyet) analizi, TL.....	115
Çizelge 7.1. 2030 yılında senaryoların ODS'ye göre sera gazı emisyonları ve kirleticisi emisyonlarındaki azaltımları, %.....	122

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

p	Otoregresif-AR
q	Hareketli ortalama-MA
ϕ	AR sürecinin parametresi
θ	MA sürecinin parametresi
β	Değişken katsayısı
ϵ_t	Beyaz gürültü hata terimi
ϵ	Elektrik tüketimi (Wh/yıl)
ρ	Motor verimi
ω	Km başına elektrik tüketimi (Wh/km)
α	Yıllık ortalama araç kilometresi (km/araç yıl)
α	Kaynağın elektrik üretimindeki payı (%)
E	Emisyon (kg CO ₂ /yıl)

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ACF	Otokorelasyon Fonksiyonu
AR	Otoregresif
CAFE	Clean Air for Europe Programme
CH ₄	Metan
CNG	Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit

COPERT	Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Emisyonları Hesaplayan Bilgisayar Programı
EMEP/EEA	Avrupa Çevre Ajansı/Hava Kirleticileri Emisyon Envanter Rehberi
EVA	Economic Valuation of Air Pollution (Hava Kirliliğinin Ekonomik Kıymetlendirilmesi)
FV	Nominal Değer
GSYH	Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
İYD	İstatiksel Yaşam Değeri
İYYD	İstatiksel Yaşam Yılı Değeri
KDV	Katma Değer Vergisi
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KOAH	Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
KVH	Kardiyovasküler Hastalığı
LPG	Likit Petrol Gazı
MA	Hareketli Ortalama
MTV	Motorlu Taşıtlar Vergisi
NBD	Net Bugünkü Değer
NH ₃	Amonyak
NM VOC	Uçucu Olmayan Bileşik
NO _x	Azot oksitler
NO ₂	Azot dioksit
N ₂ O	Diazot monoksit
ODD	Otomotiv Distribütörleri Derneği
ODS	Olağan Durum Senaryosu
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü

OICA	International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (Motorlu Taşıt Üreticilerinin Uluslararası Organizasyonu)
O ₃	Ozon
ÖTASAD	Ömrünü Tamamlamış Araç Sanayicileri Derneği
ÖTV	Özel Tüketim Vergisi
Pb	Kurşun
PM	Partikül madde
PV	Bugünkü Değer
SO ₂	Kükürtdioksit
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜVTÜRK	Araç Muayene İstasyonları
VOC	Uçucu Organik Bileşik
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
YDO	Yeniden Değerleme Oranı
YLL	Yaşam Yılı Kaybı

1. GİRİŞ

Bu bölümde ilk olarak düşük karbon ekonomisi tanımlanmış ve ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar hakkında genel bilgiler verilmiş, daha sonra Türkiye’de ulaşım sektörü ile ilgili bazı temel bilgiler sunularak, problemin ne olduğu, bu çalışmanın amacı, hedefi, çalışma yöntemi ve çalışmanın içeriği yer almıştır.

1.1. Ön Bilgi

Günümüzde ulaşım, büyük oranda fosil yakıtlar tüketen araçlar ile sağlanmaktadır. Dünya’da ulaşım için kullanılan yakıtların %95’i petrol kaynaklı yakıtlar olmaktadır. Ülkemizde ise 2018 yılı itibarı ile ulaşımda enerji tüketimi 28.441 bin TEP’tir ve bunun %98’i petrol, %1,2 doğal gaz, %0,8’i ise elektrik ve biyo yakıttır [1]. Ulaşım sektöründe tüketilen enerji ise toplam ulusal enerji tüketiminin %15’idir. Buna bağlı olarak da toplam karbon dioksit (CO₂) emisyonunun %16’sı ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır.

Ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar, şehirlerin hava kalitesinin ve insan sağlığının bozulmasında önemli bir paya sahiptir. Hava kirliliğine maruz kalma kardiyovasküler hastalık, solunum yolu hastalıkları, astım ve akciğer hastalıklarına neden olmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından hava kirliliğinin akciğer kanserine neden olduğu açıklanmıştır. Sağlık üzerine en çok etkiye sahip kirleticiler arasında partikül madde (PM), azot dioksit (NO₂), ozon (O₃) ve kükürt dioksit (SO₂) bulunmaktadır [2].

Ülkemizde 2000-2017 yıllarında ulaşım sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarında %132’lik bir artış gözlenmiş ve bu emisyonlar 85 Mt CO₂ eşdeğerine ulaşmıştır. Birçok ülkede ulaşım kaynaklı emisyonların azaltılması için kirletici vasfı yüksek araçların trafikten çekilmesi bazında teşvik kampanyaları gerçekleştirilmiştir. Türkiye düşük karbon ekonomisine geçişte bir taraftan sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedeflerken, diğer taraftan ekonomik kalkınmasını devam ettirmesi gerekmektedir.

Ulaşımdaki enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları bazında en büyük pay yaklaşık %90 ile karayolu ulaşımıdır. Karayollarında ise ülkemizde 2018 yılı itibarı ile toplam taşıt sayısı 22.865.921 olmuştur. Toplam taşıtların %54’ünü 12.398.190 adetle otomobil,

%16'sını kamyonet, %14'ünü motosiklet oluşturmaktadır. 2018 yılı için trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımına bakılacak olursa %38 oranında LPG, %37 dizel, %25 benzin ve %0,04 oranında elektrikli ve hibrit araçlar olduğu görülmektedir. 2017 yılında Avrupa Çevre Ajansı'nın (EEA) yayınladığı rapora göre Avrupa'daki yakıt dağılımları %49 benzin, %45 dizel ve %4,5'i elektrik ve hibritli araçlardan oluşmaktadır [3]. Avrupa'nın 2030 yılı hedeflerine bakıldığında ise trafikteki araçların %30'unun elektrik ve hibrit araçlardan oluşacağı öngörülmüştür [4]. Almanya'ya bakıldığında 2018 yılında 420.000 adet olan hibrit ve elektrikli araçların, 2030 yılına gelindiğinde 10 milyona ulaşacağı hedeflenmiştir [5].

1.2. Problem Tanımı

Ülkemizde son on yılda araç sayısındaki artış %66 olmuştur. Karayolu ulaşımında hızlı artış gösteren araçlarda yakıt olarak elektrik ve biyo yakıt kullanımı çok düşük seviyede olmasına karşın, neredeyse tamamına yakın bir oranda fosil yakıt kullanılmaktadır ve bu durum sera gazı emisyonlarının ve kirletici emisyonların artmasına neden olmaktadır.

Emisyonların artışına yol açan diğer bir sorun ise karayolunda düşük yakıt verimi olan eski model araçların kullanımınıdır. Eski model araçlar yeni nesil araçlara göre birim mesafe için daha fazla yakıt harcadıklarından dolayı sera gazı emisyonlarına katkıları daha fazla olmaktadır. Avrupa Birliği standardına göre 10 yaş ve üstü araçlar hurda araç olarak sınıflandırılırken Türkiye'deki araçlar için bu yaş 16 ve üzeridir. Ülkemizde 16 ve daha büyük yaşta olan trafiğe kayıtlı araçlar 2018 yılı itibarı ile %33'lük bir paya sahiptir. Toplam hurda araçlarının %56'sı ise otomobillere aittir. Kirletici vasfı yüksek olan eski model araçların yerini alacak olan yüksek yakıt verimli ve/veya yeni nesil temiz teknoloji araçlarla yenilenmesi ile emisyonlar azaltılabilir.

Araç sayısının hızla artması ve filonun hızla yaşlanmasıyla birlikte fosil yakıtların kullanımı arttığı için ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar da artacaktır. Birçok ülkede ulaşım kaynaklı emisyonların azaltılması için kirletici vasfı yüksek araçların trafikten çekilmesi bazında teşvik kampanyaları gerçekleştirilmiştir. Emisyonların artması ile birlikte bir çok ekonomik, çevresel ve sağlık etkileri oluşacaktır. Türkiye düşük karbon

ekonomisine geçişte bir taraftan sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedeflerken, diğer taraftan ekonomik kalkınmasını devam ettirmesi gerekmektedir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Hedefi

Kirletici vasfı yüksek araçların trafikten çekilmesiyle yerine gelecek yeni nesil teknoloji hibrit ve elektrikli araçların maliyet etki analizlerinin gerçekleştirilmesi ve hava kirliliğine olan etkilerinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Literatürde Türkiye’de ulaşım sektöründe karbon emisyonlarının azalımı üzerine gelecek yılları göz önünde bulundurarak senaryo bazında yapılan çalışmalar bulunmaktadır [19]. Fakat bununla beraber yeni nesil temiz teknoloji hibrit ve elektrikli araçların kullanılması ile maliyet etkin ulaşım kaynaklı emisyon azaltılmasının planlandığı çalışmalar literatürde bulunmamaktadır. Ayrıca CO₂ emisyonları hesaplanırken sadece araç kaynaklı emisyonlar hesaplanmış, fakat özellikle elektrikli araçların elektrik temininde oluşan emisyonlar hesaplamalara dahil edilmemiştir. Bunlara ek olarak, yakıt olarak temiz kaynak kullanılmasının karbon emisyonu değerlerine etkisi gözlenmiş fakat maliyet değerine karşı herhangi bir analiz yapılmamıştır. Kirletici emisyonlarının neden olduğu sağlık maliyetleri üzerine yapılan bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Bu çalışmayla mevcut araç filosu bilgisi edinilecek ve kirletici vasfı yüksek araçlar yerine geçecek yeni nesil temiz teknoloji hibrit ve elektrikli araçların trafiğe katılmasının çeşitli senaryolarla hava kalitesine, ekonomiye, elektrik talebine, çevreye ve sağlığa olan etkileri analiz edilecektir. Bu şekilde, ulaşımda düşük karbon ekonomisine geçişte ulaşım kaynaklı emisyonlar bazında gerçekçi politikaların oluşturulmasına katkıda bulunacak bir veri tabanı sağlanacaktır.

1.4. Çalışma Yöntemi

Araçlardan kaynaklanan emisyonların hesaplanabilmesi için ülkemizdeki mevcut araç filosundaki araç türleri, sayıları, yaşı, araç silindir hacmi ve motor teknolojileri hakkında detaylı bilgiler Türkiye İstatistik Kurumu’ndan (TÜİK) temin edilmiş ve Otomotiv Distribütörler Derneği (ODD) verileri ile karşılaştırılmıştır. 2019-2030 yılları arasında emisyon ve maliyet analizleri için gerekli olan araç sayısı tahmini ekonometrik bir model kullanılarak yapılmıştır. TÜİK’ten alınan 1994-2018 yıllarına ait kaydı yapılan veriler göz önünde bulundurularak ve kaydı yapılan araç sayısını etkileyen parametreler

belirlenerek 2019-2030 yılları için kaydı yapılan otomobil ve kamyonet sayıları tahmin edilmiştir.

Mevcut araç filosunun ve filoya katılacak olan elektrikli araçların elektrik tüketimi analizine bağlı olarak araç filosuna dahil edilecek yeni araçların sayı ve türlerini de öngören senaryolar oluşturulmuştur. Araç sayısı talep tahmin çalışmasında yurt dışında gerçekleşen araç tür ve tiplerindeki değişimlerin ülkemizde oluşabilecek etkileri de göz önüne alınmıştır.

Belirlenen araç sayısı, araç yaşı ve yakıt türüne göre oluşturulan senaryolar bazında araçların kullandığı fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonları ve kirletici emisyonlar COPERT v4 programıyla hesaplanmıştır. Elektrikli araçların elektrik tüketiminden dolayı kaynaklanan sera gazı emisyonları da emisyon faktörleri kullanılarak ayrıca hesaplanmıştır.

Trafiğe araçların girmesinin ÖTV, MTV ve KDV açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Trafikten çekilen hurda araçlar ile filoya yeni katılan araçların yakıt tüketimi üzerine etkisi hesaplanmıştır. Hurda araçlar ile ilgili ileriye dönük senaryolar bazında hurda araçların vergi boyutu ve hurda araçlardan kazanılacak metallere dolaylı metal ithalatındaki değişim incelenmiştir. Senaryolar bazında trafikte olan araçlar için akaryakıt üzerinden alınan vergi gelirleri ve akaryakıt tüketim miktarına bağlı olarak ithalat üzerindeki etkisi bulunmuştur. Senaryolar için araçlardan kaynaklı karbon maliyetleri hesaplanmıştır. Buna ek olarak kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan maliyetler ile elektrik tüketiminden kaynaklanan maliyetler de hesaplanmıştır. Son olarak araçlardan kaynaklanan kirletici emisyonlarının neden olduğu sağlık maliyeti de hesaplanarak net fayda maliyet analizleri yapılmıştır.

1.5. Çalışmanın İçeriği

Bu çalışmada yedi bölüm yer almaktadır. 1.Bölüm’de çalışma hakkında ön bilgi, problem tanımı, çalışmanın amacı, hedefi ve çalışma yöntemi sunulmuştur. 2. Bölüm’de ise ulaşım sektörü ve düşük karbon ekonomisi konuları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bu

konular ile ilgili yapılan çalışmalar ise “Önceki alışmalar” başlığı altında 3. Bölüm’de yer almıştır. 4. Bölüm’de ulaştırma sektöründe mevcut durum hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın metodolojisi ve veri kaynakları 5.Bölüm’de yer almıştır. 6. Bölüm’de çalışmanın sonuçları sunulmuş ve bu sonuçlar üzerine tartışmalar yapılmıştır. Son bölüm olan 7. Bölüm’de ise çalışma üzerine yapılan değerlendirmeler ve öneriler ‘Yorum’ başlığı altında yer almıştır.

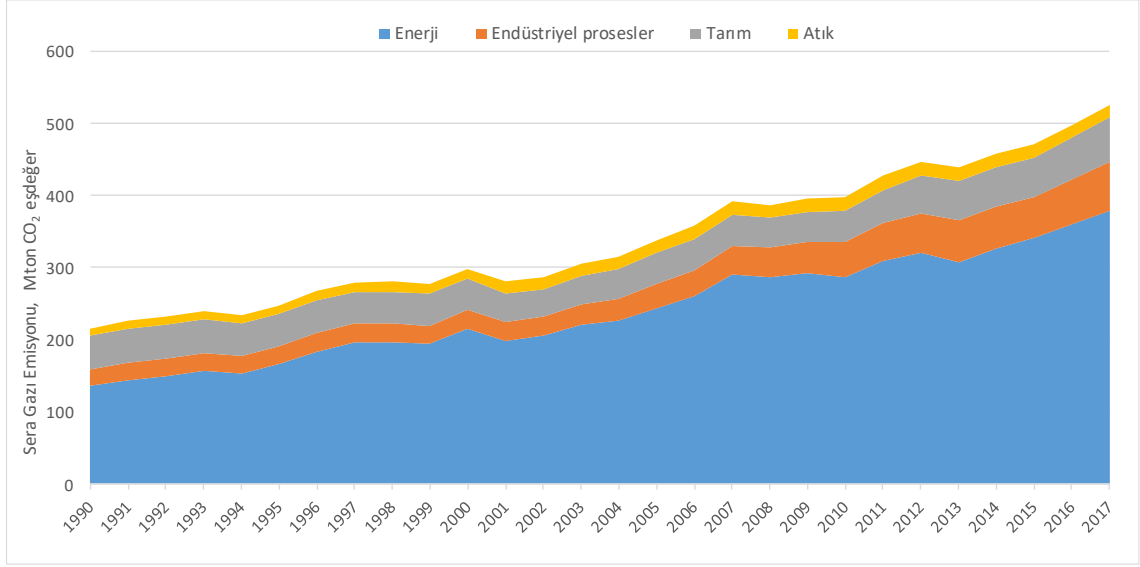
2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde ulaşım sektörünün ülkemizdeki durumu ve ulaşım sektöründe düşük karbon ekonomisine geçiş süreci anlatılmıştır. Ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca düşük karbon ekonomisi nedir, ulaşım sektöründe düşük karbon ekonomisine geçişte nasıl bir yol izlenmesi gerektiği hakkında bilgilere de yer verilmiştir.

2.1. Ulaşım Sektörü

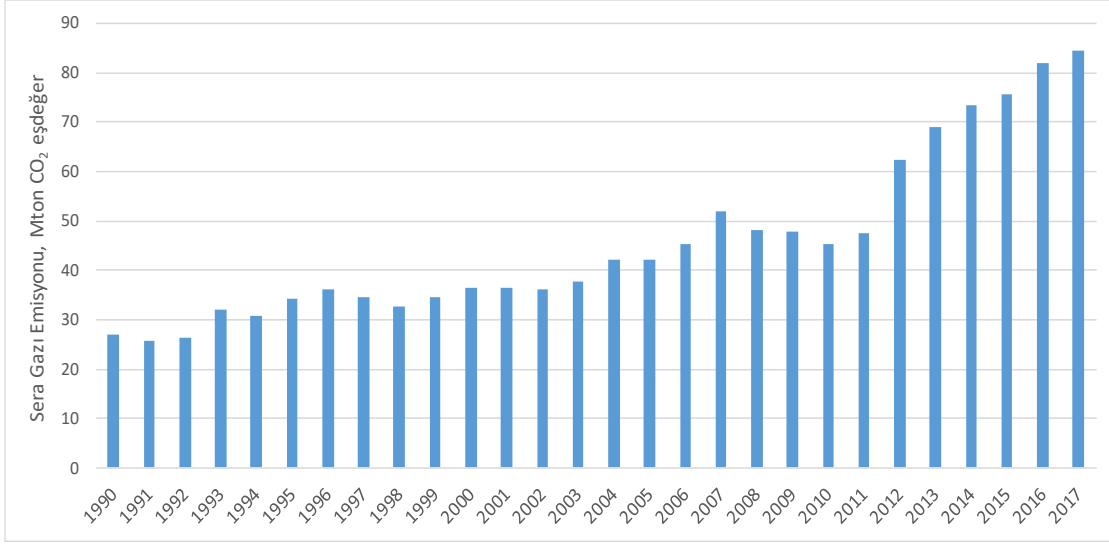
Sosyo-ekonomik gelişmenin en temel yapı taşlarından olan ulaşım; karayolları, demiryolları, denizyolları, havayolları ve boru hatları olmak üzere beş alt sistemden meydana gelmektedir. Bu sistemler yolcu ve yük taşımada farklılıklar göstermektedir. Ülkemizde yurt içi yolcu taşımada; 2017 yılında karayolunun payı %88,8, havayolunun payı %9,6, demiryolunun payı %1 ve denizyolunun payı %0,6 olmuştur. Yük taşımacılığında ise %89,2 ile karayolu en yüksek paya sahip olmuştur [6]. Karayolu ulaşımında, genel olarak hem yük hem de yolcu taşımacılığında bariz biçimde önde yer almaktadır. Ülkemiz 2018 yılında 31.021 km ve 34.153 km devlet yolu olmak üzere toplam 65.174 km karayolu uzunluğuna sahiptir [7]. Demiryolu uzunluğuna bakıldığında ise yüksek hızlı demiryolu hattı 1213 km , konvansiyonel demiryolu hattı ise 11.497 km'dir [8]. Denizyolu ulaşımı ile yaklaşık 140 milyon yolcu taşınmıştır [9]. Havayolu ulaşımında 515 adet uçak kullanılmaktadır [10]. Havayolu ulaşımı ile 210.498.164 yolcu seyahat etmiştir [11].

Toplam sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımlarına bakıldığında, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi uyarınca sunulan Ulusal Envanter Raporunda ülkemizin toplam sera gazı emisyonunun 2017 yılında 526 Mtona ulaştığı bildirilmiştir [12]. Emisyonlarda enerji sektörü %72,2 ile en büyük paya sahiptir. Enerji sektörünü %12,6 ile endüstriyel prosesler, %11,9 ile tarım ve %3,3 ile atık takip etmektedir.



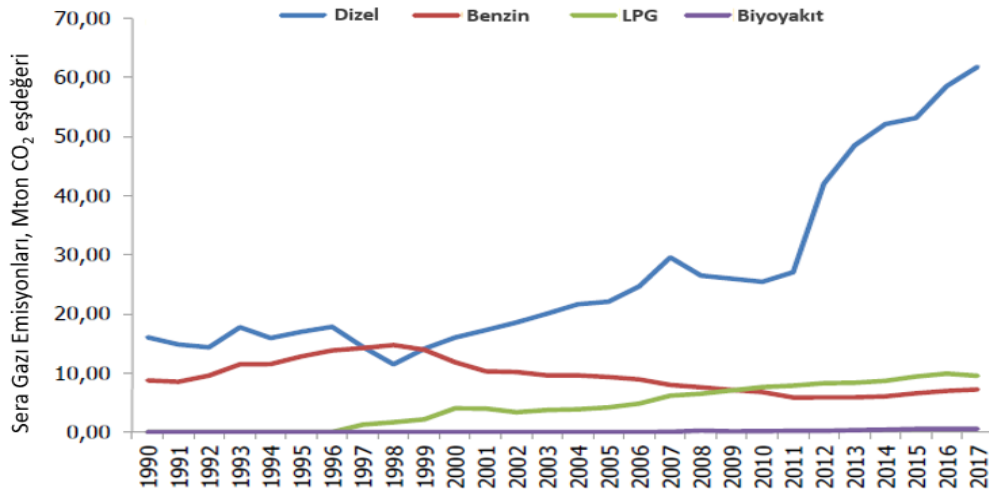
Şekil 2.1. Toplam sera gazı emisyonları 1990-2017, Mton CO₂ eşdeğer [12]

2017 yılı için enerji kaynaklı sera gazı emisyonlarında en yüksek pay %41 ile çevrim ve enerji sektörüne aittir. Bunu %22 ile ulaşım sektörü, %19 ile diğer sektörler ve %16 ile sanayi sektörü takip etmektedir. Ulaşım kaynaklı emisyonlar Şekil 2.2’de verilmiştir. Şekil 2.2’ye bakıldığında ulaşım kaynaklı emisyonların 2017 yılında 85 Mton CO₂ eşdeğerine ulaştığı görülmektedir. Ulaşım kaynaklı emisyonların %93’ü 79 Mton ile karayolu taşıtlarından kaynaklanmaktadır. Havacılığın katkısı %4,5, deniz yolunun %1,1 ve demiryollarının % 0,5’tir. Boru hattı taşımacılığının payı ise %0,9’dur.



Şekil 2.2. Ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonları 1990-2017, Mton CO₂ eşdeğer [12]

Karayolu taşıtlarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının yakıt bazında değerleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Buna göre 2017 yılına gelindiğinde en yüksek sera gazı emisyon kaynağı %78 ile dizelli araçlar olduğu görülmektedir. Dizelli araçları %12 ile LPG, %9 ile benzin ve %1 biyoyakıtlı araçlar takip etmektedir [12]. Dizelli araçlardan yüksek oranda kaynaklanan emisyonlardan dolayı bu çalışmada özellikle dizelli araçların trafikten çekilmesinin etkisi incelenmiştir.



Şekil 2.3. Karayolu taşıtlarından kaynaklanan emisyonların yakıt bazında değerleri 1990-2017, Mton CO₂ eşdeğeri [12]

2.2. Düşük Karbon Ekonomisi

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) düşük karbon ekonomisini insan refahı ve sosyal eşitlik iyileştirilirken çevresel riskleri ve ekolojik kısıtlıkları da önemli ölçüde azaltan bir ekonomi olarak tanımlamaktadır [13]. UNEP'in tanımı, sürdürülebilirliğin sağlanması için bir ön koşul olarak ekonomiyi doğru hale getirmenin önemini vurgulayan düşük karbon ekonomisinin en yaygın kullanılan tanımı olarak kabul edilmektedir. Düşük karbon ekonomisi kavramı, 2008'deki mali krizle bağlantılı olarak Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD), Birleşmiş Milletler (BM) ve Avrupa Birliği (AB) gibi kurumların uluslararası ekonomik söyleminde ekonomik krizden çıkmanın potansiyel yolları olarak görmelerinden dolayı giderek daha da önemli hale gelmiştir [14].

Düşük karbon ekonomisi kavramı söz konusu olduğunda, odak noktası özellikle sera gazı emisyonlarıdır. Kaynak verimliliği ve enerji verimliliği düşük karbon ekonomisinin en temel taşlarından. Düşük karbon ekonomisinde amaç, ekonomik büyümeden ödün vermeden daha az sera gazı emisyonu üreten uygulamaları ve teknolojileri belirlemektir.

Ulaşımında düşük karbon ekonomisine baktığımızda ise, yakıt verimliliği, araç teknolojisinin geliştirilmesi, alternatif yakıtlı araçların kullanılması gibi etkenler büyük önem teşkil etmektedir. Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'na göre 2023 yılına gelindiğinde ulaştırma sektöründe %10'luk bir yenilenebilir enerji payı oluşturulması ile Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nda yer alan [15], şehir içi ulaşımında 2023 yılına kadar alternatif yakıt ve temiz araç kullanımını teşvik etmek için yerel önlemler alınması gibi kararlar ülkemizdeki düşük karbon ekonomisine geçişte önemli bir rol oynamaktadır. Son olarak 2019 yılında yayınlanan Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik'ine göre ulusal ve uluslararası standartlarla uyumlu emisyon sınıfına göre sınıflandırılmış araçların trafik yoğunluğuna bağlı olarak girişinin sınırlandırıldığı, yasaklandığı veya ücretlendirildiği alanların belirlendiği düşük emisyon bölgesini içeren maddeler de ulaşımında düşük karbon ekonomisini desteklemektedir [16].

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 21. Taraflar Toplantısı'nda, katılan tüm ülkeler İklim Değişikliğiyle Mücadele İçin Ulusal Katkı Niyeti Bildirimleri'ni (INDC) açıklamıştır. Buna göre 2030 yılına gelindiğinde ülkemizde toplam sera gazlarının %21 oranında azaltılacağı sözü verilmiştir. INDC hedefine ulaşılabilmesi için ise bir çok sektörde iyileştirilmeye gidilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ulaşım sektöründe yapılması gerekenler ise; şehir içi ulaşımın içindeki bireysel taşıtların emisyon artış oranının sınırlandırılması, 2023 yılına kadar alternatif yakıtların ve temiz araçların kullanımını artırmak için yasal düzenlemeler yapmak ve kapasite geliştirmek, alternatif yakıt ve temiz araç kullanımını teşvik etmek için yerel önlemler almak, 2023 yılına kadar ulaşımdaki enerji tüketimini sınırlamak, şeklinde listelenmiştir [12].

Hava kirliliği, küresel olarak önde gelen çevresel sağlık risk faktörüdür ve bunun sonucunda 2017 yılında iskemik kalp hastalığı, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, akciğer kanseri ve alt solunum yolu enfeksiyonlarından kaynaklanan yaklaşık 3,5 milyon erken ölüme neden olduğu bilinmektedir. Hava kirliliği neden olduğu hastalıklardan dolayı insan sağlığı üzerine maliyet doğurmaktadır. Düşük karbon ekonomisine geçişte sağlık maliyetlerinin etkisi de önemli bir rol oynamaktadır [17].

2.3. Bölüm Sonu

Ulaşım sektörü; karayolları, demiryolları, denizyolları, havayolları ve boru hatları olmak üzere beş alt sistemden meydana gelmektedir. Ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar 2017 yılında 85 Mton CO₂ eşdeğerine ulaşmıştır. Karayolu ulaşımında, genel olarak hem yük hem de yolcu taşımacılığında bariz biçimde önde yer almaktadır. Karayolu ulaşımında 2017 yılına gelindiğinde en yüksek sera gazı emisyon kaynağı %78 ile dizelli araçlara ait olmuştur. Dizelli araçları %12 ile LPG, %9 ile benzin ve %1 biyoyakıtlı araçlar takip etmiştir. Bu çalışmada dizelli araçlardan yüksek oranda kaynaklanan emisyonlardan dolayı özellikle dizelli araçların trafikten çekilmesinin etkisi incelenmiştir.

Düşük karbon ekonomisinde kaynak verimliliği ve enerji verimliliği en temel taşlardır. Düşük karbon ekonomisinde amaç, ekonomik büyümeden ödün vermeden daha az sera gazı emisyonu üreten uygulamaları ve teknolojileri belirlemektir. Ulaşımda düşük karbon ekonomisine bakıldığında ise, yakıt verimliliği, araç teknolojisinin

geliştirilmesi, alternatif yakıtlı araçların kullanılması gibi etkenler büyük rol oynamaktadır. Ayrıca hava kirliliğinin neden olduğu hastalıkların insan sağlığı üzerine maliyet doğurmaktadır. Düşük karbon ekonomisine geçişte sağlık maliyetlerinin etkisi de önemli bir rol oynamaktadır.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ulaşım sektörünün düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinin iyi bir şekilde analiz edilebilmesi için literatür ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Karayolu ulaşımında düşük karbon ekonomisini inceleyen çalışmalarda yeni nesil araçlar, hibrit ve elektrikli araçlar ile hidrojen yakıtlı araçların etkileri incelenmiştir. Düşük karbon ekonomisinin sağlanabilmesi için politikalar üzerine yapılan çalışmalar da bu kısımda ayrıca yer almaktadır. Son olarak uzun dönem araç satış tahminleri ile ilgili incelenen çalışmalara yer verilmiştir. Bahsedilen çalışmalar ayrı başlıklar altında çizelgelerle özet halinde verilmiştir.

3.1. Ulaşımında Farklı Yakıt ve Teknolojiler Üzerine Yapılan Çalışmalar

Avrupa için yapılan bir çalışmada alternatif yakıtların kullanılması ve yeni araç teknolojisi ile ulaşımdan kaynaklı sera gazı emisyonlarının etkilerinin hafifleyebileceğini vurgulamıştır [18]. Bu çalışmada karbonsuzlaştırma oranlarına göre dört farklı senaryo oluşturulmuştur. 2010-2050 yılları için yapılan çalışmada biyo yakıtlı, hibrit, bataryalı elektrikli ve yakıt hücreli araçların kullanılmasıyla 2010 yılına göre %35-57 arasında sera gazı azalımı yapılabileceği belirtilmiştir.

Ulaşımında sera gazı emisyonlarının azaltımı üzerine yapılan araştırmalara bakıldığında düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinin ulaşım sektöründe elektrikli araçlara yönelimin artmasıyla bu hedefe ulaşılabileceği vurgulanmaktadır [19]. Elektrikli araçlarla birlikte diğer temiz teknoloji araçların da dahil edildiği çalışmada ise başta hibrit araçlar kullanarak daha sonrasında ise elektrikli araçlar ve sentetik gaz yakıtlı araçlar kullanarak ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarında azalım yapılabileceği öne sürülmüştür [20]. 2013-2050 yıllarını kapsayan bu çalışmada referans ve alternatif yakıt senaryosu olmak üzere iki ayrı senaryo üzerinde durulmuştur. Buna ek olarak CO₂ vergilerinin eklenmesinin ulaşım kaynaklı emisyonlar üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Sonuç olarak 2050 yılında bataryaların verimlerinin artmasıyla birlikte elektrikli araçların ulaşımdaki payının yükselmesiyle 2013 yılına göre CO₂ emisyonlarında %84 ile %92 azaltım sağlanacağı görülmüştür.

Zhang vd'nin [21] yapmış olduğu bu araştırmanın amacı, binek araç sektöründeki teknoloji yapısı, enerji tedariği ve CO₂ emisyonu için olası geleceği araştırmaktır. MATLAB kullanılarak Binek Araç Tüketici Seçim Modeli oluşturulmuştur. Buna göre elektrikli araçların filoya katılmasıyla 2030 yılında 942.000 ton benzin yerine 4,1 milyar kWh elektriğin tüketileceği ve bu sebeple %72 enerji tasarrufu sağlanacağı bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmayla CO₂ emisyonunda % 46'dan fazla azaltım sağlanacaktır.

Elektrikli araçların araç filosuna giderek daha fazla nüfuz etmesinin elektrik arzını dengesiz hale getirebileceği ve böylece elektrik şebekelerinin yükünün artacağı ileri sürülmektedir [22]. Elektrikli araçların bu süreçteki analizini destekleyen bir çalışmada ANSWER-MARKAL enerji sistemi modeli kullanmıştır [23]. Elektrik talebinin 2050 yılına gelindiğinde olağan durum senaryosuna göre %73 daha fazla olacağı tahmin edilmiştir. 2010 yılında ulaşım sektöründen kaynaklanan elektrik talebinin toplam elektrik talebindeki payı sadece % 1,2 iken elektrikli araçların trafiğe katılmasıyla birlikte 2050 yılında bu değer %6 olacağı öngörülmüştür. Emisyonlarda ise %37'lik bir azaltım sağlanacağı belirtilmiştir. Elektrikli araçların elektrik talebine etkisini inceleyen bir başka çalışmada ise [24], 2050 yılına kadar İspanya karayoluna katılacak olan elektrikli araçların ülkedeki elektrik talebine olan etkisi değerlendirilmiştir. Elektrikli araçların ulaşım katılma oranlarına göre LEAP programı kullanılarak üç farklı senaryo oluşturulmuş ve elektrik talebindeki değişim incelenmiştir. Elektrikli araçların filoya katılmasının nihai elektrik talebinin nispeten küçük bir yüzdesini (%4) kapsadığı bulunmuştur.

Ulaşım sektörü için yaşam döngü analizi çalışmaları da yapılmıştır Bu çalışmada elektrikli ve içten yanmalı motorlu araçların yaşam döngü analizi yapılmış ve sera gazı emisyon değerleri karşılaştırılmıştır [25]. Araçların hammaddesinin elde edilmesinden araçların kullanımına kadar olan tüm süreçlerinde sera gazı emisyonları belirlenmiştir. İçten yanmalı motorlu araçların elektrikli araçlara göre 320 kat daha fazla sera gazı emisyonuna neden olduğu ortaya koyulmuştur. Ulaşımından kaynaklı karbon emisyonu üzerine Avusturya için yapılan bir yaşam döngü analiz çalışmasında, sera gazı emisyonlarının azalabilmesi için elektrikli araçların kullandığı elektriğin yenilenebilir kaynaklı olması ve bunun da şebekedeki payının artması gerektiği söylenmiştir [26]. Yenilenebilir enerjinin 2050 yılında elektrik üretiminin %96'sını oluşturduğu en iyi

senaryoda elektrikli araçlardan kaynaklanan emisyonlarda %66 azaltım olduğu görülmüştür. Bu senaryoda elektrikli araçların payı %94'tür. Yenilenebilir enerjinin şebekedeki payının %36 olduğu bir diğer senaryoda ise %56 azaltım olacağı belirtilmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlara elektrik üretiminde fosil yakıt kullanan santrallerin veriminin artırılması ve bu santrallerde karbon yakalama ve depolama teknolojisinin kullanılması halinde ulaşılabileceği belirtilmiştir. Woo vd.'nin küresel çapta yaptıkları çalışmada ise 70 ülke için elektrikli araçların sera gazı emisyonları hesaplanmıştır [27]. Elektrikli araçların ve içten yanmalı motorlu araçların yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Ülkelerdeki elektrikli araç kullanımından dolayı ortaya çıkan sera gazlarının elektrik üretiminde kullanılan yakıt türüne bağlı olduğu belirtilmiştir. Nükleer ve yenilenebilir kaynaklı üretilen elektriği kullanan elektrikli araçların sera gazı emisyonu içten yanmalı motorlu araçlara göre daha düşük olduğu, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıt kaynaklı üretilen elektriği kullanan elektrikli araçların ise daha fazla sera gazı emisyonuna neden olduğu gösterilmiştir. Avrupa Birliği ülkelerinde 2030 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının %27 olmasıyla ve çeşitli teşviklerle elektrikli araçların piyasaya sürülmesi ile elektrikli araçların faydalı çevresel etkileri önemli ölçüde artacağı belirtilmiştir. Literatürdeki ulaşımda alternatif yakıt ve teknolojiler üzerine yapılan çalışmalar özet halinde Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ulaşımında alternatif yakıt ve teknolojiler üzerine yapılan çalışmalar

Çalışma	Konu	Parametre	Model
Pasaoglu vd. [18]	Temiz teknoloji araçların etkisi	Alternatif yakıtların kullanımı, araç teknoloji yapısı	Ekonomik model
Trost vd. [20]	Hibrit ve elektrikli araçların etkisi	Alternatif yakıtların kullanımı, Araç teknoloji yapısı, batarya verimliliği	Dinamik Stok Akışı
Zhang vd. [21]	Elektrikli araçların etkisi	Araç teknoloji yapısı, Enerji tüketimi	MATLAB Optimizasyon
Dhar vd. [23]	Elektrikli araçların etkisi	Elektrik talebi	ANSWER-MARKAL
Navas vd. [24]	Elektrikli araçların etkisi	Elektrik talebi	LEAP-OSeMOSYS
Jing vd. [25]	Elektrikli araçların etkisi	Araç teknoloji yapısı	Yaşam Döngü Analizi
Wolfram vd. [26]	Elektrikli araçların etkisi	Yenilenebilir enerji kaynakları	Yaşam Döngü Analizi

Çalışma	Konu	Parametre	Model
Woo vd. [27]	Elektrikil araçların etkisi	Yenilenebilir enerji kaynakları	Yaşam Döngü Analizi

Ulaşım sektöründe düşük karbon ekonomisine geçişte özellikle araç teknolojisi ve alternatif yakıtların kullanımı araştırılmıştır. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında özellikle elektrikli araçların sera gazı emisyonlarında ciddi bir azaltıma neden olacağı belirtilmiştir. Çalışmalarda MATLAB, ANSWER-MARKAL, LEAP gibi optimizasyon modelleriyle birlikte yaşam döngü analizleri de kullanılmıştır. Sera gazı emisyonlarında araç teknolojisine bağlı olarak %35-%92 arasında azaltımın sağlanabileceği çalışmalarla ortaya konulmuştur. Ayrıca bazı çalışmalarda elektrikli araçların kullanmış olduğu elektriğin şebekedeki yenilenebilir enerji kaynaklarının payının sera gazı emisyonlarındaki azaltım üzerine etkileri de dahil edilmiştir.

3.2. Ulaşım Sektöründe Politikalar Üzerine Yapılan Çalışmalar

Ulaşımında düşük karbon ekonomisine geçiş sürecini araştıran bir çalışmada karbon vergisinin, araç emisyon standartlarının, düşük emisyonlu araç kullanımının, ve düşük karbonlu araçlara uygulanan teşviklerin etkisi araştırılmıştır [28]. Çalışmada CIMS optimizasyon modeli kullanılarak düşük karbon yakıt standartlarının (LCFS) yakıt tedariğine etkisi incelenmiştir. LCFS'ye ek olarak farklı politikaların etkisini incelemek için senaryolar oluşturulmuştur. Karbon vergisi, düşük karbon araç standartları ve sıfır karbon emisyonlu araçlara yapılacak olan teşvikleri içeren politikalarla hazırlanan senaryolar kıyaslandığında, 2050 yılına gelindiğinde 2007 yılına göre sera gazı emisyonunda %14-%57 arasında azaltıma neden olacağı belirtilmiştir. Otomobillerden kaynaklanan emisyonların uygulanacak olan teşvikler ve elektrikli araçlardan alınan vergilerin düşürülmesiyle ilgili yapılan diğer bir çalışmada E3ME-FTT modeli kullanılmıştır [29], daha yüksek bir teşvik ve elektrikli araçlara uygulanacak indirimle trafikten kaynaklanan emisyonların %50'nin üzerinde azaltılabileceği tahmin edilmiştir. İzlanda için yapılan çalışmada ise kısmi denge modeli olan UniSyD modeli kullanılmıştır [30]. Bu çalışmada alternatif yakıtlar için yapılan yatırımların yalnızca sera gazı emisyonlarını azaltmakla kalmayacağı, aynı zamanda tüketiciler için yakıt maliyet tasarrufu ve hükümet için yakıt ithalat maliyetlerini azaltarak uzun vadeli ekonomik fayda sağlayabileceği vurgulanmıştır. Toplam fosil yakıt talebinin %43 azalacağı, sera gazı emisyonlarında ise %50-%80 arasında azaltıma neden olacaktır.

Düşük karbonlu elektrik veya hidrojen kaynakları ile çalışan araçlar, geleneksel fosil yakıtlı teknolojilere bir alternatif sunmaktadır. Ancak, hükümetlerin ve otomobil üreticilerinin yatırımlarına rağmen, bu araçlardaki satış istenilen orana ulaşamamıştır [31]. McCollum vd.'nin yaptığı bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak temiz teknoloji araçların alınmasında tüketici tercihleri ve karbon fiyatlandırması araştırılmıştır. Araştırmada araçların kullanıldığı bölgeler, teknolojinin benimsenmesine yönelik tutum, araç kullanım yoğunluğu, yakıt istasyonlarının bulunabilirliği ve elektrikli araçların şarj edileceği istasyonların kurulumu dikkate alınmıştır. Altı farklı ekonomik model kullanılmıştır. Buna göre karbon fiyatlandırması ile 2050 yılına gelindiğinde hafif ticari araç stoğu içindeki elektrikli araçların payının %3 iken %29 olacağı, bununla birlikte sera gazı emisyonlarında ise %25-%50 arası azaltım olacağı belirtilmiştir. Karayolu ulaşımında hidrojen yakıt hücreli araçların (HFCV) etkili olabileceğini savunan bir çalışmada yapısal eşitlik modellemesi (SEM) kullanılmıştır [32]. Bu çalışmaya göre araştırma ve geliştirmeye (Ar-Ge) kamu yatırımı, fosil yakıtla çalışan araçlara yönelik caydırıcılar, HFCV'lere yönelik teşvikler, düşük karbonlu ulaşım konusunda farkındalığın artırılması, ulaşım için karbon fiyatlandırmasına geçiş ve HFCV'lerin alışı fiyatında indirimlerin yapılması gerekmektedir. Bunların yapılmasıyla düşük karbon ekonomisinin sağlanacağı öngörülmüştür. Sürdürülebilir kentsel ulaşım politikalarının ve tedbirlerinin yüksek öncelik olarak kabul edildiğini, yakıt kalitesi ve yakıt ekonomisi standartları ve elektrikli araçların çok kilit bir önem taşıdığını göstermektedir.

Yapılan başka bir çalışmada ise ulaşımında yeni nesil teknoloji araçların kullanımı ve bu araçlar ile fosil yakıtlı araçların enerji tüketimi karşılaştırılması yer almıştır [33]. Düşük karbon ekonomisine geçişte toplu taşıma sistemini inceleyen bu çalışmada otobüslerin enerji üretimi, enerji yapısı ve taşıt yakıt tipinin sera gazı emisyon azaltımı üzerindeki etkisini analiz etmek için farklı senaryolar oluşturulmuştur. Çalışmada yeni teknoloji araçların trafiğe girmesinden kaynaklanan karbon emisyonlarındaki değişiklikler hesaplanmıştır. 2016'dan 2020'ye kadar elektrikli araçların, Guangdong eyaletindeki yeni kaydı yapılan otobüslerin %63-79'unu oluşturduğu, doğal gaz ile hibrid araçların ise toplamın %13-16'sını oluşturduğu tahmin edilmiştir. 2020 yılında otobüslerin toplam karbon emisyonu 2016'ya kıyasla %44,6 azalmıştır.

Ulaşımındaki farklı bir sorunu ele alan bir çalışmada ise düşük karbon ekonomisi hedefine trafik tıkanıklığının kontrol edilerek ulaşılması da araştırılmıştır [34]. Bu çalışmadaki amaç trafik sıklığı ile düşük karbonlu ekonomi arasındaki dengeyi sağlamaktır. Gayrisafi yurt içi hasıla (GSYH) ve karayolu yolcu trafik hacmi kullanılarak emisyon regresyon modeli oluşturulmuştur. Trafik sıklığını azaltarak 2020'de trafikten kaynaklanan karbon emisyonunun azaltılması 2005 yılına göre %19,7 olacağı tahmin edilmiştir. 2020 yılına gelindiğinde ulaşımdan kaynaklı sera gazı emisyonlarının %45 oranında azalacağı taahhüt edilmiştir fakat yalnızca trafik sıklığının dengelenmesi ile bu hedefe ulaşamayacağı, bununla birlikte farklı politikaların da getirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Hava kirliliği, küresel olarak önde gelen çevresel sağlık risk faktörüdür ve bunun sonucunda 2017 yılında iskemik kalp hastalığı, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, akciğer kanseri ve alt solunum yolu enfeksiyonlarından kaynaklanan yaklaşık 3,5 milyon erken ölüme neden olduğu bilinmektedir. Sağlık maliyetlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle kirlenici emisyonlarının konsantrasyon değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İm vd.'nin yaptığı çalışmaya göre emisyonların CTM simülasyon modeliyle konsantrasyonları bulunmuştur. EVA modeli ile bu emisyonların sağlık etkisi maruziyet yanıt fonksiyonu (exposure response function, ERF) kullanılarak bulunmuştur. Buna göre emisyonların %20 azaltılması ile 54.000 erken ölümün önüne geçilebileceği belirtilmiştir [35]. İklim politikalarının sağlık etkileri üzerine yapılan çalışmada GEOS-Chem taşınım modeli kullanılarak kirlenici emisyonlarının konsantrasyonları simüle edilmiştir. Ulaşım sektörünün, partiküler madde (PM) ve ozon (O₃) emisyonlarından kaynaklanan toplam ölümlerin %11,4'ünden sorumlu olduğu belirtilmiştir [36]. Ulaşım sektöründe karayolu taşıtları için yapılan bir çalışmada ise PM_{2.5} emisyonlarının sağlık üzerine etkisi ERF kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada PM konsantrasyonları GAINS programı kullanılarak bulunmuş ve sağlık maliyetlerinin hesaplanabilmesi için IMED/CGE ekonomik modeli kullanılmıştır. Senaryolar bazında yapılan çalışmaya göre en uygun senaryoda sağlık masraflarında %42 azaltım olabileceği savunulmuştur [37]. Ulaşım sektöründeki yük taşımacılığının sağlık üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada ise emisyonlar COPERT programıyla bulunmuş, partiküler maddelerin maruziyetine bağlı yaşam yılı kaybının (years of life lost-YLL) farklı oranlardaki değerlerle senaryolar oluşturulmuştur. Buna göre yıllık 400 milyon - 1,2 milyar Euro arasında sağlık maliyetine

neden olduğu bulunmuştur [38]. Ulaşım sektöründe politikalar üzerine yapılan çalışmalar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ulaşım sektöründe politikalar üzerine yapılan çalışmalar

Çalışma	Konu	Parametre	Model
Lepitzki vd. [28]	Araç teknolojisinin etkisi	Karbon vergisi, araç emisyon standartları, araç kullanımı, düşük karbonlu araçlara uygulanan teşvikler	CIMS, optimizasyon
Lam vd. [29]	Elektrikli araçların etkisi	Teşvikler, elektrikli araçlardan alınan vergiler	E3ME-FTT
Shafiei vd. [30]	Araç teknolojisinin etkisi	Yakıt fiyatı, karbon vergisi, teşvikler	UniSyD
McCullum vd. [31]	Temiz teknoloji araçların etkisi	Araç kullanım yoğunluğu, yakıt istasyonları, elektrikli araç şarj istasyonları	MESSAGE-Transport GEM-E3T-ICCS, IMACLIM-R, IMAGE
Amin vd. [32]	HFCV’lerin etkisi	Teşvikler, karbon maliyeti, yakıt ekonomisi	SEM
Chen [33]	Yeni nesil toplu taşıma araçlarının etkisi	Otobüslerin enerji tüketimi, enerji yapısı, taşıt yakıt tipi	CDM
Yang vd. [34]	Trafik sıkışıklığının etkisi	GSYH ve karayolu yolcu trafik hacmi	Regresyon modeli
İm vd. [35]	Emisyon azaltımının sağlık üzerine etkisi	Toplam PM, CO, SO ₂ ve O ₃ konsantrasyonu, nüfus, ERF	CTM, EVA
Ananberg vd. [36]	Ulaşımın sağlık üzerine etkisi	Araç kaynaklı PM ve O ₃ konsantrasyonu, nüfus	GEOS-Chem taşınım modeli, sağlık etki değerlendirmesi
Tian vd. [37]	Karayolu taşıtlarının sağlık üzerine etkisi	Araç kaynaklı PM konsantrasyonu, nüfus, ERF	GAINS, IMED/CGE ekonomik model
Piscitelli vd. [38]	Yük taşımacılığının sağlık üzerine etkisi	Araç kaynaklı PM ve NO ₂ emisyon konsantrasyonu, nüfus, YLL	COPERT, sağlık etki değerlendirmesi

Ulaşım sektöründe düşük karbon ekonomisine geçişte iklim politikalar üzerine yapılan çalışmalarda özellikle karbon vergileri ve temiz teknolojili araçlara uygulanan teşvikler üzerinde durulmuştur. Bu iklim politikaları belirli senaryolar oluşturularak karşılaştırılmış ve sera gazı emisyonları üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Çalışmalarda CIMS, E3ME-FTT , MESSAGE-Transport GEM-E3T-ICCS, IMACLIM-R, IMAGE, SEM ve CDM gibi optimizasyon modelleri ile regresyon modelleri kullanılmıştır. Yeterli politikalar geliştirilirse sera gazı emisyonlarında %14 - %80 arasında azaltımın sağlanabileceği belirtilmiştir. Ulaşım sektöründe yapılan sağlık maliyetleri çalışmalarında ise emisyonların belirlenmesinde GEOS-Chem, COPERT ve GAINS gibi modeller kullanılmış ve sağlık maliyetlerinin hesaplanabilmesi için EVA, IMED/CGE gibi ekonomik modeller kullanılmıştır.

3.3. Araç Talep Tahminlerinin Yapıldığı Çalışmalar

Ulaşım sektöründe düşük karbon ekonomisine geçişteki süreçte kısa ve uzun dönem araç talep tahminlerinin doğru bir şekilde yapılması çalışmanın ilerleyen kısımları için büyük önem taşımaktadır. Araç satış tahminleri üzerine yapılan bir çalışmada otoregresif entegre hareketli ortalama modeli (ARIMA) ve yapay sinir ağı modeli ile ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) arasındaki fark karşılaştırılmıştır. Modellerde parametre olarak otomobil fiyatları, petrol fiyatı, nüfus, işsizlik oranı ve döviz kuru kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda ANFIS modelinin uygulanmasının diğer iki modelden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir [39]. Elektrikli araçların ve otomobillerin aylık satışlarına dayalı olarak elektrikli araç talebinin tahmin edildiği çalışmada zaman serisi modeli kullanılmış ve üssel düzeltme metodları karşılaştırılmıştır [40]. Elektrikli araçların fiyatı, fosil yakıtların ücreti, şarj istasyonlarının sayısı, elektrikli araç teknolojisi ve vergilendirme politikalarının EV satışları üzerinde farklı bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.

Ülkemizde yapılan bir çalışmada ise kamyonetlerin satışları tahmin edilmiş ve zaman serisi modeli kullanılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak hurdaya çıkan araç sayıları da araç satışı üzerindeki etkisi çalışmaya dahil edilmiştir [41]. Otomobillerin satış tahminini yapan bir başka çalışmada ise regresyon modeli ve genelleştirilmiş en küçük

kareler (FGLS) tahmin metodu kullanılmıştır. Otomobil fiyatları, otomobil fiziksel özellikleri, kalite ve aracın yapıldığı ülkenin araç talebine olan etkileri incelenmiştir [42].

Elektrikli araç talep tahmininin yapıldığı bir çalışmada ise regresyon modeli kullanılmıştır. Modelleme sonuçlarına göre, 2040 yılına kadar elektrikli araç sayısı 2016'ya kıyasla 60-70 kat artacak ve senaryoya bağlı olarak filonun %12 ile %28'sine ulaşacaktır. Burada önemli olan parametreler, pil maliyetini düşürme oranı ve devlet desteklerinin miktarıdır [43]. Araç talep tahminlerinin yapıldığı çalışmalar Çizelge 3.3'te özet halinde verilmiştir.

Çizelge 3.3. Araç talep tahminlerinin yapıldığı çalışmalar

Çalışma	Konu	Parametre	Model
Wang vd. [39]	Otomobil talep tahmini	Otomobil fiyatları, petrol fiyatı, nüfus, işsizlik oranı ve döviz kuru	ARIMA, yapay sinir ağı, ANFIS
Peng vd. [40]	Otomobil talep tahmini	Araç fiyatı, fosil yakıtların ücreti, şarj istasyonlarının sayısı, elektrikli araç teknolojisi ve vergilendirme	Zaman serisi, Üssel düzeltme metodu
Demiroglu vd. [41]	Kamyonet talep tahmini	Araç fiyatı, yakıt ücreti, hurda araç sayısı	Zaman serisi modeli
Alper vd. [42]	Otomobil talep tahmini	Otomobil fiyatları, otomobil özellikleri, üretildiği yer	Regresyon modeli
Kapustin vd. [43]	Elektrikli araç talep tahmini	Batarya maliyetleri, devlet destekleri	Regresyon modeli

Ulaşım sektöründe gelecekte yapılan projeksiyonlar için en önemli kriterlerden biri olan araç talep tahminleri literatürde bir çok modelle yapılmıştır. ARIMA, ANFIS, yapay sinir ağı, zaman serisi ve regresyon modelleri ile çalışılarak araç talep tahminleri yapılmıştır. Çalışmalarda araç talep tahminlerini en doğru şekilde yapabilmek için, araç fiyatları, fosil yakıt fiyatı, nüfus, işsizlik oranı, döviz kuru, vergilendirme, hurda araç sayısı modellerde kullanılırken, elektrikli araçlar için özellikle şarj istasyonlarının sayısı, elektrikli araç teknolojisi ve vergilendirme gibi parametreler esas alınmıştır.

3.4. Bölüm Sonu

Bu bölümde ulaşım sektöründe düşük karbon ekonomisine geçişte araç teknolojisi ve alternatif yakıtların kullanımı ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir. Özellikle gelecek yılları göz önünde bulundurularak yapılan çalışmalarda bir çok farklı optimizasyon modelleri ve regresyon modeli kullanılmıştır. Ayrıca elektrikli araçlar üzerine yaşam döngü analizlerinin de bulunduğu çalışmalar literatürde yer almaktadır. İncelenen çalışmalara göre fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara geçildiği takdirde sera gazı emisyonlarında önemli ölçüde azaltım sağlanabilecektir.

Ulaşım sektöründe düşük karbon ekonomisine geçişte iklim politikalar üzerine yapılan çalışmalarda ise özellikle karbon vergileri ve temiz teknoloji araçlara uygulanan teşvikler üzerinde durulmuştur. Çalışmalarda kullanılan optimizasyon modelleri oldukça farklılık göstermektedir. Etkili politikalar geliştirilmesi takdirde sera gazı emisyonlarında önemli oranda azaltımın sağlanabileceği bilgisi literatürden edinilmiştir. Kirletici emisyonlarının sağlık üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda ise öncelikle emisyonların hesaplanabilmesi için emisyon modelleri kullanılmış ve sonrasında ekonomik modellerle sağlık maliyetleri bulunmuştur. Araç emisyon standartları ve araç teknolojilerinin kontrolü ile sağlık masraflarının büyük bir oranda azaltılabileceği çalışmalarda belirtilmiştir.

Ayrıca araç talep tahminlerinin yer aldığı çalışmalara bakıldığında araç fiyatının, yakıt fiyatlarının ve vergilendirmenin gelecek yılları kapsayan araç talep tahminleri için büyük önem taşıdığı gözlenmiştir.

4. ULAŞIM SEKTÖRÜNDE MEVCUT DURUM

Ülkemizdeki mevcut araç filosundaki araç türleri, sayıları, yaşı, araç silindir hacmi ve motor teknolojileri hakkında detaylı bilgiler temin edilmiştir. Ayrıca araçların euro standartlarına göre olan emisyon faktörleri, karayolu ulaşımındaki enerji tüketimi ve kilometre değerleri ile ilgili bilgiler de bu bölümde yer almıştır. Yaşı yüksek araçların daha çok yakıt tüketeceğinden dolayı açığa çıkan emisyon da fazla olacaktır. Bu sebeple araç filosunun iyi analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Mevcut araç filosu araç tipine, araç sayısına, araç yaşına, silindir hacmine ve motor teknolojilerine göre analiz edilmiştir. Mevcut araç tipleri, sayısı, yaşı ve silindir hacimleri TÜİK ve ODD'den alınmıştır.

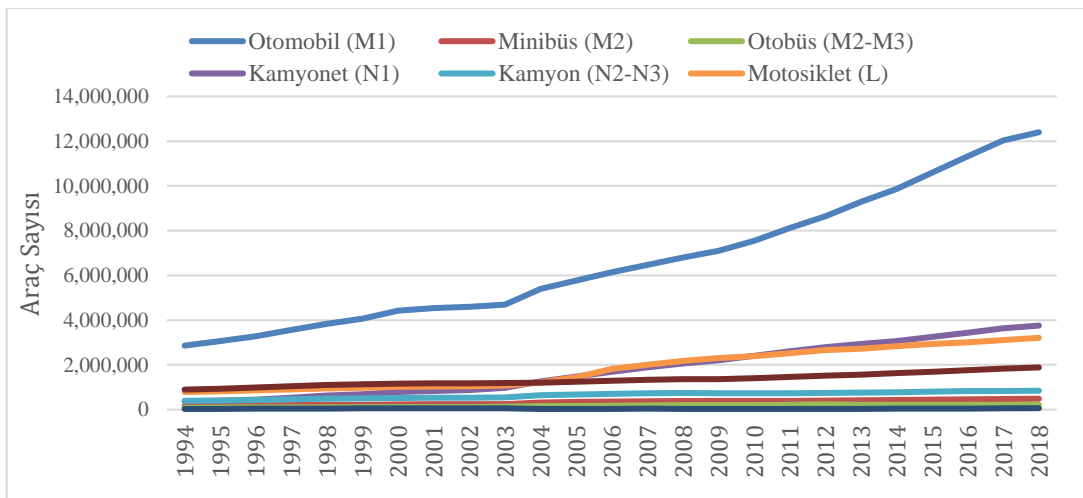
4.1. Araç Bilgileri

Ülkemizdeki araç tipleri TÜİK'e göre; otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet, kamyon, motosiklet, özel amaçlı ve traktör şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada araç filosunu oluşturan araçların tipi birbirinden farklı özellikler gösterdiğinden ve ayrı emisyon hesaplaması gerektirdiklerinden araç tiplerinin; araç sayısı, araç yaşı, araç motor silindir hacimleri ve motor teknolojilerine göre ayrıntılı bir şekilde sınıflandırılması büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde araçlar belli sınıflara göre kategorilenmiştir. Otomobil (M1), minibüs (M2) ve otobüs (M2 veya M3) en az dört tekerli yolcu taşımada kullanılan motorlu araç tipidir ve M kategorisine girmektedir. Hafif ticari araçlar olarak sınıflandırılan araçlar ise yük taşımak için kullanılan kamyonetlerdir (N1), ağır ticari araçlar sınıfına giren araçlar ise kamyonlardır (N2 veya N3). En az dört tekerli veya maksimum ağırlığı bir tonu geçen ve yük taşımada kullanılan motorlu araçlar N kategorisindedir. Tekerlek sayısının dörtten az olduğu moped ve motosikletler L kategorisinde bulunmaktadır. T kategorisi araçlar ise tarım ve ormancılıkta kullanılan traktörlerdir. Ana işlevi çekme gücü sağlamak olan ve tarım veya ormancılık alanlarında kullanılan aletleri çekmek, itmek veya taşımak için özel olarak tasarlanmış, en az iki dingilli, tekerlekli veya paletli motorlu araçlardır. Özel amaçlı araçlar ise insan veya eşya taşımak için imal edilmiş olan ve itfaiye, cankurtaran, naklen yayın ve kayıt (radyo, sinema, televizyon,) kütüphane, motorlu karavan, zırhlı araç, araştırma, cenaze araçları ile bozuk veya hasara uğramış taşıt ve araçları çekmek, taşımak veya kaldırmak gibi özel işlerde kullanılan O sınıfı motorlu araçlardır.

4.1.1. Araç Sayısı

Her araç türünün sayısı yıllık şekilde düzenlenen veriler olarak Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) ve TÜİK'ten alınmıştır [44]. Ülkemizdeki 1994-2018 yılları arasında toplam motorlu kara taşıtları sayısı 1994-2018 yılları içinde %308'lik bir artışla 22.865.921'e ulaşmıştır. 2008-2018 yılları arasındaki fark son on yıl içinde otomobil sayısı %82 artışla 12.398.190'a , minibüs sayısı %27 artışla 487.527'e, otobüs sayısı %9 artışla 218.523'e, kamyonetler %82 artışla 3.755.580'e, kamyonlar %14 artış ile 845.462'ye, motosikletler %47 artış ile 3.211.328'e, özel amaçlı araçlar %81 artış ile 63.359'a ve traktörler ise %39 artış ile 1.885.952'ye ulaşmıştır.

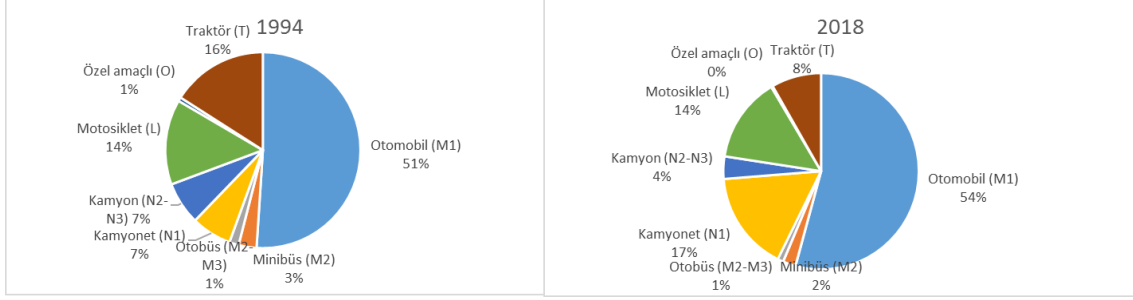
1994-2018 yılları arasında araç tiplerinin sayıları Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi araç sayısındaki en fazla artış otomobilde olmaktadır. 1994 yılında otomobil sayısı 2.861.640 iken 2018 yılında 4.3 katına çıkarak 12.398.190'a ulaşmıştır. Otomobilden sonra ise en büyük artış kamyonet ve motosiklette gözlenmiştir.



Şekil 4.1. 1994-2018 yılları arasında araç tiplerinin sayıları [44]

Karayolu taşıtlarının 1994 ve 2018 yılına ait dağılımları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Buna göre 1994 yılında otomobil %51 ile en yüksek paya sahiptir. Traktör %16 ile ikinci en büyük paya sahip olurken en düşük pay otobüs ve özel amaçlı araçlara aittir. 2018 yılına ait verilere bakılacak olursa kara taşıtları içerisinde en yüksek pay %54 ile otomobillere aittir. Otomobillerden sonra ise %17'lik pay ile kamyonetler gelmektedir. Üçüncü sırayı

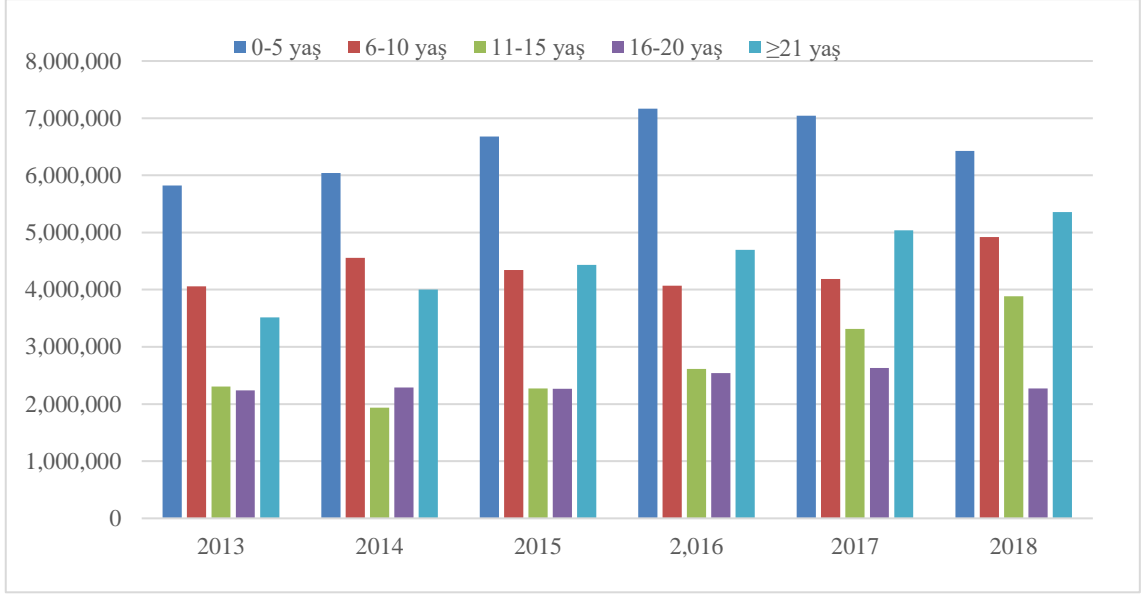
ise %14'lük pay ile motosikletler almaktadır. İki şekil için kıyaslama yapıldığında otomobillerin her zaman en büyük paya sahip olduğu görülmektedir. 1994 yılındaki traktörlerin payı 2018'ye göre azaldığı, kamyonetlerin payının ise arttığı gözlenmiştir. AB ülkelerinde ise 2018 yılında stoğun %87'si otomobiller %11'i kamyonet, %2'si kamyonlardan oluşmaktadır [45].



Şekil 4.2. 1994 ve 2018 yıllarında kara taşıtlarının dağılımı (%) [44]

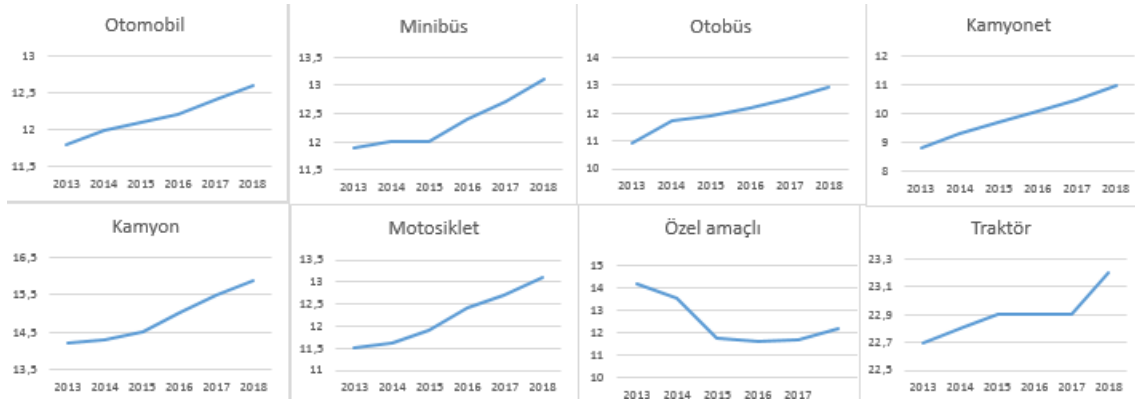
4.1.2. Araç Yaşı

Yaş grubu analizleri yapılarak ülkedeki her bir araç tipinin yaş dağılımları ortaya çıkarılmaktadır. Araç yaşı büyük olan araçların kirleticilik vasfı da yüksek olmaktadır. Bu sebeple emisyon hesaplamalarında en çok dikkate alınacak kısımlardan biri de araç yaşıdır. TÜİK'ten alınan yıllara göre araç dağılımı 5 yaş ve altı, 5-10 yaş, 11-16 yaş, 16-20 yaş ve 21 yaş üstü olmak üzere Şekil 4.3'te gösterilmiştir. 2013-2018 verilerine bakılırsa yıllar bazında en çok araç sayısı 0-5 yaş aralığında olmaktadır. Genç yaş araç grubunun fazla olmasına rağmen kirletici vasfı yüksek olduğu düşünülen 16-20 yaş aralığı ile 21 yaş ve üzeri araç sayısının da giderek arttığı görülmektedir [46].



Şekil 4.3. 2013-2018 yıllarında araç yaş gruplarında araç sayıları [46]

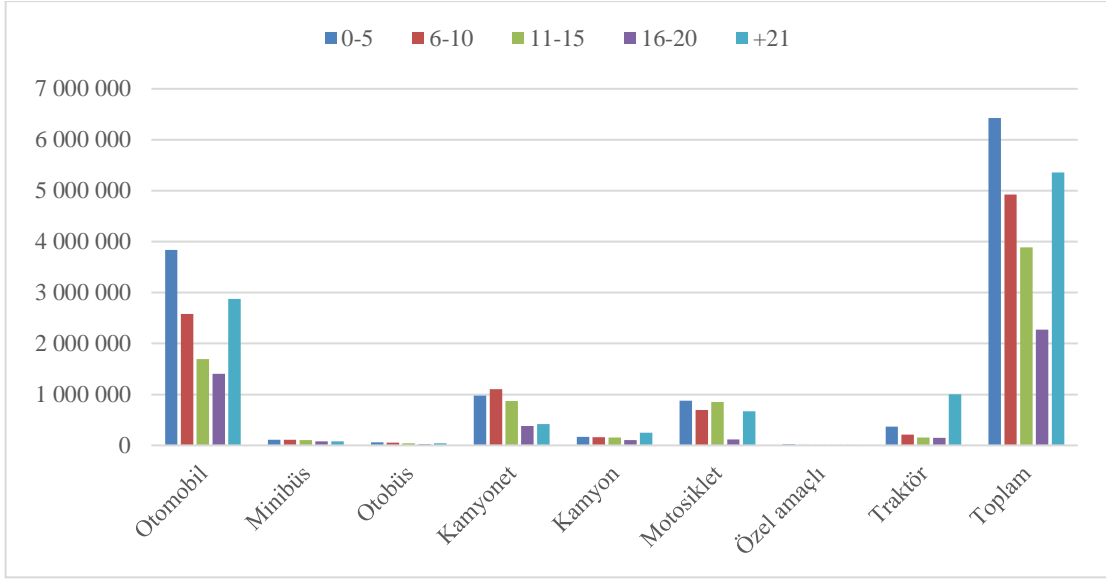
Araç tiplerinin 2013-2018 yılları arasında ortalama yaşları Şekil 4.4'te gösterilmiştir. TÜİK'ten alınan verilere göre trafiğe kayıtlı araçların yaş grubuna göre dağılımı 2013-2018 yıllarına ait veriler EK 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Şekil 4.4'e bakıldığında 2013 yılında 22,7 yaş ortalaması ile en büyük yaş ortalamasına sahip araç tipi traktör olduğu görülmektedir. Bunu 14,2 ortalama ile kamyon ve özel amaçlı araçlar takip etmektedir. Otomobillerin ise yaş ortalaması 11,8'dir. 2018 yılında ise otomobiller için 12,6, minibüslerde 13,1, otobüslerde 12,9, kamyonetlerde 11, kamyonlarda 15,9, motosikletlerde 13,1, özel amaçlı taşıtlarda 12,2 ve traktörlerde 23,2 olmuştur. Toplam ortalama yaş kıyaslanacak olursa 2013'te 12,3 iken 2018'de 13,4'e yükseldiği görülmektedir. Yalnızca özel amaçlı araç sayısının yaş ortalamasında düşüş olduğu diğer araç tiplerinin yaş ortalamasının yükseldiği görülmektedir. Tüm araç tiplerinin yaş ortalamasında artış mevcuttur. Özel amaçlı araçların yaş ortalamasının 2013-2015 aralığında düşüş gösterdiği fakat son iki yılda artış olduğu gözlemlenmektedir. Yaş ortalamasındaki bu büyüme 16 yaş ve üzeri yani kirletici vasfı yüksek araçların 2018 yılında diğer yıllara göre daha fazla kullanıldığına işaret eder.



Şekil 4.4. 2013-2018 yılları arasında araç ortalama yaşları [47]

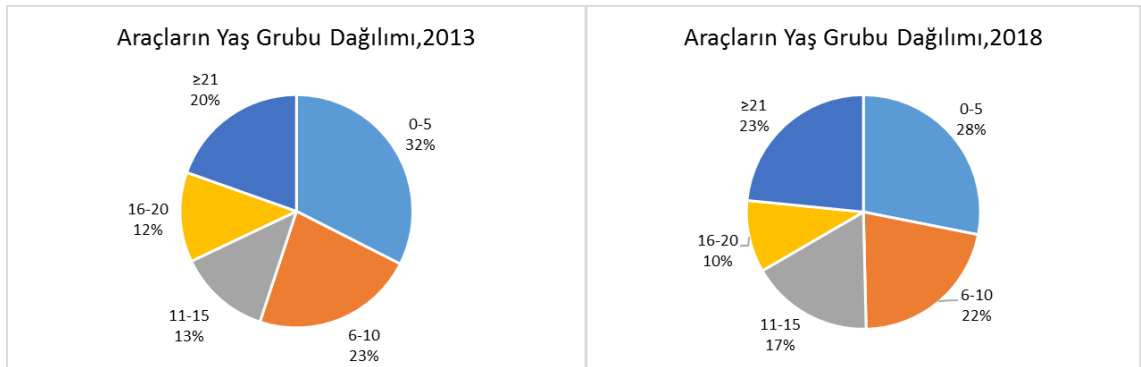
Diğer ülkelerin araç yaş ortalamalarını karşılaştırılacak olursa; 2018 yılında Amerika'nın araç yaş ortalaması 11,7'dir [48]. Avrupa'da ise otomobiller için yaş ortalaması Almanya için 8,9 iken İngiltere için 8,5'tir. En yüksek yaş ortalamasına sahip ülke ise 17,2 ile Polonya olmuştur [49].

2018 yılı yaş gruplarına göre araç sayısı verileri Şekil 4.5'te verilmiştir. Görüldüğü gibi toplam karayolu taşıtlarının büyük çoğunluğu 6.427.694 adet ile genç yaş olan 0-5 yaş grubu araçlara aittir. Bunu 5.356.613 adet ile kirletici vasfı yüksek olan 21 yaş ve üzeri araçlar takip etmektedir. 4.921.968 araç 6-10 yaş aralığında ve 3.887.348 araç 11-15 yaş aralığında, 2.272.298 araç ise 16-20 yaş aralığındadır. Otomobilde de en çok pay 0-5 yaş grubuna ait olup 3.840.344 adettir. Bunu 2.875.193 adet ile 21 yaş ve üzeri araç grubu takip etmektedir. Yalnızca traktör için 21 yaş ve üzeri araç sayısı diğer yaş gruplarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Geriye kalan araç tiplerinde ise en yüksek araç sayısı 0-5 yaş grubuna aittir.



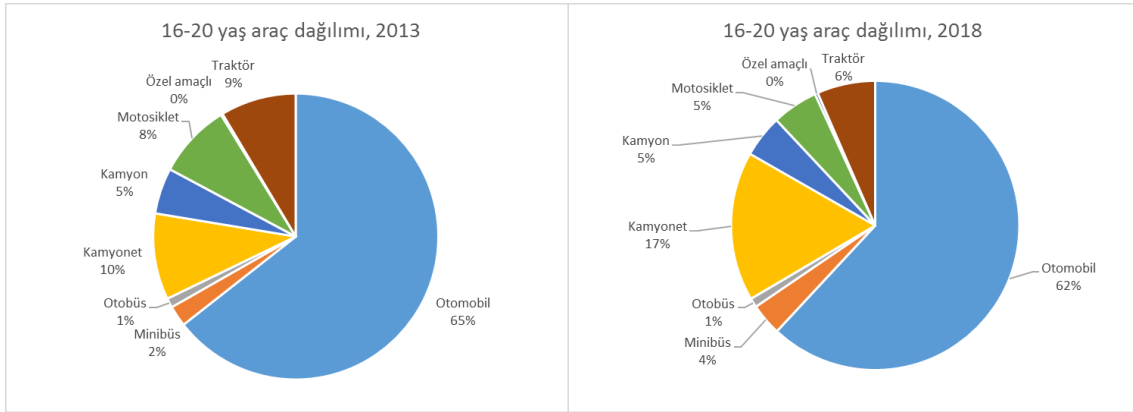
Şekil 4.5. 2018 yılı yaş gruplarına göre araç sayıları [47]

2013 ve 2018 yıllarına ait toplam araç sayısının yaş grubuna göre dağılımları Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Buna göre 2013 yılında toplam araç sayısının %32'si 0-5 yaş grubunu oluşturmaktadır. %23'ünü 6-10 yaş araçlar ve %23'ünü 6-10 yaş arası araçlar, %20'sini 21 yaş ve üzeri araçlar, %13'ünü 11-15 yaş araçlar, %12'sini ise 16-20 yaş araçlar oluşturmaktadır. 2018 yılında toplam araç sayısının %28'sini 0-5 yaş grubu oluşturmaktadır. 21 yaş üstü taşıtların payı %23, 6-10 yaş grubunun payı %10, 11-15 yaş grubunun payı %17 ve 16-20 yaş grubunun payı ise %22'dir. 2013 ve 2018 yılları arasında kıyaslama yapılırsa 2013 yılında kirletici vasfı yüksek olan 21 yaş ve üstü araçların payı %20 iken 2018 yılında %23'ye ulaşmıştır. 6-10 yaş grubu araçların ise payı yaklaşık olarak aynı kalmıştır.



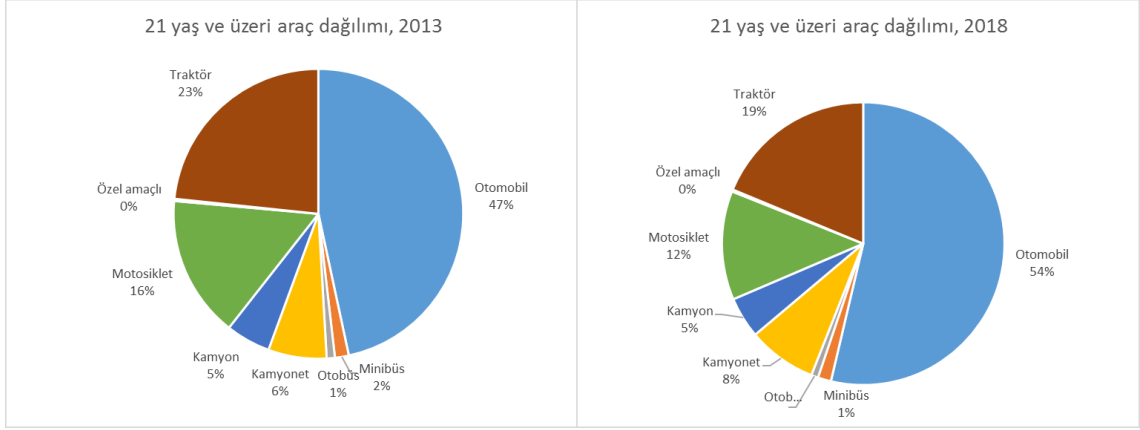
Şekil 4.6. 2013 ve 2018 yıllarında araçların yaş grubuna göre dağılımları (%) [47]

16-20 yaş aralığındaki tiplerinin 2013 ve 2018 yıllarındaki dağılımı Şekil 4.7’de verilmiştir. Kirletici vasfı yüksek olarak belirtilen 16-20 yaş arası toplam araç içinde en büyük payı 2013 yılında %65 ile 2018 yılında ise %62 ile otomobillerin oluşturduğu görülmektedir. Kirletici vasfı yüksek olan bu araçlar içinde otomobillerden sonra en yüksek pay kamyonet ve traktörlere aittir. 2018 yılındaki 16-20 yaş grubu araçlarda otomobillerin payı azalmakla birlikte özellikle kamyonetlerin payında yüksek bir artış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. 2013 ve 2018 yıllarında 16-20 yaş araçların dağılımı (%) [44]

21 yaş ve üzeri araç tiplerinin 2013 ve 2018 yıllarındaki dağılımı Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Kirletici vasfı yüksek olan 21 yaş ve üzeri toplam araç içinde en büyük payı 2013 yılında %47 ile 2018 yılında ise %54 ile otomobillerin oluşturduğu görülmektedir. 21 yaş ve üzeri otomobillerin payı görüldüğü gibi artmıştır. Traktör her iki yıl için de ikinci en yüksek paya sahip araç tipi olmuştur. 2013 yılında payı %23 iken 2018 yılında %19’a düşmüştür. Üçüncü sırada ise motosikletler yer almaktadır. 2013 yılında %16’lık bir paya sahipken 2018 yılında bu pay %12’ye düşmüştür.



Şekil 4.8. 2013 ve 2018 yıllarında 21 yaş ve üstü araçların dağılımı (%) [47]

4.1.3. Araç Motor Silindir Hacmi

Ülkemizde otomobil ve motosiklet için motor silindir hacmi vergilendirme açısından önemli bir parametredir. Araç motor silindir hacimleri santimetreküp (cc) cinsinden hesaplanır. Kamyon ve kamyonetler için araç kilogramı üzerinden, otobüsler için ise koltuk sayısı üzerinden vergilendirilme yapıldığı için bu tip araçların motor hacmine dair bir veri bulunmamaktadır.

TÜİK verilerinde otomobiller için 1300 cc ve altı, 1301-1400 cc, 1401-1500 cc, 1501-1600 cc, 1600 cc üstü ve 2000 cc üstü şeklinde sınıflandırma mevcuttur [50]. Vergilendirilme yapılırken bu sınıflandırma 1300 cc ve altı, 1301-1600 cc, 1601-1800 cc, 1801-2000 cc, 2001-2500 cc, 2501-3000 cc, 3001-3500 cc, 3501-4000 cc, 4001cc ve üstü şeklinde değişmektedir [51]. Motosikletlerde ise vergilendirme sistemi için 100-250 cc, 251-650 cc, 651-1200 cc, 1201 cc ve yukarısı olarak sınıflandırma yapılmıştır [51]. Mevcut veriler yalnızca trafiğe yeni çıkan araçların hacim dağılımlarını içermekte olup, halihazırdaki stoğun hacim dağılım verilerine ulaşılamamıştır.

4.1.4. Araç Motor Teknolojileri

Araç motor teknolojileri kullanılan yakıt tipine ya da çalışma prensibine göre farklılık göstermektedir. Araç tiplerinin emisyonları, teknoloji seviyelerine yani emisyon standartlarına bağlıdır. Emisyon hesaplamalarında bu kriterler oldukça önemlidir. Kullanılan araç motor teknolojileri aşağıdaki gibidir;

Otomobil ve minibüsler için;

- Benzinli motorlar: Benzinli motor, bir tür içten yanmalı motordur. Benzinli motorlarda yakıt olarak benzin kullanılmaktadır. Motor silindir hacmine göre 0,8-1,4 litre arası, 1,4-2 litre arası ve 2 litreden büyük şeklinde sınıflandırılır
- Dizel motorlar: İçten yanmalı motorlardandır. Yakıt olarak dizel kullanan motor çeşitlidir. Motor litre silindir hacimlerine göre 1,4 litreden küçük, 1,4-2 litre arası ve 2 litreden büyük olarak sınıflandırılır.
- Elektrikli motorlar: Elektrikle çalışan motor tipidir. Motor gücüne göre 85 kW ve altı, 86 kW-121 kW arası, 121 kW ve üstü olacak şekilde sınıflandırılır [52].
- Hibrit motor: İki farklı motor tipinin; benzin motor ve elektrikli motorun birlikte çalışması ile hibrit ismini almış olan motorlardır.
- LPG (Likit Petrol Gazı) : Yakıt olarak LPG kullanan içten yanmalı bir motor tipidir.
- CNG (Sıkıştırılmış Doğal Gaz): Yakıt olarak CNG kullanan içten yanmalı bir motor tipidir.
- Bi-fuel motorlar: İki farklı yakıt ile çalışabilen motorlardır. Farklı yakıtlar farklı depolarda muhafaza edilirler. Yakıtlardan biri benzin veya dizel, diğeri ise CNG veya LPG'dir.

Kamyonetler için;

- Benzinli motor, dizel motor ve bifuel kullanılmaktadır.

Kamyonlar için;

- Benzinli motor, dizel motor, bifeul ve CNG kullanılmaktadır.

Otobüsler için;

- Benzinli motor, dizel motor, elektrikli motor, bifuel ve CNG kullanılmaktadır.

Moped ve motosikletler için;

- Mopedlerde benzinli motor, dizel motor ve elektrikli motor kullanılmaktadır.
- Motosikletlerde benzinli motor, dizel motor, elektrikli motor ve bifuel kullanılmaktadır.

Araç motor teknolojileri sınıfları Avrupa standartlarına göre; binek araçlar (otomobil, minibüs), hafif ticari araçlar (kamyonet), ağır ticari araçlar (kamyon), otobüsler, mopedler ve motosikletler için değişmektedir. Otomobil, minibüs ve kamyonetler için motor teknolojileri sınıfları Çizelge 4.1’de, kamyon, otobüsler ile mopedler ve motosikletler için motor teknoloji sınıfları da Çizelge 4.2’de verilmiştir [53].

Çizelge 4.1. Otomobil ve minibüsler ile kamyonetler için araç teknoloji sınıfları [53]

Otomobil/Minibüs	Kamyonet
PRE ECE (~1970 teknolojisi)	Konvansyonel
ECE 15/00-01	LD Euro 1 - 93/59/EEC
ECE 15/02	LD Euro 2 - 96/69/EEC
ECE 15/03	LD Euro 3 - 98/69/EC Stage2000
ECE 15/04	LD Euro 4 - 98/69/EC Stage2005
Gelişmiş Konvansyonel	LD Euro 5 - EC 715/2007
Açık Döngü	LD Euro 6 - EC 715/2007
PC Euro 1 - 91/441/EEC	
PC Euro 2 - 94/12/EEC	
PC Euro 3 - 98/69/EC Stage2000	
PC Euro 4 - 98/69/EC Stage2005	
PC Euro 5 – EC 715/2007 (2010 ve sonrası)	
PC Euro 6 – EC 715/2007 (2015 ve sonrası)	

Çizelge 4.2. Kamyon, otobüsler ve motorlu iki tekerliler için araç teknoloji sınıfları [53]

Kamyon/Otobüsler	Mopedler/Motosikletler
Konvansyonel	Konvansyonel
HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	Euro 1 - 97/24/EC
HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	Euro 2 - 97/24/EC
HD Euro III - 2000 Standards	Euro 3 – 2002/51/EC (yalnızca motosikletler)
HD Euro IV - 2005/55/EC	
HD Euro V - 2005/55/EC	
HD Euro VI - COM(2007)851	

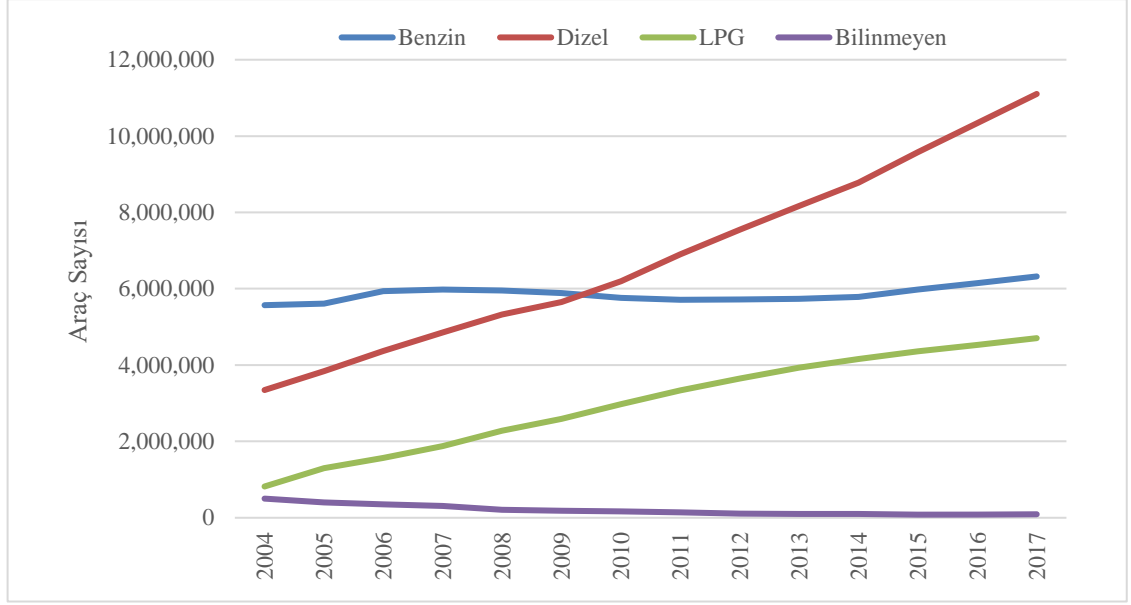
TÜİK’ten alınan yıllar bazında kullanılan benzin, dizel ve LPG yakıt türüne göre araç sayıları Çizelge 4.3’te verilmiştir. 2004 yılında 5.569.192 adet araç benzin kullanırken 2017 yılında % 14 artışla 6.321.658 adet araç benzin kullanmıştır. 2004 yılında 3.346.355 adet araç dizel kullanırken 2017 yılında %232 gibi büyük bir artışla 11.102.943 adet araç dizel kullanmıştır. 2004 yılında 819.007 adet araç LPG kullanırken 2017 yılında ise 4.705.599 adet araç LPG kullanmıştır.

Çizelge 4.3. Yıllar bazında yakıt türüne göre araç sayısı [54]

Yıl	Benzin	Dizel	LPG	Bilinmeyen*	TOPLAM
2004	5.569.192	3.346.355	819.007	501.803	10.236.357
2005	5.606.321	3.836.399	1.298.830	404.276	11.145.826
2006	5.935.725	4.372.042	1.569.951	349.675	12.227.393
2007	5.980.516	4.850.837	1.880.023	311.569	13.022.945
2008	5.952.746	5.323.478	2.276.283	212.888	13.765.395
2009	5.887.559	5.654.350	2.592.695	182.096	14.316.700
2010	5.762.156	6.195.898	2.973.832	163.717	15.095.603
2011	5.709.606	6.899.420	3.335.566	144.936	16.089.528
2012	5.722.940	7.549.806	3.649.739	110.928	17.033.413
2013	5.733.725	8.169.410	3.934.753	101.559	17.939.447
2014	5.788.505	8.782.462	4.161.003	96.751	18.828.721
2015	5.977.352	9.576.896	4.358.751	81.473	19.994.472
2016	6.142.806	10.337.907	4.527.674	82.037	21.090.424
2017	6.321.658	11.102.943	4.705.599	88.745	22.218.945

* Yakıt türü bilinmeyenler, ruhsat işlemlerinde yakıt türü boş bırakılan veya sehven hatalı veri girişi yapılan araçları kapsamaktadır.

TÜİK'ten alınan yıllar bazında yakıt türüne göre araç sayısındaki değişim Şekil 4.9'da verilmiştir. 2004-2017 yılları arasında yakıt kullanımının değişimine bakıldığında dizel ve LPG kullanımının giderek arttığı görülmektedir. 2004 yılında 3.346.355 adet araç dizel kullanırken 2017 yılında %232 gibi büyük bir artışla 11.102.943 adet araç dizel kullanmıştır. 2004 yılında 819.007 adet araç LPG kullanırken 2017 yılında ise 4.705.599 adet araç LPG kullanmıştır. 2004 yılında 5.569.192 adet araç benzin kullanırken 2017 yılında % 14 artışla 6.321.658 adet araç benzin kullanmıştır. Benzinli otomobil sayısında çok büyük bir değişim gözlenmemiş olsa da LPG kullanan otomobillerden daha çok tercih edildiği görülmektedir.



Şekil 4.9. 2004-2017 yılları arası yakıt türüne göre araç sayıları [54]

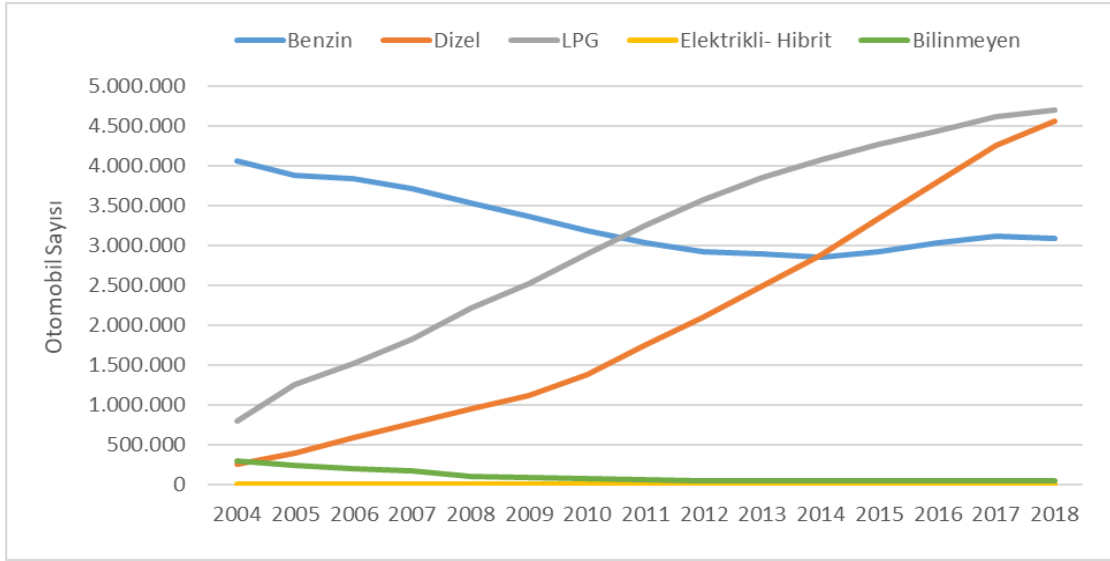
TÜİK'in 2004-2018 yılları arasında yayınladığı yakıt cinsine göre otomobil sayıları Çizelge 4.4'te verilmiştir. 2018 yılında benzinli otomobil sayısı 3.089.626 iken, dizel 4.568.665, LPG'li otomobil sayısı ise 4.695.717, elektrikli ve hibritli otomobil sayısı ise 5.367'dir.

Çizelge 4.4. 2004-2018 yıllarında yakıt bazında otomobil sayısı [55]

Yıl	Benzin	Dizel	LPG	Elektrikli-Hibrit	Bilinmeyen*	TOPLAM
2004	4.062.486	252.629	793.081	-	292.244	5.400.440
2005	3.883.101	394.617	1.259.327	-	235.700	5.772.745
2006	3.838.598	583.794	1.522.790	-	195.810	6.140.992
2007	3.714.973	763.946	1.826.126	-	167.111	6.472.156
2008	3.531.763	947.727	2.214.661	-	102.478	6.796.629
2009	3.373.875	1.111.822	2.525.449	-	82.818	7.093.964
2010	3.191.964	1.381.631	2.900.034	-	71.242	7.544.871
2011	3.036.129	1.756.034	3.259.288	47	61.613	8.113.111
2012	2.929.216	2.101.206	3.569.143	228	49.082	8.648.875
2013	2.888.610	2.497.209	3.852.336	436	45.332	9.283.923
2014	2.855.078	2.882.885	4.076.730	525	42.697	9.857.915
2015	2.927.720	3.345.951	4.272.044	889	42.733	10.589.337
2016	3.031.744	3.803.772	4.439.631	1.160	41.691	11.317.998
2017	3.120.407	4.256.305	4.616.842	1.685	40.739	12.035.978
2018	3.089.626	4.568.665	4.695.717	5.367	38.815	12.398.190

* Yakıt türü bilinmeyenler, ruhsat işlemlerinde yakıt türü boş bırakılan veya sehven hatalı veri girişi yapılan otomobilleri kapsamaktadır.

TÜİK'in 2004-2018 yılları için trafiğe kayıtlı yakıt bazında otomobil sayısı değişimi Şekil 4.10'da verilmiştir. Burada da görüldüğü üzere yıllar bazında LPG ve dizelli otomobil sayısı giderek artmış, benzinli otomobil sayısı ise azalmıştır. 2018 yılı için en çok LPG'li otomobil varken bunu dizelli otomobiller izlemiştir. 2011 yılından bu yana, filodaki elektrik ve hibrit araç sayısı artmaktadır. Elektrikli ve hibritli araçlarda özellikle son beş yıla bakıldığında yılda ortalama %79 artış yaşanmıştır.



Şekil 4.10. 2004-2018 yıllarında yakıt cinsine göre otomobil sayısı [55]

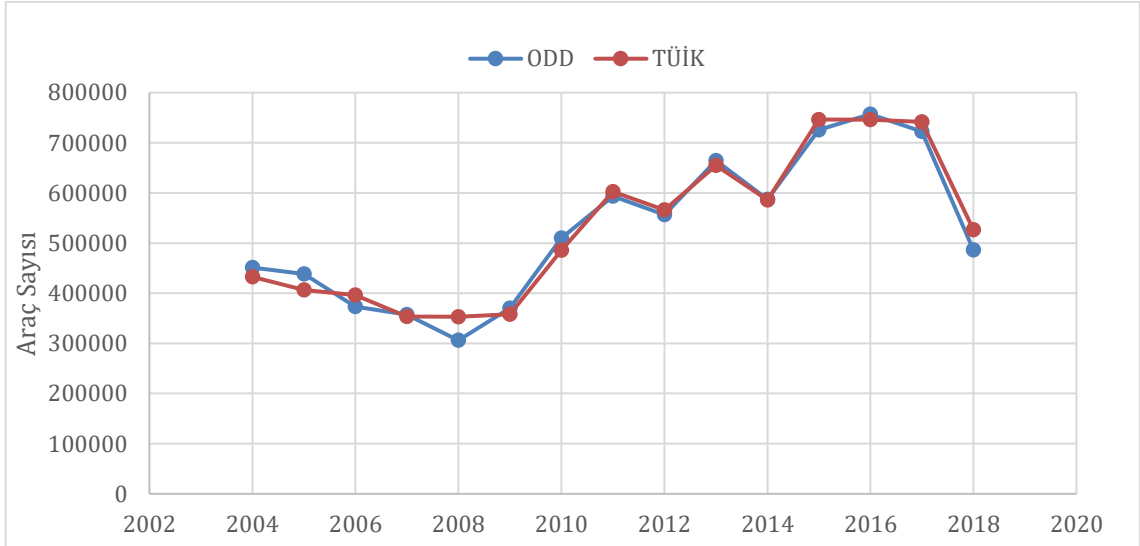
4.2. Trafiğe Yeni Giren Araçlar

Her sene trafiğe giren araç sayısı TÜİK tarafından yayınlanmaktadır. Bununla birlikte yıllık araç satışı hakkındaki bilgiler ise ODD tarafından yayınlanmaktadır. ODD'den alınan veriler; marka ve model bazında yer alan sayısal satış bilgileri ilgili kuruluşların ODD'ye yaptığı bildirimlerden oluşmaktadır. Trafiğe yeni giren araçlar ve yeni araç satışları hakkındaki bilgiler; araç yaşı ve tercih edilen motor teknolojileri hakkında ileriye dönük tahminlerde önemli bir rol oynar.

4.2.1. Trafiğe Yeni Giren Araç Sayısı ve Satışı

Toplam araç filusunda en büyük yeri otomobiller kaplamaktadır. ODD'den alınan 2005-2018 yılları arası otomobil satışları ile TÜİK'ten alınan 2005-2018 yıllarında trafiğe kaydı yaptırılan otomobil sayıları Şekil 4.11'de verilmiştir [56], [44]. Otomobil satışlarını

gösteren ODD verilerinin neredeyse her yıl trafiğe kaydı yaptırılan otomobil sayısından fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise satışı yapılan otomobil modelinin yılı bir sene sonraki kayıtlarda gösterilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Örneğin, 2015 yılının ikinci yarısında satılan bir otomobil 2016 model olarak kabul edilerek, 2016 yılındaki trafiğe kayıtlarına geçirilmiş olabilmektedir. Bu sebeple satışı yapılan her araç aynı yıl trafiğe kayıt listesinde yer alamamaktadır. Bununla birlikte otomobil yaş ortalaması toplam karayolu araç yaş ortalamasını oldukça fazla etkilemektedir. Trafiğe yeni giren otomobil sayısında artış ne kadar çok olursa genç yaştaki araç sayısında o kadar artış meydana gelmektedir. Hurda teşviği ile kirletici vasfı yüksek araçların trafikten çekilmesi ile 16 yaş ve üstü araçların sayısında azalma görülecek ve yerine yeni araçların alınmasıyla 0-5 yaş aralığındaki araç sayısında artış gözlenecektir.



Şekil 4.11. Otomobil sayısının ODD ve TÜİK verileri karşılaştırması [12, 2]

4.2.2. Trafiğe Yeni Giren Araçların Motor Hacmi ve Teknolojileri

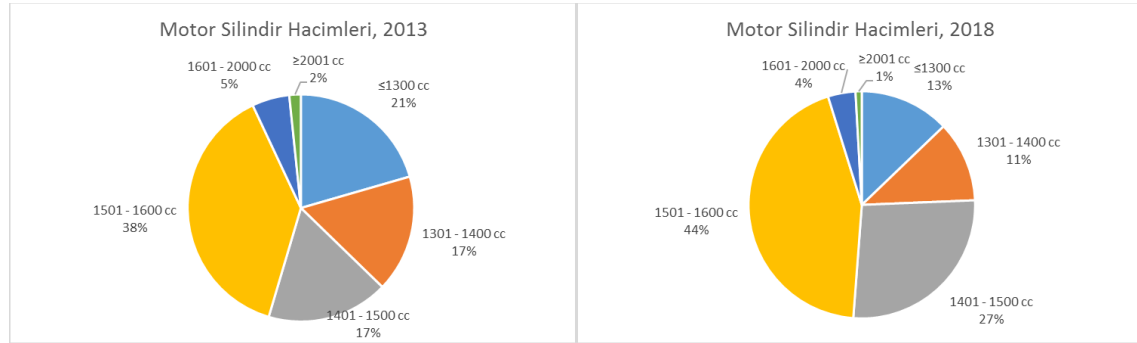
2013-2018 yılları arasında motor silindir hacimlerine göre otomobil sayısı verileri TÜİK'ten alınmış ve Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. 2013-2018 yıllarına bakıldığında motor hacimleri arasında 1501-1600 cc hacmine sahip otomobillerin daha çok tercih edildiği görülmektedir. 2013'te 1501-1600 cc'lik otomobil sayısı 250.916 iken 2018 yılında 231.253 şeklinde olup motor hacminde yine en çok tercih edilen aralık 1501-1600cc şeklindedir. İkinci sırada tercih edilen 1401-1500 cc motor hacmine sahip otomobiller ise 2013 yılında 113.401 adet olup 2017 yılında 141.180 adet olmaktadır. En

az tercih edilen 2000 cc üzeri otomobil sayısı ise 2013 yılında 10.785 iken 2017 yılında %29 azalarak 4.692'ye düşmüştür.

Çizelge 4.5. Trafiğe kaydı yapılan otomobillerin silindir hacimlerine göre sayısı [50]

Motor Hacmi (cc)	2013	2014	2015	2016	2017	2018
≤1300 cc	134.173	106.672	127.417	113.940	106.451	67 559
1301 - 1400 cc	109.114	82.209	108.714	114.852	101.424	60 561
1401 - 1500 cc	113.401	122.043	170.399	190.910	193.769	141 180
1501 - 1600 cc	250.916	238.541	300.378	291.159	302.864	231 253
1601 - 2000 cc	34.966	26.164	26.970	25.849	29.508	20 655
≥2001 cc	10.785	9.361	11.596	9.230	7.685	4 692

Otomobil motor silindir hacimlerinin 2013 ve 2018 yıllarındaki dağılımı Şekil 4.12'de verilmiştir. Her iki yıl için de en çok payın 1501-1600 cc motor hacimli otomobillere ait olduğu görülmektedir. 2013 yılında bu pay %38 iken 2018 yılında %44'e yükselmiştir. 2013 yılında ikinci sırada 1300 cc ve altı motor hacimli otomobiller var iken 2018 yılında bu sırayı %27'lik pay ile 1401-1500 cc motor hacimli otomobiller almaktadır. 1600 cc'nin üzerindeki motor hacimlerinin payı ise 2018 yılında 2013 yılına göre düştüğü görülmektedir [50].

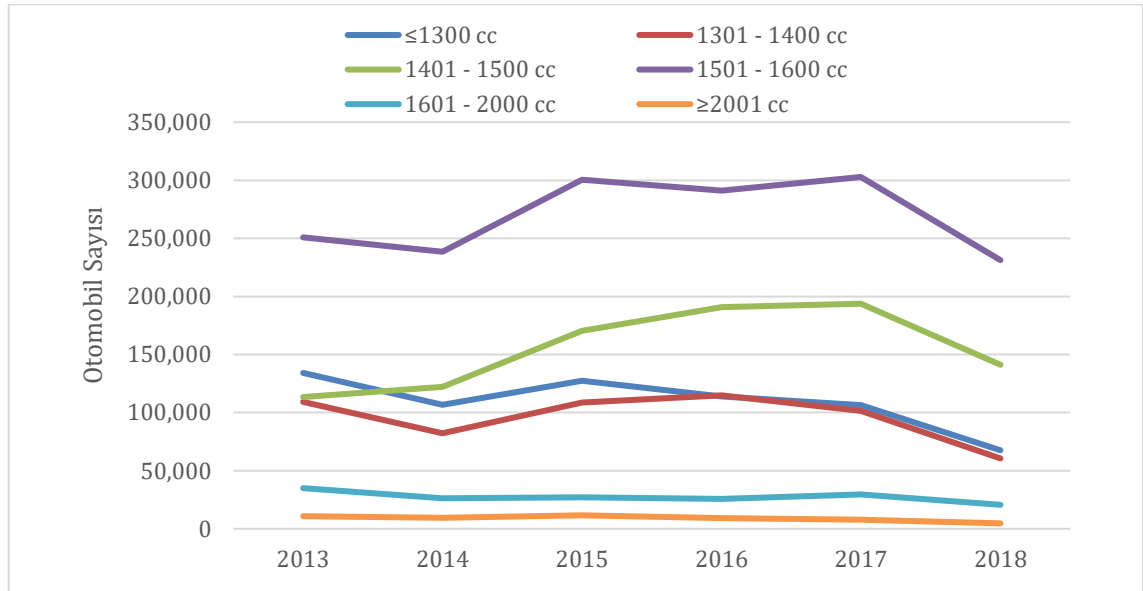


Şekil 4.12. 2013 ve 2018 yıllarında motor silindir hacimleri dağılımı (%) [50]

2013-2018 yılları arasında trafiğe kaydı yapılan otomobillerin motor silindir hacimlerine göre değişimi Şekil 4.13'te gösterilmiştir. 2013 ve 2018 yılları arasında en büyük artış 1401-1500 cc ile 1501-1600 cc aralığındaki motor silindir hacmine sahip otomobillerde gerçekleştiği görülmektedir. 1401-1500 cc ile 1501-1600 cc motor hacmine sahip otomobiller, yakıt kullanımı ve vergi oranlarının diğerlerine göre düşük olması nedeniyle

araç kullanıcılarından yüksek talep gördüğü bilinmektedir. 1400 cc'nin altındaki motor hacmine sahip otomobillerin daha az tercih edilmesinin sebebi ise düşük hacimlerde düşük performans sağlamasıdır. 1600 cc üzeri motor hacmine sahip otomobillerin diğerlerinden çok daha az talep edilmesinin sebebi ise yüksek motor hacimlere uygulanan yüksek vergilendirmelerdir [51].

Avrupa ülkelerinde ise Lüksemburg 1821 cc ile en yüksek motor silindir hacmi ortalamasına sahip ülkedir. Bunu İsviçre 1804 cc ve Norveç 1772 cc ortalama ile takip etmektedir. Hollanda ise 1371 cc ile en düşük motor silindir hacmi ortalamasına sahiptir. Bunun sebebi Hollanda yeryüzü şekillerinin düz olması ve yüksek motor gücüne gerek duymamaları olarak gösterilebilir [49].



Şekil 4.13. Trafiğe kaydı yapılan otomobillerin silindir hacimleri bazında sayıları [50]

ODD'den alınan motor hacmi ve teknolojisine göre otomobil satışları Çizelge 4.6'da verilmiştir [57]. Son altı yılda en çok satışı yapılan otomobillerde motor teknolojisinin benzin ve dizel motorlu otomobiller olduğu görülmektedir. Benzin ve dizel motorlu araçlarda en çok 1600 cc ve altı motor hacmine sahip araçlar tercih edilmiştir. Elektrikli araçlarda ise 85 kW ve altı güce sahip araçlar tercih edilmiştir. 2018 yılında satılan elektrikli araçların, toplam otomobil satışı içindeki payı %0,03 olmaktadır. Satılan hibrit araçların payı ise %0,8 olmuştur.

Çizelge 4.6. Motor hacmi ve teknolojisine göre OOD'den alınan otomobil satışları [57]

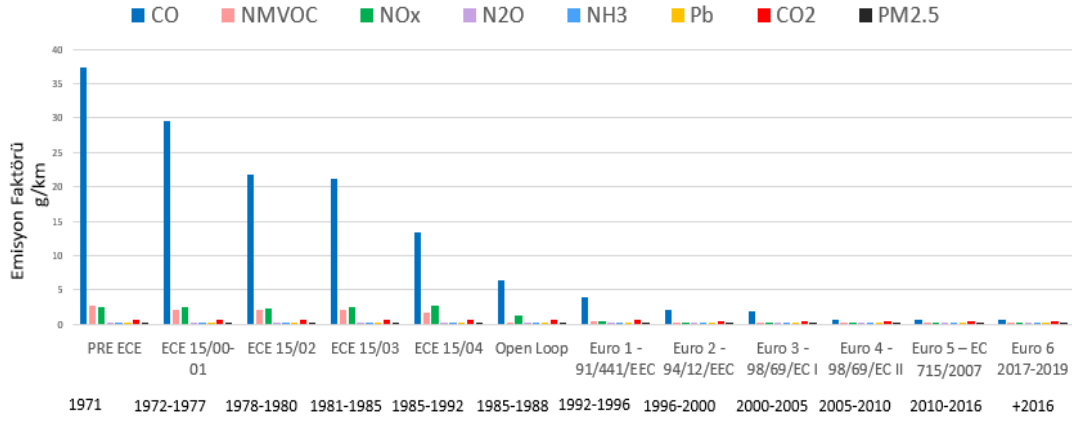
Motor Hacmi	Motor Teknolojisi	2013	2014	2015	2016	2017	2018
≤1600 cc	Benzin/Diz el	626.047	558.995	695.113	729.324	694.599	467.693
16001-2000 cc	Benzin/Diz el	32.609	22.536	23.105	22.493	21.480	13.202
≥2001 cc	Benzin/Diz el	5.968	5.753	3284	4039	2098	1.372
Toplam		664.624	587.284	721.502	755.856	718.177	482.267
≤85 kW	Elektrik	31	22	38	23	42	80
86-120 kW	Elektrik	-	-	-	-	-	-
≥ 121 kW	Elektrik	-	25	82	21	35	75
Toplam		31	47	120	44	77	155
≤1600 cc	Hibrit	-	-	963	886	463	550
1600-1800 cc (≤50kW)	Hibrit	-	-	-	-	-	-
1600-1800 cc (>50kW)	Hibrit	-	-	3	28	3704	3011
1801-2000 cc	Hibrit	-	-	-	89	62	59
2001-2500 cc (≤100kW)	Hibrit	-	-	-	-	-	1
2001-2500 cc (>100kW)	Hibrit	-	-	2	-	266	265
>2500cc	Hibrit	-	-	6	35	10	13
Toplam		-	-	974	1038	4505	3899
Genel Toplam		664.655	587.331	722.596	756.938	722.759	486.321

Bu kısımda motor hacmine göre TÜİK'ten alınan kaydı yapılan otomobil sayısı ve ODD'den alınan otomobil satışlarının farklı olmasının sebebi otomobillerin model yılı ile kaydı yapıldığı yılın farklı olmasındandır.

4.3. Emisyon Faktörlerinin Euro Standartlarına Göre Değişimi

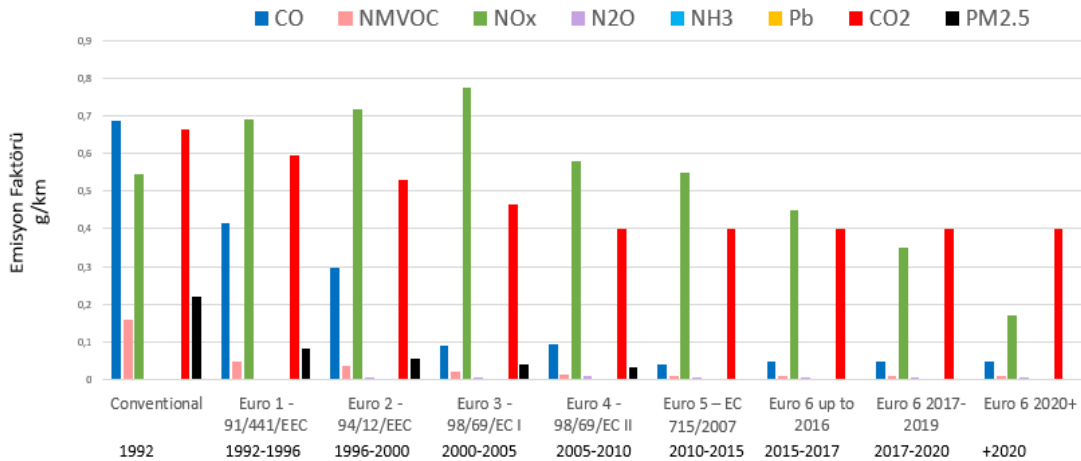
EMEP/EEA'nın (Avrupa Çevre Ajansı/Hava Kirleticileri Emisyon Envanter Rehberi) yayınladığı rehberine göre emisyon faktörlerinin (CO, NMVOC, NO_x, N₂O, NH₃, Pb, CO₂, PM_{2.5}) değerleri, yakıt bazına ve araç tipine göre Euro Standartlarında değişim göstermektedir [58]. Ülkemizde araç yaşına ve sayısına göre en çok Euro 3 standardına sahip araçlar bulunmaktadır.

Benzinli otomobiller (M1) için emisyon faktörlerinin Euro Standartlarına göre değişimi Şekil 4.14'te verilmiştir. Buna göre özellikle CO değerinin Euro 6'da PRE ECE'ye göre değerini çok fazla azaldığı görülmektedir.



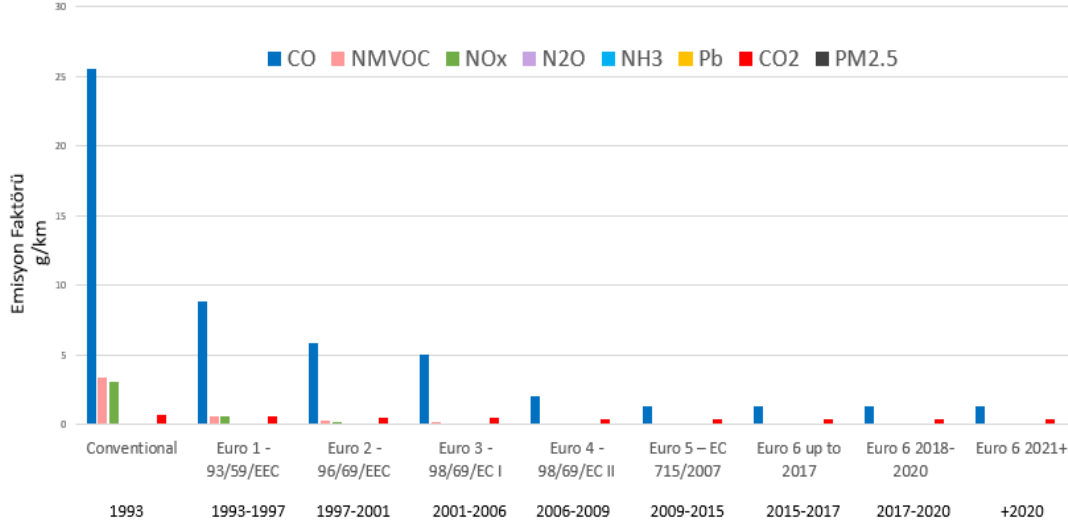
Şekil 4.14. Benzinli otomobiller (M1) için Euro Standartlarına göre emisyon faktörleri [58]

Dizelli otomobiller (M1) için emisyon faktörlerinin Euro Standartlarına göre değişimi Şekil 4.15'te verilmiştir. Benzinli otomobillerde de olduğu gibi CO emisyon faktöründe Euro 6'da oldukça azaldığı görülmektedir. NO_x için bakıldığında da Euro 3'te artmış olduğu fakat Euro 6'ya gelindiğinde yine azalmış olduğu görülmektedir. CO₂ değerlerinde ise yine en düşük değerini Euro 6 standartlarına ait olduğu görülmektedir.



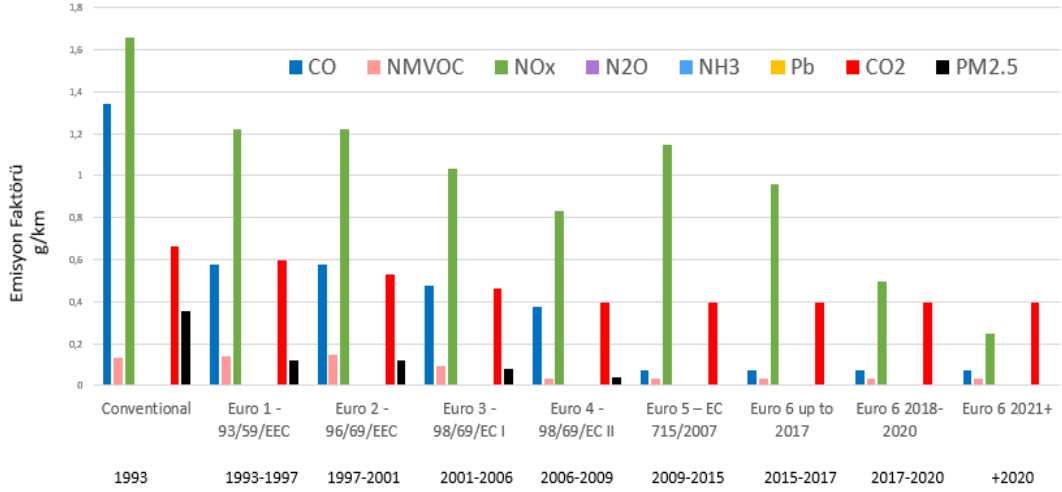
Şekil 4.15. Dizelli otomobiller (M1) için Euro Standartlarına göre emisyon faktörleri [58]

Benzinli kamyonetler (N1) için emisyon faktörlerinin Euro Standartlarına göre değişimi Şekil 4.16’da verilmiştir. Benzinli otomobillerde de olduğu gibi benzinli kamyonetlerde emisyon faktörleri içinde en çarpıcı azalmanın CO’te olduğu görülmektedir.



Şekil 4.16. Benzinli kamyonetler (N1) için Euro Standartlarına göre emisyon faktörleri [58]

Dizelli kamyonetler (N1) için emisyon faktörlerinin Euro Standartlarına göre değişimi Şekil 4.17’de verilmiştir. Dizelli otomobillerde olduğu gibi burada da dizelli kamyonetlerde CO ve CO₂ emisyon faktörlerinde azalmanın olduğu net bir şekilde görülmektedir. NO_x değerleri için baktığımızda ise yine en düşük değeri Euro 6 standartında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.17. Dizelli kamyonetler (N1) için Euro Standartlarına göre emisyon faktörleri [58]

Bu şekillere bakarak Euro Standartlarının yıllar içinde emisyon faktörlerindeki azaltımı ve iyileştirmeyi sağladığı anlaşılmaktadır. Giderek yaşlanmakta olan araç filomuzdan dolayı emisyonlar da hızla artmaktadır. Euro 6 ve sonrası araçların teşvik edilmesiyle emisyonlarda azaltım sağlanabileceği bu şekillere bakarak anlaşılmaktadır.

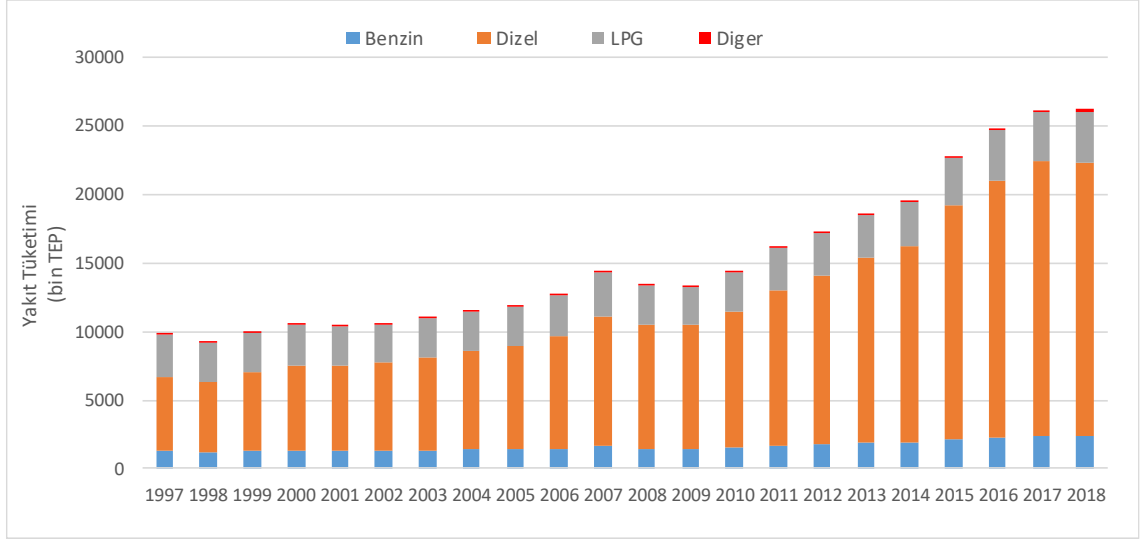
4.4. Karayolu Ulaşımında Enerji Tüketimi

Karayolu ulaşımında en büyük enerji kaynağının fosil yakıtlar olduğu bilinmektedir. Fosil yakıt kullanımının çok olması ve ilerleyen yıllarda fosil yakıtların tükenmesi olasılığına karşı yeni önlemler alınmaktadır. Bu sebeple kullanılacak enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi için alternatif yakıtlar kullanılmaya başlanmıştır [59]. 1997-2018 yılları arasında karayolu ulaşımında enerji kaynaklarına göre enerji tüketimi Çizelge 4.7’de verilmiştir. Karayolları ulaşımı enerji tüketimi 1997 yılında toplam 9.760 bin ton eşdeğer petrol (TEP) iken 2018 yılında %169 artışla 26.287 bin TEP’e ulaşmıştır. Burada da görüldüğü gibi en çok tüketilen enerji kaynağı petrol kaynaklarıdır (benzin, dizel ve LPG). Petrole alternatif olarak kullanılan diğer yakıtlarda ise (doğalgaz, elektrik ve biyogaz) son yıllarda önemli miktarda artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. 1997-2018 yıllarında karayolu ulaşımı enerji tüketimi (Bin TEP) [60]

Yıl	Petrol Ürünleri			Diğer	Toplam
	Benzin	Dizel	LPG		
1997	1.317	5.392	3.048	3	9.760
1998	1.215	5.158	2.779	3	9.155
1999	1.295	5.697	2.923	3	9.918
2000	1.349	6.151	3.005	3	10.508
2001	1.310	6.191	2.878	3	10.382
2002	1.306	6.396	2.827	3	10.533
2003	1.334	6.768	2.843	3	10.949
2004	1.378	7.244	2.888	4	11.514
2005	1.385	7.543	2.853	4	11.785
2006	1.453	8.205	2.940	6	12.604
2007	1.624	9.501	3.222	21	14.368
2008	1.482	8.985	2.881	44	13.392
2009	1.442	9.067	2.744	42	13.296
2010	1.530	9.971	2.844	70	14.416
2011	1.680	11.351	3.047	75	16.151
2012	1.756	12.308	3.102	83	17.249
2013	1.856	13.494	3.187	121	18.657
2014	1.904	14.366	3.172	145	19.588
2015	2.170	17.003	3.468	192	22.833
2016	2.306	18.722	3.654	183	24.865
2017	2.376	20.072	3.522	194	26.164
2018	2.337	20.005	3.710	235	26.287

1997-2018 yıllarında enerji kaynağına göre karayolu ulaşımı enerji tüketim değerleri Şekil 4.18'de verilmiştir. Yıllar bazında bakıldığında en çok kullanılan yakıtın dizel olduğu görülmektedir. 2018 yılında 2017 yılına göre benzin ve dizel kullanımı az da olsa azalmaktayken LPG kullanımını artmıştır. Petrol kaynaklı yakıtların (benzin, dizel ve LPG) toplam yakıt tüketimi içerisindeki payı %99 olmuştur.



Şekil 4.18. 1997-2018 yıllarında karayolu ulaşımı enerji tüketimi [60]

4.5. Karayolu Ulaşımında Kilometre Değerleri

Emisyon hesaplamalarında önemli bir rol oynayan diğer bir etken de araçların yıllık ortalama kilometre değerleridir. TÜVTÜRK Muayene İstasyonları'ndan mevcut en güncel veri olan 2011-2014 verileri kullanılarak araçların yıllık ortalama kilometre değerleri alınmıştır [61]. Buradaki değerler TÜVTÜRK'e muayene olan araçların yıllık ortalama kilometre değerleridir. Bu değerler emisyon modellemesi iş paketinde araçların kilometre değeri hakkında tahmin için kullanılacaktır. 2011-2014 verileri kullanılarak araçlar için yaş grubuna göre yıllık ortalama kilometre değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 2011-2014 verileri bazında tüm yaş grupları için taşıtların yıllık ortalama kilometre değerleri [61]

Araç Türü	0-5 yaş	6-10 yaş	11-15 yaş	16-20 yaş	>21 yaş
2011-2012					
M1-Benzin	7,652	10,123	9,226	7,145	1,715
M1-Dizel	12,965	16,243	14,637	12,547	4,331
M1-LPG	8,295	12,317	9,260	9,260	5,720
N1-benzin	9,530	13,235	11,557	9,102	3,312
N1-dizel	14,079	16,490	15,293	13,844	3,041
Otobüs	27,399	36,693	29,144	22,989	9,784
Kamyon	22,303	38,813	28,395	21,208	5,053
2012-2013					
M1-Benzin	7,333	10,010	9,317	7,384	1,708
M1-Dizel	18,274	16,155	14,523	12,765	4,476

Araç Türü	0-5 yaş	6-10 yaş	11-15 yaş	16-20 yaş	>21 yaş
M1-LPG	10,609	13,210	10,578	7,695	2,777
N1-benzin	9,678	12,432	12,759	8,777	2,387
N1-dizel	11,753	16,496	15,142	13,913	3,333
Otobüs	37,488	30,885	26,303	20,939	15,966
Kamyon	19,057	37,144	28,382	21,593	5,123
2013-2014					
M1-Benzin	4,844	9,295	9,026	7,554	1,694
M1-Dizel	12,202	16,032	14,073	13,367	4,661
M1-LPG	6,050	14,582	10,694	7,807	2,701
N1-benzin	5,579	11,067	12,271	8,612	4,729
N1-dizel	9,432	16,029	14,711	13,776	3,268
Otobüs	22,579	36,623	28,645	23,737	8,675
Kamyon	15,670	33,828	30,159	21,624	5,118

Buna göre tüm araç gruplarında en çok km 6-10 yaşındaki araçlarda gözlenmekte, 0-5 yaş grubundaki benzinli otomobiller en düşük km yapan araç grubu olarak gözlenmiştir. Genel olarak dizel araçlar en yüksek kilometreye sahiptir. Araç yaşlandıkça daha düşük kilometre yol kat etmektedirler.

TÜVTÜRK'ten alınan değerlere bakılarak 2013-2014 yıllarında Euro standartlarına göre her araç grubu için ortalama kilometre değerleri bulunmuştur. Ortalama kilometre değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. 2013-2014 verileri bazında araçların yıllık ortalama kilometre değerleri [61]

		Euro 5	Euro 4	Euro 3	Euro 1	PRE-ECE	Conventional
Otomobil	Benzin	4.844	9.295	9.026	-	2.166	-
	Dizel	12.202	16.032	-	12.871	-	4.277
	LPG	6.0050	14.582	-	8.516	-	2.168
Kamyonet	Benzin	5.579	11.067	12.271	-	-	2.987
	Dizel	9.432	16.029	-	13.771	-	2.660
Otobüs	Dizel	22.579	36.623	-	24.564	-	8.554
Kamyon	Dizel	15.670	33.828	-	23.378	-	4.271

TÜVTÜRK'ten alınan verilere bakıldığında, yeni kaydı yapılan araçların büyük bir çoğunluğunun ilk yıllarında TÜVTÜRK istasyonlarına gitmemesinden dolayı, Euro 5 standardına ait araç tiplerinin yıllık ortalama değerlerinin düşük olduğu görülmektedir.

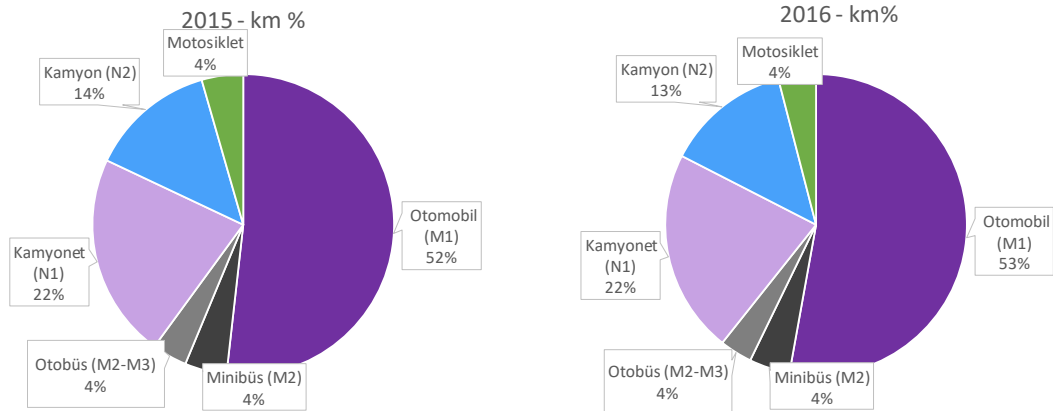
TÜİK'in 2015-2016 yılları için yayınladığı araç kilometre değerleri ile ortalama kilometre değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Buna göre 2015 yılında araçların yaptığı

toplam seyahat uzunluğu 251 milyar km iken 2016 yılında bu değer 280 milyar km'ye ulaşmıştır.

Çizelge 4.10. 2015-2016 verileri bazında araç kilometre değerleri [62]

	2015			2016		
	Araç sayısı	Seyahat uzunluğu km (milyon)	Araç ort. km	Araç sayısı	Seyahat uzunluğu km (milyon)	Araç ort. km
Otomobil	10.589.337	129.973	12.274	11.317.998	148.456	13.117
Minibüs	449.213	11.278	25.105	463.933	12.246	26.396
Otobüs	217.056	9.433	43.457	220.361	9.804	44.491
Kamyonet	3.255.299	55.192	16.954	3.442.483	61.430	17.845
Kamyon	804.319	33.968	42.232	825.334	37.747	45.735
Motosiklet	2.938.364	11.164	3.799	3.003.733	11.312	3.766
Toplam	18.253.588	251.006	13.751	19.273.842	280.993	14.579

2015 ve 2016 yıllarında her bir araç tipi için toplam araç kilometre değeri içindeki dağılımları Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Buna göre toplam araç kilometreleri içinde en yüksek yüzde 2015 yılında %52 ile, 2016 yılında ise %53 ile otomobillere aittir. Otomobillerden sonra ise 2015 ve 2016 yıllarında %22 ile kamyonetler gelmektedir.



Şekil 4.19. 2015 ve 2016 yıllarında araç kilometre değerlerinin dağılımı (%) [62]

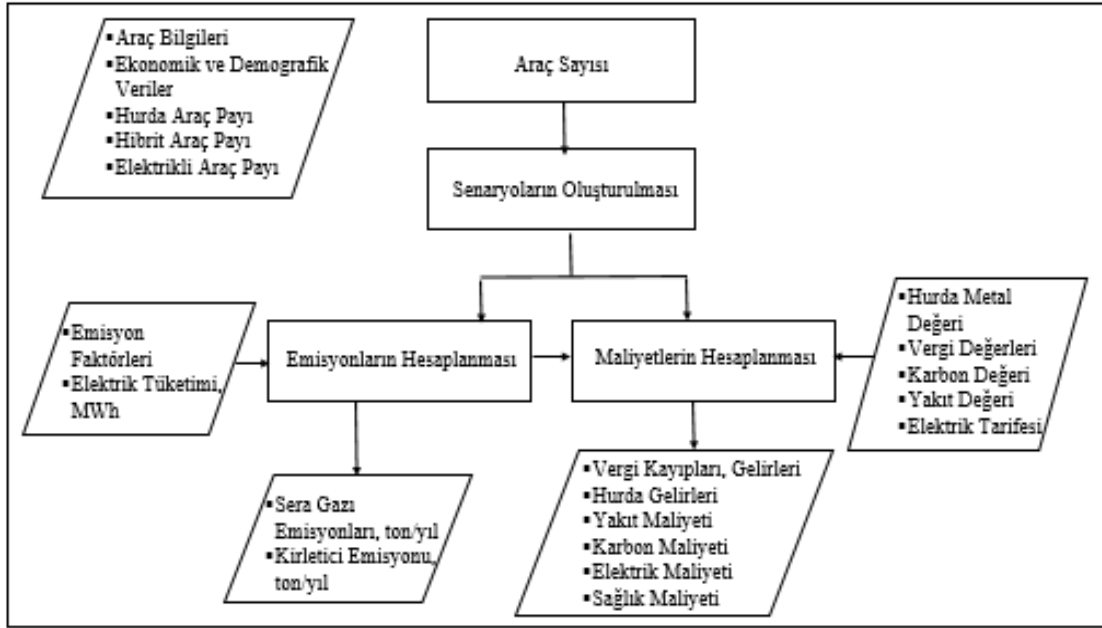
4.6. Bölüm Sonu

Bu bölümde ülkemizdeki araç filosunun durumu hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Son yıllarda araç filosuna genel olarak bakıldığında dizelli araç sayısı diğerlerinden daha fazla

olmaktadır. Son yıllara doğru trafiğe yeni katılan araçlarda alternatif yakıt kullanımı artmaktadır. Fakat 2018 yılında araçlarda kullanılan yakıtların %99 gibi büyük bir kısmını fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Ülkemiz giderek yaşlanan bir araç filosuna sahiptir. Yaşlı araçların euro standartlarından dolayı sera gazı emisyonları ve kirletici değerleri de yüksek olmaktadır.

5. METODOLOJİ VE VERİ KAYNAKLARI

Bu bölümde çalışmanın metodolojisi ve verilerin kaynakları hakkında bilgi verilmektedir. Bu çalışmada ilk olarak araç satış tahminleri yapılmıştır. Daha sonra ise araç sayısı tahminlerine dayalı olarak senaryolar oluşturulmuş ve senaryolar bazında emisyonlar hesaplanmıştır. Son olarak ise fayda maliyet analizleri tüm senaryolar için uygulanmıştır. Çalışma metodolojisi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Çalışma metodolojisi

5.1. Araç Sayısı Tahmininin Yapılması

Emisyon ve maliyet hesaplarının yapılabilmesi için otomobil ve kamyonet sayılarının belirlenmesi önem teşkil etmektedir. Bu belirlenen sayılar referans alınarak tüm yıllar için emisyon ve maliyet hesabı yapılabilecektir. Bunun için gerekli olan bilgiler; kaydı yapılan, kaydı silinen ve stokta bulunan otomobil ve kamyonet sayısıdır. Aynı zamanda Türkiye emisyon sonuçlarının gerçeği daha iyi bir şekilde yansıtabilmesi için kamyon ve otobüs sayılarının trend analizi ile tahmini ayrıca yapılmıştır.

5.1.1. Kaydı Yapılan Araç Sayısı Tahmini

TÜİK'ten alınan 1994-2018 yıllarına ait kaydı yapılan araç sayıları göz önünde bulundurularak ve kaydı yapılan araç sayısını etkileyen veriler belirlenerek 2019-2030 yılları için kaydı yapılan otomobil ve kamyonet sayıları tahmin edilmiştir. Otomobil ve kamyonet sayısının tahmininde kullanılmasına uygun olan verilerin tanımlamaları aşağıda yer almaktadır.

- Nüfus: Belirli bir zamanda sınırları tanımlı bir bölgede yaşayan insan sayısıdır. [63]
- 15 – 65 Yaş Aralığını Kapsayan Nüfus: 15 ve 65 yaş aralığında, sınırları tanımlı bir bölgede yaşayan insan sayısıdır. [63]
- İstihdam: Ülkedeki mevcut iş gücünün ekonomik faaliyetler içerisinde sürekli biçimde çalıştırılmasıdır. İstihdam kavramı bir ekonomide belli bir dönemde mevcut üretim öğelerinin var olan teknolojik düzeye göre hangi oranda kullanıldığını ifade eder. [64]
- İşsizlik Oranı: Çalışma gücünde ve arzusunda olan ve cari ücretten çalışmaya razı olup da iş bulamayan işgücünün varlığıdır. [64]
- Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYH- ₺ ve \$): Belirli bir dönem içinde, yurt içinde üretilmiş nihai mal ve hizmetlerin piyasa değeridir. [65] [66]
- Kişi Başı Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (₺ ve \$): Bir ülkenin gayrisafi yurt içi hasılası (GSYH) o ülkenin nüfusuna bölüdüğü zaman, kişi başına düşen GSYH elde edilir. [65] [66]
- Enflasyon: Fiyatlar genel düzeyinin sürekli ve hissedilir artışını ifade eden bir durumdur. Diğer bir tanımı nominal millî gelirin, bu gelirle satın alınan mal miktarına (gerçek millî gelire) nazaran artması olarak ifade edilebilir. [66]
- Dolar Alış- Dolar Satış
- Depozito: bir üstlenme sırasında yatırılan güvence ya da bağlantı parası olarak tanımlanır. [67]
- Yatırım Oranı
- Tasarruf Oranı

- Yıllık Ortalama Benzin Fiyatı (₺ ve \$)
- Yıllık Ortalama Dizel Fiyatı (₺ ve \$)
- Merkez Bankası Faiz Oranı
- İskonto Oranı: İndirim Oranı [68]
- Hurda Yılı: Hurda araçlara yönelik teşvik programlarının uygulandığı yılları tanımlamak için kullanılır. (Teşvik Yılı :1, diğer durumlarda 0 değerini alır)
- Kriz Yılı: Ülkede kriz olduğu yıllarda 1, diğer yıllarda 0 değerini alan parametredir.
- Kayı Silinen Otomobil (M1) ve Kamyonet (N1) Sayısı

Tahmin modelinde kullanılan programda kaydı yapılan araç sayısını bulabilmek için yukarıdaki veriler kullanılmış ve içlerinden en etkili sonucu verenler; kişi başı gayrisafi yurt içi hasıla, dolar alış, 15-64 yaş aralığını kapsayan nüfus ve kaydı silinen araç sayısı olmuştur. Bu verilerin 1994-2018 yıllarına ait değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bahsedilen diğer verilerin değerleri ise EK 2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kaydı yapılan araç sayısı için kullanılan veriler ve değerleri

Yıl	Nüfus (15-64 Yaş)	Kişi Başı GSYH	Dolar Alış	Kayı Silinen Araç Sayısı
1994	35.316.052	9.424	0,03	4.141
1995	36.121.109	9.947	0,05	4.532
1996	36.902.406	10.483	0,08	3.906
1997	37.678.439	11.105	0,15	3.461
1998	38.453.775	11.287	0,26	4.110
1999	39.237.588	10.750	0,42	4.187
2000	40.033.916	11.302	0,62	5.119
2001	40.791.695	10.487	1,23	6.300
2002	41.588.198	11.027	1,51	6.721
2003	42.398.266	11.509	1,49	78.864
2004	43.189.715	12.466	1,42	272.292
2005	43.948.623	13.422	1,34	47.171
2006	44.697.445	14.197	1,43	37.552
2007	45.407.033	14.730	1,30	30.678
2008	46.110.648	14.661	1,29	39.515
2009	46.852.779	13.770	1,55	85.062
2010	47.653.615	14.704	1,50	59.792
2011	48.489.663	16.119	1,67	72.904
2012	49.374.130	16.689	1,79	44.168
2013	50.289.655	17.861	1,90	55.350
2014	51.215.979	18.535	2,19	50.384
2015	52.140.380	19.402	2,72	31.571

Yıl	Nüfus (15-64 Yaş)	Kişi Başı GSYH	Dolar Alış	Kayı Silinen Araç Sayısı
2016	53.061.615	19.750	3,02	24.354
2017	54.010.530	20.958	3,65	35.904
2018	54.938.190	19.960	4,81	180.550

Zaman serisi veri analizinin yapılabilmesi için autoregressif (AR) ve moving average (MA) bileşenlerini modele katmak gerekmektedir. AR (p) işlemi bağımsız değişkenler olarak p dönemi gecikmeli bağımlı değişkenleri içermektedir. Bu gecikmelerin ardındaki mantık, önceki yılların otomobil satışlarının bu yılki otomobil satışlarının önemli belirleyicilerinden biri olmasıdır. AR (p) işlemi Eşitlik 1'deki gibi ifade edilebilir.

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \epsilon_t$$

Eşitlik 1

ϵ_t : rassal hata terimi,

ϕ : AR sürecinin parametresi,

p: AR sürecinin derecesi.

ϵ_t rassal hata terimi, MA (q) işlemi, modeldeki q dönemi gecikmeli hata terimlerini içermektedir. t zamanındaki rastgele değişkenin etkileri sadece t zamanındaki şok dalgasından değil, t zamanından önce gerçekleşen şok dalgalarından da etkilenir. Örneğin, geçmişte ekonominin otomobil satışlarını etkileyebilecek olumsuz bir şok dalgası olsaydı, bu olumsuz etkinin otomobil satışlarını yalnızca gerçekleştiği yılı değil, birkaç sene sürdürebildiğini düşünebiliriz. MA (q) süreci Eşitlik 2'deki gibi modellenebilir:

$$y_t = \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q}$$

Eşitlik 2

θ : MA sürecinin parametresi,

q: MA sürecinin derecesi

ARMA (p, q) modeli AR (p) ve MA (q) işlemlerinin birleşimidir.

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q}$$

Eşitlik 3

Uygun AR ve MA dereceleri ACF (otokorelasyon fonksiyonu) ve PACF (kısmi otokorelasyon fonksiyonu) eğrilerinin incelenmesiyle tanımlanabilmektedir.

2019-2030 yıllarındaki araç satışlarını tahmin etmek için önce bağımsız değişkenler (15-64 yaş nüfusu, dolar alış fiyatı ve kişi başı gayrisafi yurt içi hasılası, hurda araç sayısı) 2030 yılına kadar ARMA modeli kullanılarak belirlenmiştir. Tahminleri yapılan verilerin 2019-2030 yılları için değerleri Çizelge 5.2'deki gibi olmuştur.

Çizelge 5.2. Kaydı yapılan araç sayısı için kullanılan verilerin 2019-2030 yılları için tahminleri

Yıl	Nüfus (15-64 Yaş)	Kişi Başı GSYH	Dolar Alış	Kayı Silinen Araç Sayısı
2019	55.977.420	21.447	5,12	153.468
2020	56.963.134	22.348	5,43	53.172
2021	57.957.007	23.520	5,69	56.547
2022	58.958.650	24.838	5,94	60.137
2023	59.967.899	26.092	6,18	63.954
2024	60.984.683	27.303	6,42	68.013
2025	62.008.973	28.474	6,65	72.330
2026	63.040.754	29.615	6,88	76.921
2027	64.080.021	30.729	7,11	81.804
2028	65.126.773	31.820	7,34	86.996
2029	66.181.008	32.890	7,56	92.518
2030	67.242.725	33.944	7,79	98.391

Daha sonra bu veriler ARMA(2,1) modelinde kullanılarak araç satış tahmini yapılmıştır. Tahmini model özellikleri Eşitlik 4'teki gibidir:

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1}$$

Eşitlik 4

y_t : t zamanında araba satışı,

$\beta_{1...4}$: değişken katsayısı

x_1 : 15-64 yaşı grubunu yıllık nüfus,

x_2 : kişi başı gayrisafi yurt içi hasılası,

x_3 : dolar alış fiyatı,

x_4 : hurda araç sayısı.

Buna göre araç satış tahmin modeli şu şekilde olmuştur;

$$y = -973.971,922 + 0,01 * \text{Nüfus } 15_64 + 88.382 * \text{GSYH_KB} -162.199,208 * \text{Dolar Alış} + 1,101 * \text{Kaydı Silinen Araç Sayısı}$$

Bu çalışmada 1994-2018 yıllarında kaydı yapılan M1 & N1 sayıları göz önünde bulundurularak model çalıştırılmıştır [69]. Bu değerler izelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kaydı yapılan M1 & N1 sayısı, 1994-2018 [69]

Yıl	M1 &N1 Kaydı Yapılanlar
1994	265.024
1995	224.673
1996	264.981
1997	386.740
1998	368.820
1999	305.598
2000	450.629
2001	157.415
2002	114.264
2003	277.143
2004	644.233
2005	634.666
2006	626.366
2007	556.677
2008	539.536
2009	521.341
2010	704.786
2011	853.210
2012	763.434
2013	819.007
2014	732.571
2015	953.107
2016	940.005
2017	954.518
2018	656.106

5.1.2. Kaydı Silinen Araç Sayısı Tahmini

2019-2030 yılları arasında kaydı silinenlerin tahminin yapılabilmesi için öncelikle 2019 yılında uygulanacak olan hurda teşviğinin etkisi gözlenmelidir. 2019 yılında hurdaya çıkan M1 ve N1 sayısının 2018 yılından çok daha düşük olacağı varsayılmıştır. 2018 yılı haziran ayı ile birlikte düşmekte olan araç satışlarının bu varsayımdaki etkisi büyüktür. Bu varsayımlar göz önünde bulundurularak 2019 yılı kaydı silinen toplam M1 ve N1 sayısı 153.468 alınmıştır. 2020 yılındaki kaydı silinenler için ise 2005 yılının 2004 yılına göre yıllık artışı (-%83) baz alınmış, 2020 yılı sonrası 2021-2030 yıllarındaki kaydı silinenlerin tahmininde ise %6'lık artış olacağı varsayılarak kaydı silinen araç sayısı tahmin edilmiştir. Bu çalışmada kaydı silinen araç sayı tahmini, 1994-2018 yılı kaydı silinen araç sayıları baz alınarak yapılmıştır. Bu değerler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kaydı silinen M1&N1 sayısı, 1994-2018 [70]

Yıl	M1 &N1 Kaydı Silinenler
1994	4.141
1995	4.532
1996	3.906
1997	3.461
1998	4.110
1999	4.187
2000	5.119
2001	6.300
2002	6.721
2003	78.864
2004	272.292
2005	47.171
2006	37.552
2007	30.678
2008	39.515
2009	85.062
2010	59.792
2011	72.904
2012	44.168
2013	55.350
2014	50.384
2015	31.571
2016	24.354
2017	35.904
2018	180.550

5.1.3. Toplam Araç Sayısı Tahmini

Kayı yapılan ve kaydı silinen otomobil ve kamyonet tahminleri sonrasında, var olan stok bilgisi ile mevcut durum araç sayısının belirlenmesi için gerekli olan tüm veriler temin

edilmiştir. Belirli bir yıla ait mevcut durum araç sayısını (mevcut durum stoğu) elde etmek için, bir önceki yılın araç sayısına (stok), bulunmak istenen yılın kaydı yapılan araç sayısı eklenerek ve kaydı silinen araç sayısı çıkartılarak, o yıla ait mevcut durum araç sayısı elde edilmektedir.

5.2. Araç Sayısı ve Yakıt Bazında Senaryoların Oluşturulması

Mevcut araç filosunun ve filoya katılacak olan elektrikli araçların elektrik tüketimi analizine bağlı olarak araç filosuna dahil edilecek yeni araçların sayı ve türlerini de öngören senaryolar oluşturulmuştur. Araç sayısı talep tahmin çalışmasında yurt dışında gerçekleşen araç tür ve tiplerindeki değişimlerin ülkemizde oluşabilecek etkileri de göz önüne alınmıştır. AB ülkelerinin araç filusunda motor teknolojilerinin dağılımında yakın gelecekte bazı değişiklikler beklenmektedir. Örneğin, Almanya dizel kullanan araçların artık yasaklanacağını açıklamıştır. Yine aynı şekilde İngiltere ve Fransa’da da dizelli araçlar üzerine belirli sınırlandırmalar getirilecektir. Bu sebeple ülkemizdeki dizel araçlara önümüzdeki yıllarda gittikçe daha az talep olacağı düşünülmektedir. Dizel araç için gereken ek parçalar da üretilmeyeceğinden yaşlanan dizel araçlar yerine diğer motor teknolojili hibrit ve elektrikli araçlar tercih edilecektir.

5.2.1. Olağan Durum Senaryosu

Bu senaryoda günümüz şartları bu şekilde devam edeceği takdirde 2019-2030 yıllarında toplam araç sayısının yıllar içerisindeki değişimi ve kaydı silinen araç miktarı incelenmiştir. Olağan durum senaryosunda (ODS) stoktaki hibrit ve elektrikli araç tahmini ekonometrik modelle yapılmıştır.

5.2.2. Senaryo 1

Senaryo 1 için, 2030 yılına gelindiğinde kaydı silinen M1 ve N1 sayısının toplam M1 ve N1 sayısının (stoğun) %3’ünü oluşturacağı kabul edilmiştir. Bununla birlikte, kaydı yapılan M1 ve N1 sayısı, ODS’de kullanılan kaydı yapılan araç sayısına bu senaryo için tahmin edilen kaydı silinen araç sayısının %75’i de eklenerek hesaplanmıştır. Ayrıca her yıl trafiğe katılacak olan hibrit ve elektrikli araçların tahmini yapılmıştır. Buna göre 2030 yılında kaydı yapılan M1’in yarısının hibrit ve elektrikli araçlardan oluşacağı tahmin

edilmektedir. Toplam M1 stoğunun ise bu oran %20'sine karşılık geleceği tahmin edilmiştir. Hibrit ve elektrikli araçların o yılda kaydı yapılan fosil yakıtlı dizel ve benzinli araçların yerine belli bir oranda katılacağı düşünülerek senaryo oluşturulmuştur.

5.2.3. Senaryo 2

Senaryo 2 için, ODS'deki kaydı yapılan ve kaydı silinen araç sayıları aynı kabul edilmiş, kaydı yapılan araçlardaki hibrit ve elektrikli araç sayıları değişmiştir. Trafiğe katılacak olan hibrit ve elektrikli araçların o yılda eklenen toplam M1 içindeki yüzdeleri Senaryo 1 ile aynı kabul edilmiştir. Buna göre 2030 yılında M1 stoğunun %12'si hibrit, %3'ünün ise elektrikli araç olacağı tahmin edilmiştir. Bu senaryoda hibrit ve elektrikli araçların kaydı yapılan dizel ve benzinli araçların yerine belli oranda katılacağı düşünülmüştür.

5.2.4. Senaryo 3

Senaryo 3 için, ODS ve Senaryo 2'deki kaydı yapılan ve kaydı silinen araç sayıları aynı kabul edilmiş, kaydı yapılan araçlardaki hibrit ve elektrikli araç sayıları değişmiştir. Hibrit ve elektrikli araçların toplam M1 stoğu içindeki yüzdeleri 2030 yılında sırasıyla %16 ve %4 olacak şekilde ayarlanmıştır. Buna göre her yıl trafiğe katılacak olan hibrit ve elektrikli araçların tahmini yapılmıştır. Bu senaryoda hibrit ve elektrikli araçların kaydı yapılan dizel, benzin ve LPG'li araçların bir kısmının yerine katılacağı düşünülmüştür.

5.2.5. Senaryo Karşılaştırmaları

Bu kısımda senaryolar belirlenirken göz önünde bulundurulmuş etkenler Çizelge 5.5'te özetlenmiştir. Buna göre ODS'de yer alan araç sayısı, Senaryo 2 ve Senaryo 3'te de aynı şekilde kabul edilmiştir. Yalnızca araç yakıt dağılımları farklıdır. Senaryo 1'de ise araç sayısındaki farklılık hurda araç sayısının ve kaydı yapılan araç sayısının diğer senaryolardan farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.5. Senaryoların özeti

Senaryo	Araç Sayısı	Hurda Araç %	Benzinli Araç %	Dizelli Araç %	LPG'li Araç %	Elektrikli Araç %	Hibrit Araç %
ODS	Aynı	%0,3	%25	%27	%48	%0,001	%0,1
Senaryo 1	Farklı	%3,0	%19	%13	%48	%4,000	%16,0
Senaryo 2	Aynı	%0,3	%21	%17	%48	%3,000	%12,0
Senaryo 3	Aynı	%0,3	%18	%16	%46	%4,000	%16,0

5.3. Elektrikli Araçlarda Elektrik Tüketiminin Hesaplanması

Elektrikli araçların elektrik tüketimleri senaryolar bazında 2019-2030 yılları için motorun %80 verimlilikte çalışacağı, ortalama bir elektrikli aracın kilometre başına tükettiği elektriğin 200 Wh/km olduğu ve ortalama kilometre değerlerinin 13.943 km olduğu varsayılarak Eşitlik 5'teki gibi Wh/yıl cinsinden hesaplanmıştır [66] [67].

$$\mathcal{E} = N \times \rho \times \omega \times \alpha$$

Eşitlik 5

\mathcal{E} : elektrik tüketimi, Wh/yıl,

N : elektrikli araç sayısı,

ρ : elektrikli motor verimi,

ω : km başına elektrik tüketimi, Wh/km

α : yıllık ortalama araç kilometresi, km/araç yıl

Elektrikli araçların elektrik talebine etkisinin bulunabilmesi için 1994-2018 yıllarında toplam elektrik talep verileri TEİAŞ'tan alınmıştır [71]. Ekonometrik model kullanılarak 2019-2030 yılları için toplam elektrik talep tahmini yapılmıştır. Buna göre Eşitlik 5 kullanılarak 2019-2030 yıllarında elektrikli araçların elektrik tüketiminin toplam elektrik talebi üzerindeki etkisi de ayrıca gösterilmiştir.

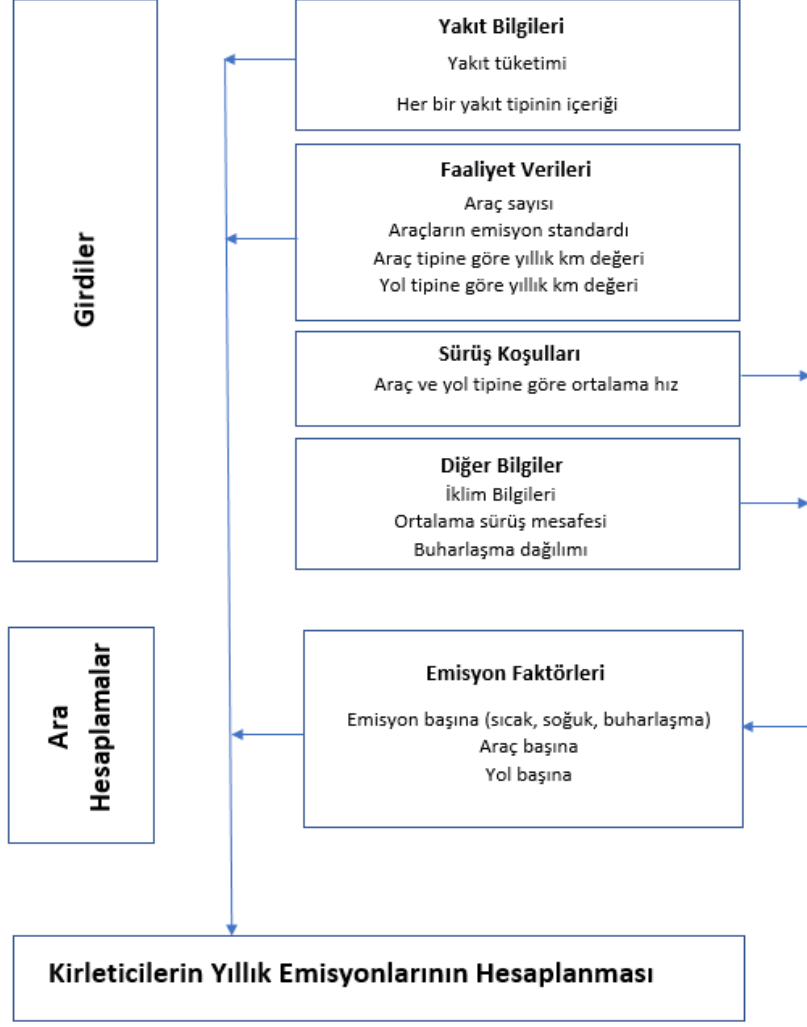
5.4. Emisyonların Hesaplanması

İleriye yönelik olarak geliştirilen senaryolar bazında karayolu taşıtlarından kaynaklanan sera gazı emisyonları ve kirlenici emisyonlar COPERT modeliyle hesaplanmıştır. Bu

aşamada araç yaşı, araç yakıt bilgileri, yakıt kullanımına göre araç sayıları, otomobil motor silindir hacim bilgileri ve araç ortalama kilometre bilgileri COPERT programı ile emisyon hesabının yapılabilmesi için kullanılmıştır. Literatürdeki birçok çalışmalarda da kullanılan COPERT emisyon modeli ayrıntılı veri girişinden dolayı bu çalışma için uygun görülmüştür [72][73][74]. Ek olarak elektrikli araçların elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonlar ülkede bulunan santrallerde kullanılan yakıt bazında hesaplanmıştır. Elektrik üretiminde kullanılan yakıtların emisyon faktörleri literatürden edinilmiştir [75].

5.4.1. Taşıtlarda Fosil Yakıt Kullanımından Kaynaklanan Emisyonların Hesaplanması

Hareketli kaynaklar arasında bulunan karayolu emisyonları COPERT (Computer Programme to Calculate Emission from Road Transport) v4 ile hesaplanmaktadır [76]. COPERT akış şeması Şekil 5.2’de verilmiştir [77]. Bu yazılım Avrupa Çevre Ajansı tarafından geliştirilmiş olup karayolu kaynaklı olan tüm emisyonları hesaplayabilmektedir. COPERTv4 emisyon modeli ile araç sayıları, araç teknolojileri ve araç km verileri esas alınarak detaylı hesaplamalar yapılmaktadır. Belirlenen araç sayısı, araç yaşı ve yakıt türüne göre oluşturulan senaryolar bazında araçların kullandığı fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar COPERT programıyla hesaplanmıştır. Yakıt içeriği COPERT programında yer almaktadır, buna göre araçların yakıt tüketimi de COPERT programı ile hesaplanmıştır. Araç sayıları ve yaşları TÜİK’ten alınmış olup [44] [46], araç model yılına göre emisyon standartları belirlenmiştir [53]. Ortalama araç kilometre hesabı, TÜVTÜRK veri seti esas alınarak yapılmıştır [61]. İklim bilgisi olarak son yıllardaki en kötü hava koşullarının gözlemlendiği 2015 yılı Kasım ayı iklim verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınmıştır [78]. Bu sayede modellenen nihai emisyon değerlerinin mümkün olabilecek en kötü hava kalitesi koşullarını yansıtması amaçlanmıştır. Ortalama sürüş mesafesi bir aracın yaşı ile yıllık ortalama kilometresinin çarpımına eşit kabul edilmiştir. Buharlaşıma dağılımı ve emisyon faktörleri COPERT programının içinde yer almaktadır.



Şekil 5.2. COPERT akış şeması [77]

5.4.2. Taşıtlarda Elektrik Tüketiminden Kaynaklanan Emisyonların Hesaplanması

Elektrikli araçların elektrik tüketiminden dolayı kaynaklanan emisyonlar; elektrik tüketimi, yakıt bazlı spesifik emisyon faktörleri ve yakıtların elektrik üretimindeki payları da kullanılarak Eşitlik 6'daki gibi hesaplanmıştır [75].

$$E_T = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n (SEF_i \times \alpha_i \times \varepsilon_i) \quad \text{Eşitlik 6}$$

E_T : toplam emisyonlar, kg CO₂/yıl,

i : yakıt tipi

n : yakıt tipi sayısı

SEF : spesifik emisyon faktörü, kg CO₂/MWh,

ε : elektrik tüketimi, MWh/yıl,

α : kaynağın elektrik üretimindeki payı, %

Bu çalışmada kullanılan yakıt bazında spesifik emisyon faktörleri ülkemiz için yapılmış bir çalışmada hesaplanmış olan emisyon faktörleridir [75]. Kaynak bazındaki toplam emisyon miktarının elektrik üretimine göre spesifik emisyon faktörleri Eşitlik 7'deki gibi hesaplanmıştır. Kullanılan yakıt bazlı spesifik emisyon faktörleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

$$SEF_i = \frac{E_i}{EG_i}$$

Eşitlik 7

E : emisyonlar, kg CO₂,

EG : elektrik üretimi, MWh

Çizelge 5.6. Yakıt bazında spesifik emisyon faktörleri, kg CO₂/MWh [75]

Kaynak	SEF, kg CO₂/MWh
Taş kömürü	1018
Linyit	1080
FuelOil	755
Doğalgaz	374
Atık	373
Hidro	0
Jeotermal	1300
Rüzgar	0
Güneş	0

Bu çalışmada kullanılan yakıtların 2018 yılındaki elektrik üretimindeki payları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Tüm senaryolar için bu değerler kullanılmıştır.

Çizelge 5.7. Yakıtların elektrik üretimindeki payları, 2018, %

Kaynak	%
Taş kömürü	22,3
Linyit	14,9
FuelOil	0,5
Doğalgaz	30,0
Atık	1,1
Hidro	19,9
Jeotermal	1,7
Rüzgar	7,1
Güneş	2,6

Buna göre Çizelge 5.6’da verilen yakıt bazında spesifik emisyon faktörleri ile Çizelge 5.7’de verilen yakıtların elektrik üretimlerindeki payları çarpılmıştır. Daha sonra bu değerler elektrik tüketim değerleri ile çarpılarak araçların elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonlar yıllar bazında hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ayrıca elektrikli araçlarında elektrik tüketimindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekedeki etkisi de incelenmiştir. Bunun için senaryolar bazında enerji kaynaklarının şebekedeki dağılımları değiştirilerek ortaya çıkan sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Çizelge 5.8’deki değerlerin tüm senaryolar için 1. durumda yenilenebilir enerji kaynaklarının payı % 31 olarak devam ederken, 2. Durumda elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı yıllar bazında artarak 2030 yılına gelindiğinde %60, 3. Durumda ise yine yıllar bazında artarak 2030 yılında %90 olacağı düşünülmüştür. Tüm senaryolarda kullanılan kaynakların 2030 yılında elektrik üretimindeki payı Çizelge 5.8’de verilmiştir. Buna göre yakıtların tüm senaryolar için bu üç durumdaki yakıtların payları kullanılarak elektrik tüketimleri yıllar bazında hesaplanmıştır.

Çizelge 5.8. Kaynakların elektrik üretimindeki payı, 2030 %

Kaynak	I. Durum	II. Durum	III. Durum
Taş kömürü	22,3	13,0	0,0
Linyit	14,9	7,0	0,0

Kaynak	I. Durum	II. Durum	III. Durum
FuelOil	0,5	0,0	0,0
Doğalgaz	30,0	20,0	10,0
Atık	1,1	0,0	0,0
Hidro	19,9	27,0	37,0
Jeotermal	1,7	3,0	8,0
Rüzgar	7,1	20,0	25,0
Güneş	2,6	10,0	20,0

5.5. Maliyetlerin Hesaplanması

Trafiğe araçların girmesinin Özel Tüketim Vergisi (ÖTV), Motorlu Taşıt Vergisi (MTV) ve Katma Değer Vergisi (KDV) açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Trafikten çekilen hurda araçlar ile filoya yeni katılan araçların yakıt tüketimi üzerine etkisi hesaplanmıştır. Hurda araçlar ile ilgili ileriye dönük senaryolar bazında hurda araçların vergi boyutu ve hurda araçlardan kazanılacak metallere dolaylı metal ithalatındaki değişim incelenmiştir. Senaryolar bazında trafikte olan araçlar için akaryakıt üzerinden alınan vergi gelirleri ve akaryakıt tüketim miktarına bağlı olarak ithalat üzerindeki etkisi bulunmuştur. Senaryolar için araçlardan kaynaklı karbon maliyetleri hesaplanmıştır. Buna ek olarak kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan maliyetler ile elektrik tüketiminden kaynaklanan maliyetler hesaplanmıştır. Araçlardan kaynaklanan sağlık maliyetleri de eklenmiştir. Yapılan maliyet analiz sonuçlarının sosyal fayda – maliyet analizi çerçevesinde değerlendirilmesi ise senaryolar bazındaki etkinin net bir şekilde ortaya konmasını sağlayacaktır.

5.5.1. Kaydı Silinen Araçların Maliyet Analizi

Bu bölümde kaydı silinen araçların senaryolar bazında 2019-2030 dönemi için hurda metal değerlerinin ve vergi boyutunun analizleri yapılmıştır.

Kaydı silinen araçlara bağlı olarak metal hurda ithalatında meydana gelecek değişimi analiz etmek amacıyla öncelikle kaydı silinen araçlardan elde edilen metal hurda miktarı temsili M1 ve N1 araçları bazında kg cinsinden hesaplanmıştır. Temsili M1 aracının ağırlığı 1000 kg, N1 aracının ağırlığı ise 1500 kg olarak kabul edilmektedir. 2019-2030

yılları için gerekli olan hurda metal miktarları Çizelge 5.9’da gösterildiği gibi 2018 yılı M1 ve N1 için hurda metal ağırlıkları kilogram değerleri baz alınmıştır. Senaryolar bazında kaydı silinen araçlardan elde edilen metal hurdanın maddi değerini hesaplamak amacıyla yine Ömrünü Tamamlamış Araç Sanayicileri Derneği’nden (ÖTASAD) alınan verilere dayanarak hurda parçaları için oluşturulan fiyat listesi Çizelge 5.10’da verilen 2018 yılı baz alınarak 2019-2030 yılları için ARIMA modeliyle tahmin edilen enflasyon oranlarına göre düzenlenmiştir. Söz konusu enflasyon oranlarına göre düzenlenen hurda parçalarının fiyatları (TL olarak) 2019-2030 döneminde senaryolar bazında TL cinsinden bulunmuştur.

Çizelge 5.9. 2018 yılında hurda metal değerleri, kg

	M1, kg	N1, kg
metal/kupa	370	600
metal-alüminyum/Motor	140	210
alüminyum-metal/Marş + şarj	10	15
metal-alüminyum/Şanzıman	45	68
akü + Jant	40	60
lastik	24	36
alüminyum-bakır/Radyatör	6	20
bakır/Tesisat	6	10
metal (ön, alt takım vb.)	200	250
metal/Koltuk	30	45
plastik	19	40
diğer atıklar	110	146

Çizelge 5.10. 2018 yılında hurda metal değerleri, TL

	2018
metal/kupa	1,20
metal-alüminyum/Motor	1,93
alüminyum-metal/Marş + şarj	3,00
metal-alüminyum/Şanzıman	2,67
akü + Jant	5,00
lastik	0,00
alüminyum-bakır/Radyatör	5,00
bakır/Tesisat	6,00
metal (ön, alt takım vb.)	1,20
metal/Koltuk	1,20

	2018
plastik	0,00
diğer atıklar	0,00

Otomobil ve kamyonet için farklı MTV tutarları söz konusu olduğundan (I) ve (II) Sayılı Tarife Listelerindeki vergi tutarları, ARIMA modeli aracılığı ile analiz dönemi için tahmin edilen Yeniden Değerleme Oranları'na (YDO) göre her sene için düzeltilmiştir. Bu değerler hesaplanırken 2018 yılı MTV değerleri (Çizelge 5.11–Çizelge 5.12) baz alınmıştır. 2019-2030 yıllarında Türkiye’de senaryolar bazında hurda araçlardan kaynaklanacak olan MTV kaybı hesaplanmıştır.

Çizelge 5.11. 2018 yılı M1 için MTV değerleri, TL

Motor Silindir Hacmi (cm ³)	Taşıtların Yaşları ile Ödenecek Yıllık Vergi Tutarı (TL)				
	1-3 yaş	4-6 yaş	7-11 yaş	12-15 yaş	16 ve yukarı yaş
Benzin, dizel ve LPG					
1300 cm ³ ve aşağısı	861	600	336	254	90
1301-2000 cm ³ e kadar	2.772	2.134	1.253	776	303
2001-2500 cm ³ e kadar	6.253	4.540	2.837	1.695	671
Hibrit					
1600 cm ³ ve aşağısı	1.298	948	543	393	147
1601-2000 cm ³ e kadar	3.919	3.036	1.786	1.074	420
2001-2500 cm ³ e kadar	7.192	5.221	3.262	1.949	772
Elektrikli					
85 kw ve aşağısı	324	237	136	98	37
121-150 kw e kadar	1.798	1.305	815	487	193

Çizelge 5.12. 2018 yılı N1 için MTV değerleri, TL

Azami Toplam Ağırlık	Taşıtların Yaşları ile Ödenecek Yıllık Vergi Tutarı (TL)		
	1-6 yaş	7-15 yaş	16 ve yukarı
1.500 kg'a kadar	923	613	301

5.5.2. Kaydı Yapılan Araçların Maliyet Analizi

2019- 2030 yıllarını kapsayan analiz döneminde senaryolar bazında motor türüne göre kaydı yapılan araçların vergi değişimi analizi Özel Tüketim Vergisi (ÖTV), Katma Değer Vergisi (KDV) ve Motorlu Taşıtlar Vergisi (MTV) açısından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca piyasaya yeni araçların girmesinin ithalat boyutu da değerlendirilmiştir.

2019- 2030 döneminde piyasaya yeni girecek araçların MTV açısından yaratacağı vergi geliri değişimi analizi kaydı silinen araçlar ili ilgili analizde olduğu gibi M1 ve N1 için farklı MTV tutarları söz konusu olduğundan vergi tutarları, ARIMA modeli aracılığı ile analiz dönemi için tahmin edilen YDO'ya göre her sene için düzeltilmiştir. 2019- 2030 yıllarında Türkiye'de senaryolar bazında kaydı yapılan araçlardan elde edilecek MTV geliri Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12 değerleri baz alınarak hesaplanmıştır.

Kaydı yapılan araçlardan alınacak ÖTV analizinde baz olarak 01.01.2019 tarihli son güncel ÖTV oranları kullanılmıştır (Çizelge 5.13). Senaryolarda kaydı yapılması öngörülen araçların (hem M1 hem de N1 için) motor silindir hacmine bağlı olarak ortalama vergisiz bedel miktarları, ARIMA modeli ile tahmin edilen enflasyon oranlarına göre 2019 - 2030 dönemi için düzenlenmiştir. Buna göre kaydı yapılan araçlardan elde edilecek olan ÖTV miktarı bulunmuştur.

Çizelge 5.13. M1 ve N1 için motor hacimlerine göre ÖTV oranı, 2018

Motor Hacmi	ÖTV oranı
M1	
Benzin >2,0 l	1,60
Benzin 0,8 - 1,4 l	0,60
Benzin 1,4 - 2,0 l	1,10
Dizel <1,4 l	0,60

Motor Hacmi	ÖTV oranı
M1	
Dizel >2,0 l	1,60
Dizel 1,4 - 2,0 l	1,10
Hibrit <1,8 l	0,60
Hibrit 2,0-2,5 l	1,10
Hibrit diğer	1,60
Elektr <85 kw	0,03
Elektr >120 kw	0,15
N1	
Dizel <3,5 t	0,10

Senaryolar bazında piyasaya girecek yeni araçlar (M1 ve N1) üzerinden alınacak Katma Değer Vergisi tutarlarındaki değişim, KDV oranının %18 olarak sabit bir şekilde kalacağı varsayımına dayanarak analiz edilmiştir. Analizde öncelikle araçların (M1 ve N1) ortalama vergisiz fiyat verileri üzerinden KDV miktarları hesaplanmış, ardından motor hacmine ve ÖTV matrah değerine göre hesaplanan ÖTV tutarları üzerinden %18 oranında KDV miktarı (ÖTV'nin KDV'si) elde edilmiştir. Senaryolar bazında kaydı yapılacak araçlar için KDV tutarı hesaplanmıştır.

Senaryolar bazında piyasaya girecek yeni araçlardan dolayı ithalat kaleminde oluşacak olası etki piyasadaki araçların enflasyon oranında 2019-2030 yılları için yeniden düzenlenmiş vergisiz bedelleri üzerinden analiz edilmiştir. Bunun için piyasaya giren yeni araçların %60'ının ithal edildiği varsayılmıştır. Bununla birlikte senaryolarda yer alan elektrikli ve hibrit araçlar için analiz dönemi boyunca %80 oranında ithal edildiği varsayımında bulunulmuştur. Senaryolar itibariyle piyasaya girecek yeni araçların ithalat üzerinden yaratacağı etki hesaplanmıştır.

5.5.3. Yakıt Maliyetlerinin Hesaplanması

Senaryolar bazında taşıtların kullandığı yakıt tipine göre benzin, dizel ve LPG tüketimleri 2019-2030 yılları için ton cinsinden COPERT modeli çalıştırılarak bulunmuştur. Yakıt tüketiminde meydana gelecek değişimin maddi değeri (TL olarak), yakıt fiyatlarının geçmiş yıllardaki verilerine dayanarak ARIMA modeli aracılığı ile 2019-2030 yılları için tahmin edilen fiyat bilgisi kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.14). Yakıt fiyatları kullanılarak 2019-2030 dönemi için yakıt tüketiminden elde edilen vergi geliri

bulunmuştur. 2019-2030 döneminde yakıt tüketiminde meydana gelecek değişimden dolayı ithalatta oluşacak değişim, yakıtların litre fiyatındaki ürün maliyeti oranı (2018 yılının ortalaması) kullanılarak TL olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.14. Yakıt bazında litre başına yakıt fiyatları 2019-2030, TL/litre

Yıl	Benzin, TL/litre	Dizel, TL/litre	LPG, TL/litre
2019	5,80	5,10	3,81
2020	6,03	5,30	4,02
2021	6,26	5,50	4,23
2022	6,49	5,71	4,45
2023	6,72	5,91	4,66
2024	6,95	6,11	4,87
2025	7,19	6,32	5,09
2026	7,42	6,52	5,30
2027	7,65	6,72	5,51
2028	7,88	6,93	5,72
2029	8,11	7,13	5,94
2030	8,34	7,33	6,15

5.5.4. Karbon Maliyetlerinin Hesaplanması

Karbon maliyeti hesaplanırken nominal karbon maliyeti 2019-2030 yılları için World Bank'ten alınan TÜFE oranı esas alınarak uygulanmıştır [79]. Başlangıç değeri, 11,15 \$ / tCO₂, 2018'de Nature Climate Change dergisinde yayınlanan “*Ülke düzeyinde karbonun sosyal maliyeti*” çalışmasından alınmıştır [80]. Türkiye'ye özgü karbon maliyetinin sosyal değeri, Ricke vd. (2018) çalışmalarında hesaplanan tüm SSP2 (yolun ortasında sosyo ekonomik senaryo) tahminlerinin ortalaması olarak alınmıştır ve 2018 USD olarak 11,15 \$ olarak bulunmuştur. Bu değer, ExternE tarafından önerilen değere de oldukça yakındır. 2030 yılında 100 dolar olan son değer Mayıs 2017'de yayınlanan “*Karbon Fiyatları Üzerine Yüksek Düzeyli Komisyon Raporu*”nda kabul edilmiştir [81]. İlk önce 2018 USD değerini PPP'yi (Purchasing Power Parity = Satın alma gücü paritesi) kullanıp, ardından Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE) kullanılarak, her yıl için karbon fiyatlarının nominal değeri hesaplanmıştır.

Karbon emisyonları göz önünde bulundurularak yıllar bazında nominal karbon maliyeti Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$PV_{CoC_n} = \frac{FV_{CoC_n}}{(1+i)^n} \quad \text{Eşitlik 8}$$

PV: şimdiki değer.

FV: nominal değer.

i: iskonto oranı.

n: baz alınan yıldan itibaren yılların sayısı

Kümülatif nominal karbon maliyetleri ise Eşitlik 9 ile hesaplanmıştır.

$$PV_{CoC_n} = \sum_{n=0}^T \frac{FV_{CoC_n}}{(1+i)^n} \quad \text{Eşitlik 9}$$

Projede yapılan hesaplamada, n = 0 2019 yılını ifade etmektedir. T = 11 ise 2030 yılıdır. İskonto oranı (i); zaman tercihi oranı (z), marjinal tüketim faydasının esnekliği (n) ve kişi başına düşen geliri artış hızı (g) ile $i = z + n \cdot g$ olarak belirlenir. Ülkeye özgü iskonto oranını tahmin eden bir çalışma olmadığından, benzer bağlamda raporlarda sıklıkla kullanılan değerlerin uygulanmasına karar verilmiştir. İskonto oranı %2,5 ile %5 arasında değişirken, en sık kullanılan oran %3, %3,5 veya %4'tür [82] ,[83]. ExternE projesi, iskonto oranı için %3 olarak merkezi değer kullanılmasını önermektedir [84]. RECARDO-AEA, Avrupa Komisyonu için hazırlayan “Dış Ulaşım Maliyetleri El Kitabı'nın Güncellenmesi” başlıklı raporda %3 iskonto oranının makul olduğunu belirtmiştir [85]. Bu hesaplamalarda %3 iskonto oranı kullanılmıştır. Araçlardan kaynaklanan karbon maliyetleri Bölüm 5.4'te belirtilen toplam sera gazı emisyonları göz önünde bulundurularak her üç durum için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

5.5.5. Elektrik Maliyetlerinin Hesaplanması

Senaryolar bazında elektrik tüketiminden kaynaklanan maliyetler hesaplanırken yıllık elektrik tüketimi ile 2018 yılının elektrik tarifesi olan 36 kr/kWh baz alınmıştır [86]. Elektrik tarifesi yıllık TÜFE oranına göre 2019-2030 yılları için düzenlenmiştir (Çizelge

5.15). Buna göre 2019-2030 yılları için stoktaki elektrikli araçların elektrik tüketimine bağlı olarak elektrik maliyetleri senaryolar bazında hesaplanmıştır.

Çizelge 5.15. Nominal elektrik tarifesi 2019-2030, kr/kWh

Yıl	Nominal elektrik tarifesi kr/kWh
2019	42
2020	48
2021	54
2022	61
2023	69
2024	78
2025	88
2026	99
2027	111
2028	124
2029	139
2030	155

5.5.6. Sağlık Maliyetlerinin Hesaplanması

Karayolu taşıtlarından kaynaklanan emisyonların insan sağlığı üzerine olan etkileri ilgili her bir kirletici için (NO_x , SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO), Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOA), Kardiyovasküler Hastalığı (KVH), akciğer kanseri, astım, alt solunum yolları hastalığı gibi mortalite ve morbidite açısından sağlık etkileri tanımlanarak ortaya konulmuştur.

Farklı araç filosu dağılım senaryolarına göre, taşıtlardan kaynaklanan emisyonların neden olacağı hava kirliliğine maruziyetin sağlık maliyeti, mekânsal konsantrasyon verileri, Türkiye'nin grid bazındaki nüfus verileri ile birleştirilerek yapılmıştır. Maruziyet-yanıt fonksiyonları (ERF) kullanılarak maruziyete bağlı sağlık maliyeti hesaplanmıştır.

Hava kirliliğine bağlı olarak ortaya çıkan çok sayıda hastalık için değerlendirme yapılabilmektedir. Bunlar arasında morbidite (hastalık oranları) olduğu gibi CO ve SO_2 gibi kirleticilere kısa dönem maruziyet sonucu gerçekleşen akut ölümler ile $\text{PM}_{2.5}$ gibi kirleticilere uzun dönem maruziyet sonucu görülen kronik hastalıklara bağlı ölümler sayılabilir. Sağlık maliyeti hesaplanırken CO , SO_2 ve $\text{PM}_{2.5}$ kirletici parametrelerine ait yıllık ortalamalar girilmiştir. Hesaplarda dikkate alınan morbidite çeşitleri arasında

kronik bronşit, sınırlı aktivite günleri, kalp yetmezliği, akciğer kanseri, solunum ve serebrovasküler rahatsızlıklara bağlı olarak hastaneye yapılan başvurular, çocuklarda (<15 yaş) ve yetişkinlerde (>15 yaş) görülen astım ki bu bireyler Bronkodilatör kullananlar, öksürük ve alt solunum yolları şikâyetleri olan hastalardan oluşmaktadır. Erken ölüm sayısı CAFE (Clean Air for Europe Programme) raporunda belirtildiği gibi PM_{2.5} maruziyetine bağlı yaşam yılı kaybının (years of life lost (YLL)) 10,6 ile bölünmesinden elde edilen değer toplamına eşit alınmaktadır [87]. Çalışmada dikkate alınan her bir parametre için maruziyet-yanıt katsayısı ile birlikte birim maliyet örnek olması açısından Çizelge 5.16'da verilmiştir [88][89]

Çizelge 5.16. Sağlık etkilerinin maruziyet-yanıt katsayıları ve birim maliyeti Euro [88][89]

Sağlık Etkileri (türler)	Maruziyet-Yanıt Katsayısı	Maliyet (Euro)
Morbidite		
İş Kaybı Günleri (PM)	3,65E-5 gün/ μgm^{-3} (yetişkin)	273/gün
Sınırlı Aktivite Günleri (PM)	6,9E-2 gün/ μgm^{-3} (yetişkin)	148/gün
Akciğer Kanseri (PM)	1,62E-6 vaka/ μgm^{-3}	72.697/vaka
Hastane Başvuruları		
Solunum (PM)	2,75E-5 vaka/ μgm^{-3}	9.940/vaka
Solunum (NO ₂)	2,65E-6 vaka/ μgm^{-3}	9.940/vaka
Serebrovasküler (PM)	8,42E-6 vaka/ μgm^{-3}	15.999/vaka
Çocuklarda Astım(% 7.6 <16 yaş)		
Bronşit (PM)	1,73E-3 vaka/ μgm^{-3}	162/vaka
Alt Solunum Yolu Semptomları (PM)	4E-4 vaka/ μgm^{-3}	1.325/vaka
Yetişkinlerde Astım (% 5.9 >15 yaş)		
Bronşit (PM)	6,81E-5 vaka/ μgm^{-3}	38.933/vaka
Ölüm		

Sağlık Etkileri (türler)	Maruziyet-Yanıt Katsayısı	Maliyet (Euro)
Akut Ölüm (PM)	1,2E-5 vaka/ μgm^{-3}	4.241.611/vaka
Akut Ölüm (SO ₂)	6,968E-7 vaka/ μgm^{-3}	4.241.611/vaka
Kronik Ölüm (PM)	9,25E-4 YLL/ μgm^{-3} (>30 yıl)	149.594/YLL
Bebek Ölümü (PM)	6,15E-6 vaka/ μgm^{-3} (> 9 ay)	6.362.416/vaka

Çalışmada kullanılan hastalıkların birim maliyetleri EU27 ülkelerine özgü olduğu için, bu çalışmada toplam maliyeti hesaplayabilmek için orta-yüksek gelirli ülkeler için geliştirilmiş olan istatistiksel yaşam değeri (İYD) yaklaşımı kullanılmıştır [35], [90]. İYD, bireylerin ödemeye istekliliği üzerinden hesaplanan ve ölüm riskinde en ufak bir değişikliğe neden olabilecek maliyet ile belirlenmektedir. Örneğin, ölüm riskini 10.000'de 5 oranında azaltabilmek için bireyler 1.000 TL ödemek isterlerse, bu bireyler için İYD = 1.000/ (5/10.000) = 2 milyon TL olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada EVA tarafından kullanılan İYD/İstatistiksel Yaşam Yılı Değeri (İYYD) oranı (0,0353) kullanılmıştır. İYD ve İYYD değerleri sırasıyla 1,99 milyon TL (2018 yılı için) ve 70.194 TL olarak kabul edilmiş olup, söz konusu değerler Çizelge 5.16'da verilen çalışmada 1,229 milyon Amerikan Doları (2015) ve \$43,345 Amerikan Doları olarak alınmıştır. Bu değerler erken ölümün birim maliyetinin 1.99 milyon TL ve bireylerin ömürlerinde bir yılın kaybının birim maliyetinin 70,194 TL olduğu anlamına gelmektedir.

5.5.7. Toplam Fayda Maliyet Analizi

Senaryolar bazında 2019-2030 yılları arasında karayolları taşıtlarının kullandığı akaryakıt üzerinden vergi değişimi ve ithalat değişimi, kaydı silinen araçlardan kaynaklanan vergi değişimi ve ithalat değişimi, kaydı yapılan araçların MTV, ÖTV ve KDV değişimleri ile ithalat değişimi hesaplanmış ve toplam vergi değişimi ile toplam ithalat değişimi bulunmuştur. Buna ek olarak karbon emisyon maliyeti ve elektrik maliyeti de üzerine eklenmiştir. Son olarak sağlık maliyetlerinin toplam net fayda maliyeti üzerine olan etkisi incelenmiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak senaryolar bazında 2019-2030 yılları için net fayda maliyet analizleri yapılmıştır.

5.6. Bölüm Sonu

Bu bölümde çalışmanın metodolojisi ve verilerin kaynakları hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Çalışmanın ilk adımı olan araç satış tahminleri ekonometrik bir model kullanılarak yapılacağı belirtilmiştir. Hurda araç sayıları da yıllar bazında tahmin edildikten sonra araç satışlarıyla birlikte kullanılarak o yıldaki toplam mevcut araç sayısına ulaşılabacaktır. Sonrasında ise araç sayısına dayanan senaryolar oluşturulacaktır. Bu senaryolar oluşturulurken dizelli araçlara olan talebin azaldığı, bunun yerine elektrikli ve hibrit araçlara olan talebin arttığı düşünülmüştür. Daha sonra ise senaryolar bazında sera gazı emisyonları ve kirleticilerin hesaplanacağı belirtilmiştir. Bu çalışmada elektrikli araçların elektrik talebi üzerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca elektrikli araçların elektrik tüketimindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekedeki dağılımlarının sera gazı emisyonu azaltımı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Son olarak ise fayda maliyet analizleri tüm senaryolar için öngörülmüştür.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma Bölüm 5'te belirtildiği gibi, araç sayısı tahmini, senaryoların oluşturulması, araçların elektrik tüketimi, emisyonların hesaplanması ve maliyet analizleri olmak üzere beş aşamadan oluşmaktadır. Bu bölümde çalışmanın her aşaması için sonuçlar sunulmuştur. Çalışmada baz yılı 2018 olarak alınmıştır. Tüm tahminler ve hesaplamalar 2019-2030 yılları arasında kapsamaktadır. İlk kısımda araç sayısı tahmini yapılmıştır. İkinci kısımda ise senaryolar oluşturulmuştur. Daha sonraki kısımlarda ise senaryolar bazında sırasıyla elektrik tüketimi, emisyonların hesaplanması ve maliyet analizleri yapılmıştır.

6.1. Araç Sayısı Tahmini

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında elektrik tüketimi, emisyon ve maliyet hesaplarının yapılabilmesi için M1 ve N1 sayılarının tahmini yapılmıştır. Bunun için gerekli olan; kaydı yapılan, kaydı silinen ve stokta bulunan M1 ve N1 sayısı tahminleri de ayrıca yapılmıştır.

6.1.1. Kaydı Yapılan Araç Sayısı Tahmini

Kaydı yapılan araç sayısı tahmini yapılırken Bölüm 5.1.1'de anlatıldığı gibi parametreler kullanılmış ve içlerinden en etkili sonucu veren parametreler; kişi başı gayrisafi yurt içi hasıla, dolar alış, 15– 65 yaş aralığını kapsayan nüfus ve kaydı silinen araç sayısı olmuştur. Buna göre kaydı yapılan araç sayısının tahminini yapan model sonucu Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Bu sonuçlar ele alındığında 2018 yılında 656.106 olan kaydı yapılan otomobil ve kamyonet (M1ve N1) sayısının 2030 yılında 1.557.567 adet olması beklenmektedir.

Çizelge 6.1. Kaydı yapılan otomobil ve kamyonet (M1 & N1) tahmin modelinin sonuçları

Yıl	Otomobil ve Kamyonet Sayısı
2019	725.304
2020	793.229
2021	945.718
2022	970.851
2023	952.849
2024	1.025.982
2025	1.186.682

Yıl	Otomobil ve Kamyonet Sayısı
2026	1.323.513
2027	1.370.872
2028	1.380.934
2029	1.439.786
2030	1.557.567

6.1.2. Kaydı Silinen Araç Sayısı Tahmini

Kayı silinen araçların önceki yıllardaki artış ve azalış oranlarına bakılarak Bölüm 5.1.2’de anlatıldığı gibi kaydı silinen araç sayısı tahmini yapılmış ve Çizelge 6.2’de verilmiştir. 2018 ve 2019 yıllarında hurda teşviği olduğundan dolayı 2019 yılı kaydı silinen toplam otomobil ve kamyonet (M1 ve N1) sayısı 153.468 alınmıştır. 2020 yılındaki kaydı silinenler için ise 2005 yılının 2004 yılına göre yıllık artışı (-%83) baz alınmış, 2020 yılı sonrası 2021-2030 yıllarındaki kaydı silinenlerin tahmininde ise %6’lık artış olacağı varsayılarak kaydı silinen araç sayısı tahmin edilmiştir. 2018 yılında teşviğin etkisiyle 180.550 olan kaydı silinen otomobil ve kamyonet (M1 ve N1) sayısının, bundan sonraki dönemlerde hiç bir teşviğin uygulanmadığı düşünüldüğünde 2030 yılında 98.391 adet olacağı tahmin edilmiştir.

Çizelge 6.2. Tahmini kaydı silinen otomobil ve kamyonet sayısı

Yıl	Otomobil ve Kamyonet Sayısı
2019	153.468
2020	53.172
2021	56.547
2022	60.137
2023	63.954
2024	68.013
2025	72.330
2026	76.921
2027	81.804
2028	86.996
2029	92.518
2030	98.391

6.1.3. Toplam Araç Sayısı Tahmini

Önceki aşamalarda 2019-2030 yılları için tahmini yapılan kaydı yapılan ve kaydı silinen otomobil ve kamyonet (M1 & N1) sayıları kullanılarak bulunan toplam araç sayısı tahmini Çizelge 6.3’te verilmiştir. 2018 yılında mevcut M1 & N1 sayısı 16.153.770 adet

iken, yapılan tahmin sonuçlarına göre 2030 yılında bu sayının 28.862.805'e ulaşacağı tahmin edilmiştir.

Çizelge 6.3. 2019-2030 yıllarına ait toplam otomobil ve kamyonet sayıları

Yıl	Otomobil	Kamyonet	Toplam
2019	12.837.081	3.888.526	16.725.606
2020	13.405.082	4.060.581	17.465.663
2021	14.087.530	4.267.304	18.354.834
2022	14.786.513	4.479.035	19.265.548
2023	15.468.749	4.685.694	20.154.443
2024	16.204.000	4.908.412	21.112.412
2025	17.059.277	5.167.486	22.226.763
2026	18.016.049	5.457.306	23.473.355
2027	19.005.423	5.757.000	24.762.423
2028	19.998.533	6.057.827	26.056.361
2029	21.032.576	6.371.053	27.403.629
2030	22.152.509	6.710.296	28.862.805

2019-2030 yılları için otobüs (M2&M3) ve kamyon (N2&N3) sayılarında yapılan tahminlerde ise; 1994-2018 yıllarındaki otobüs ve kamyon sayılarındaki artışa bakılarak Çizelge 6.4'deki gibi olacağı tahmin edilmiştir. Burada otobüs ve kamyon sayılarının 2023'ten sonra sabit tutulmasının sebebi uzun dönem için otomobil ve kamyonet (M1 ve N1) araç sayılarının emisyonlar üzerindeki etkilerini daha net görebilmektir. Bu sebeple otobüs ve kamyon sayıları bu çalışma için Çizelge 6.4'te yer aldığı şekilde kabul edilmiştir.

Çizelge 6.4. 2019-2030 yıllarına ait otobüs ve kamyon sayıları

Yıl	Otobüs	Kamyon
2019	225.738	852.279
2020	227.387	865.212
2021	229.037	878.144
2022	230.687	891.077
2023	232.336	904.010
2024	232.336	904.010
2025	232.336	904.010
2026	232.336	904.010
2027	232.336	904.010

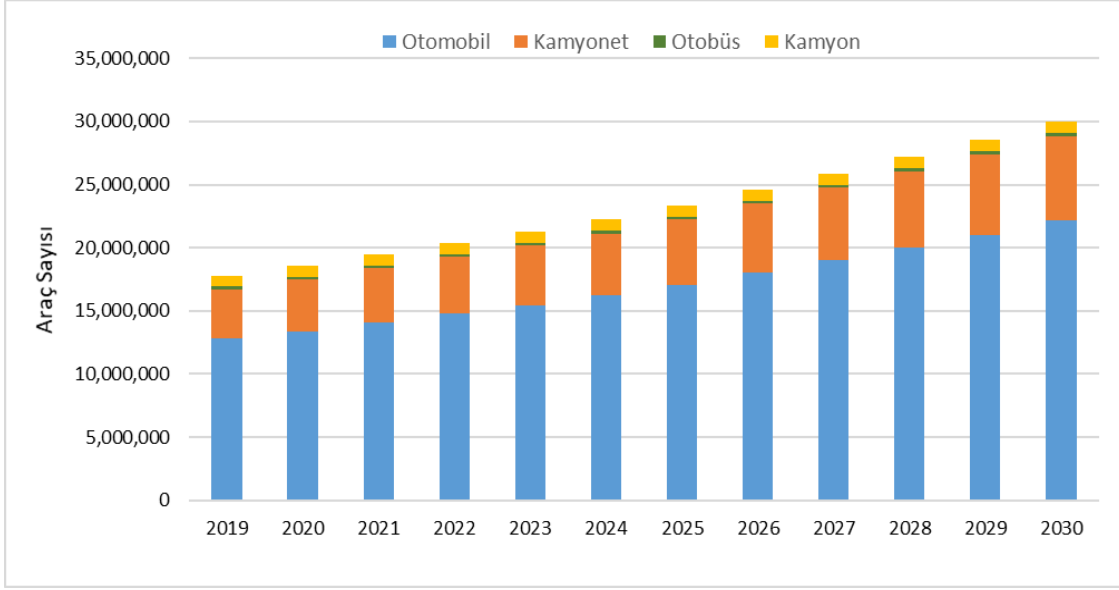
Yıl	Otobüs	Kamyon
2028	232.336	904.010
2029	232.336	904.010
2030	232.336	904.010

Buna göre tahmini yapılan otomobil, kamyonet, otobüs ve kamyon araç sayılarına göre toplam araç sayısı Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Tahmini toplam araç sayısı, 2019-2030

Yıl	Toplam Araç Sayısı
2019	17.803.623
2020	18.558.262
2021	19.462.016
2022	20.387.312
2023	21.290.789
2024	22.248.758
2025	23.363.110
2026	24.609.702
2027	25.898.769
2028	27.192.707
2029	28.539.975
2030	29.999.151

Araç tipi bazında 2019-2030 yılları için tahmin edilen araç sayısı Şekil 6.1'de verilmiştir. Araç sayısının giderek arttığı filo içerisindeki araç tipi dağılımları Şekil 6.1'e bakıldığında daha net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.1. Araç tipi bazında tahmin edilen araç sayısı, 2019-2030

6.2. Araç Sayısı ve Yakıt Bazında Senaryoların Oluşturulması

Bu kısımda senaryolar oluşturulurken ilk olarak olağan durumun değişmediği ve teşviklerin uygulanmadığı kabul edilerek olağan durum senaryosu oluşturulmuştur. Daha sonra ise hurda araç ve kaydı yapılan araçların teşviklerin etkisi ile ODS'ye göre değişiklik gösterdiği düşünülerek Senaryo 1 oluşturulmuştur. Son olarak ODS ile kaydı yapılan ve kaydı silinen araç sayısı aynı kabul edilmiş fakat elektrikli ve hibrit araç sayılarının değişiklik gösterdiği Senaryo 2 ve Senaryo 3 oluşturulmuştur.

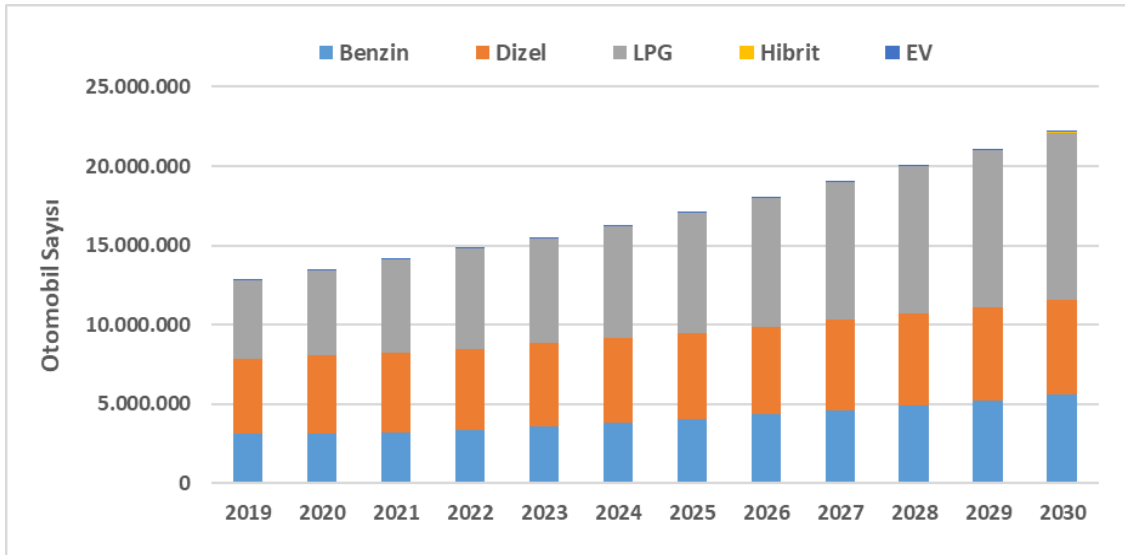
6.2.1. ODS

Olağan durumun değişmediği varsayılarak oluşturulan ODS'nin yakıt bazında otomobil (M1) sayıları Çizelge 6.6'da verilmiştir. 2030 yılına gelindiğinde hibrit araç sayısının 24 bin, elektrikli araç sayısının ise 302 olacağı tahmin edilmiştir. 2030 yılındaki yakıt bazında araç dağılımında benzin %25, dizel %27, LPG %48, hibrit ve elektrikli araçların ise %0,1'lik bir paya sahip olacağı tahmin edilmiştir. Senaryonun araç yaş ortalaması 2030 yılında 13.11 olmuştur.

Çizelge 6.6. Yakıt bazında otomobil (M1) sayıları - ODS

Yıl	Benzin	Dizel	LPG	Hibrit	Elektrikli	Toplam
2019	3.126.826	4.681.229	5.021.352	7.579	95	12.837.081
2020	3.136.825	4.923.876	5.336.171	8.109	101	13.405.082
2021	3.173.012	5.058.000	5.847.614	8.794	110	14.087.530
2022	3.374.807	5.086.703	6.315.194	9.688	121	14.786.513
2023	3.576.924	5.243.384	6.637.509	10.798	135	15.468.749
2024	3.795.552	5.329.756	7.066.427	12.114	151	16.204.000
2025	4.047.066	5.439.596	7.558.821	13.624	170	17.059.277
2026	4.328.094	5.563.566	8.108.871	15.327	192	18.016.049
2027	4.622.793	5.677.968	8.687.217	17.228	215	19.005.423
2028	4.924.348	5.773.465	9.281.149	19.329	242	19.998.533
2029	5.242.064	5.860.342	9.908.268	21.632	270	21.032.576
2030	5.587.649	5.949.480	10.590.926	24.152	302	22.152.509

Yakıt bazında otomobil (M1) sayısının 2019-2030 yılları arasındaki değişimleri Şekil 6.2’de verilmiştir. Buna göre 2019-2030 yıllarına bakıldığında hibrit ve elektrikli araç gibi temiz teknolojili araçların toplam M1 stoğundaki pay küçük bir oranda kalmaya devam ettiği görülmektedir.



Şekil 6.2. Yakıt bazında otomobil (M1) sayısı değişimleri - ODS, 2019-2030

Bu senaryoda kamyonetler (N1) için yıllar bazında olan yakıt dağılımında büyük çoğunluğunun dizel kullandığı varsayılmıştır (Çizelge 6.7). Benzin kullanımı %10 olurken dizel kullanımının %90 olacağı kabul edilmiştir.

Çizelge 6.7. Yakıt bazında kamyonet (N1) araç sayıları – ODS

Yıl	Benzin	Dizel	Toplam
2019	388.853	3.499.673	3.888.526
2020	406.058	3.654.523	4.060.581
2021	426.730	3.840.574	4.267.304
2022	447.904	4.031.132	4.479.035
2023	468.569	4.217.125	4.685.694
2024	490.841	4.417.570	4.908.412
2025	516.749	4.650.738	5.167.486
2026	545.731	4.911.575	5.457.306
2027	575.700	5.181.300	5.757.000
2028	605.783	5.452.044	6.057.827
2029	637.105	5.733.947	6.371.053
2030	671.030	6.039.266	6.710.296

Otobüs (M2 & M3) ve kamyonlarda (N2 & N3) ise tüm araçların dizel kullandığı varsayılmıştır (Çizelge 6.8).

Çizelge 6.8. Yakıt bazında otobüs ve kamyon araç sayıları - ODS

Yıl	Otobüs Dizel	Kamyon Dizel	Toplam
2019	225.738	852.279	1.078.017
2020	227.387	865.212	1.092.599
2021	229.037	878.144	1.107.181
2022	230.687	891.077	1.121.764
2023	232.336	904.010	1.136.346
2024	232.336	904.010	1.136.346
2025	232.336	904.010	1.136.346
2026	232.336	904.010	1.136.346
2027	232.336	904.010	1.136.346
2028	232.336	904.010	1.136.346
2029	232.336	904.010	1.136.346
2030	232.336	904.010	1.136.346

ODS için tahmin edilen toplam otomobil, kamyonet, otobüs ve kamyon sayıları Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Toplam araç sayıları – ODS, 2019-2030

Yıl	Otomobil	Kamyonet	Otobüs	Kamyon	Toplam
2019	12.837.081	3.888.526	225.738	852.279	17.803.623
2020	13.405.082	4.060.581	227.387	865.212	18.558.262
2021	14.087.530	4.267.304	229.037	878.144	19.462.016
2022	14.786.513	4.479.035	230.687	891.077	20.387.312
2023	15.468.749	4.685.694	232.336	904.010	21.290.789
2024	16.204.000	4.908.412	232.336	904.010	22.248.758
2025	17.059.277	5.167.486	232.336	904.010	23.363.110
2026	18.016.049	5.457.306	232.336	904.010	24.609.702
2027	19.005.423	5.757.000	232.336	904.010	25.898.769
2028	19.998.533	6.057.827	232.336	904.010	27.192.707
2029	21.032.576	6.371.053	232.336	904.010	28.539.975
2030	22.152.509	6.710.296	232.336	904.010	29.999.151

6.2.2. Senaryo 1

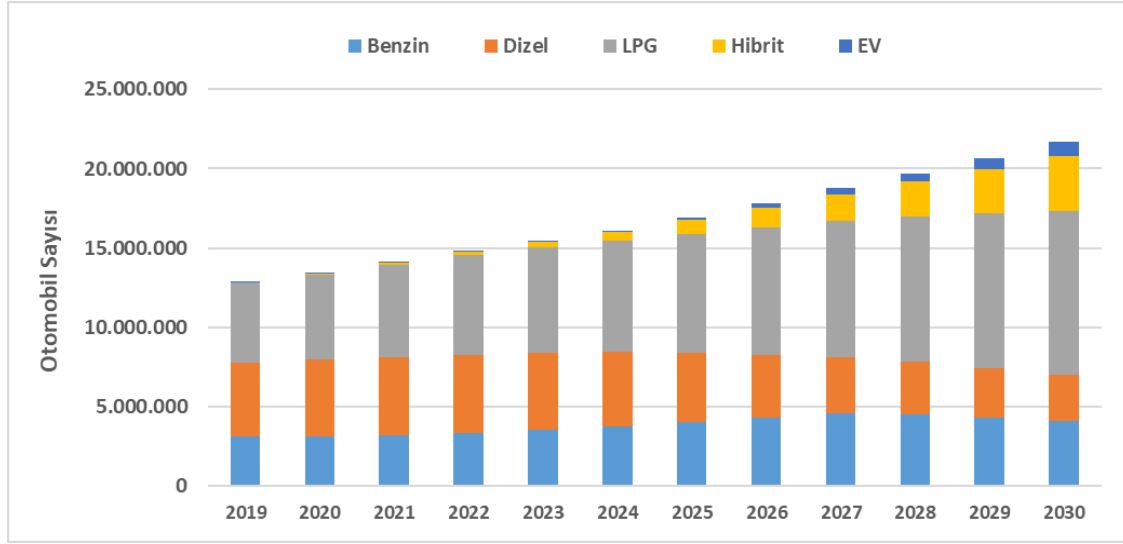
Bu senaryoda hurda araç sayısı ve kaydı yapılan araç sayısındaki değişikliklerin etkisinin gözlenebilmesi için 2019-2030 yılları arasındaki araç sayısı ODS'den farklı olacağı düşünülmüş ve oluşturulmuştur. Buna göre 2030 yılında ODS'de %0,3 olan hurda sayısının Senaryo 1'de %3 olacağı tahmin edilmiştir. Hurdaya çıkan araç sayısının her yıl %75'i kadar trafiğe kaydı yapılan araç sayısına katılacağı düşünülmüştür. Senaryo 1 için yakıt bazında otomobil (M1) araç sayısı Çizelge 6.10'da verilmiştir. 2030 yılında hibrit araç sayısının yaklaşık üç buçuk milyona, elektrikli aracın ise 863.341'e ulaşacağı tahmin edilmiştir. 2030 yılındaki yakıt bazında araç dağılımında benzin %19, dizel %13, LPG %48, hibrit ve elektrikli araçların ise %20'lik bir paya sahip olacağı tahmin edilmiştir. Bu senaryoda kaydı silinen araç sayısı çok yüksek olduğundan araç filosu 2030 yılında ODS'ye göre daha da gençleşmiştir ve araç yaş ortalaması 9,69'a düşmüştür.

Çizelge 6.10. Yakıt bazında otomobil (M1) sayıları - Senaryo 1

Yıl	Benzin	Dizel	LPG	Hibrit	Elektrikli	Toplam
2019	3.126.826	4.666.357	5.021.352	22.267	278	12.837.081
2020	3.136.790	4.872.172	5.336.113	58.851	1.010	13.404.936
2021	3.170.829	4.937.206	5.843.591	120.779	5.433	14.077.839
2022	3.368.368	4.857.268	6.303.145	214.696	14.825	14.758.302
2023	3.564.141	4.842.856	6.613.789	349.065	43.619	15.413.470
2024	3.774.262	4.656.653	7.026.791	559.242	96.163	16.113.111
2025	4.015.002	4.379.637	7.498.934	861.776	168.771	16.924.120

Yıl	Benzin	Dizel	LPG	Hibrit	Elektrikli	Toplam
2026	4.282.982	4.004.095	8.024.351	1.253.510	263.327	17.828.265
2027	4.562.423	3.535.497	8.573.769	1.708.470	377.068	18.757.226
2028	4.506.664	3.311.976	9.134.528	2.220.660	508.773	19.682.601
2029	4.315.798	3.131.652	9.724.108	2.807.018	663.078	20.641.653
2030	4.120.621	2.856.090	10.364.690	3.474.560	863.341	21.679.301

Senaryo 1 için yakıt bazında 2019-2030 yıllarındaki otomobil (M1) araç sayısı Şekil 6.3'te verilmiştir. Buna göre yıllar içinde temiz teknoloji araçların stok içindeki paylarının gittikçe arttığı görülmüştür.



Şekil 6.3. Yakıt bazında otomobil (M1) sayısı değişimleri – Senaryo 1, 2019-2030

Tıpkı ODS'de olduğu gibi bu senaryoda da kamyonetler (N1) için yıllar bazında olan yakıt dağılımında büyük çoğunluğunun dizel kullandığı varsayılmıştır (Çizelge 6.11). Benzin kullanımı %10 olurken dizel kullanımının %90 olacağı kabul edilmiştir.

Çizelge 6.11. Yakıt bazında kamyonet (N1) sayıları – Senaryo 1

Yıl	Benzin	Dizel	Toplam
2019	388.853	3.499.673	3.888.526
2020	406.054	3.654.483	4.060.537
2021	426.437	3.837.932	4.264.368
2022	447.049	4.023.441	4.470.490
2023	466.895	4.202.054	4.668.949

Yıl	Benzin	Dizel	Toplam
2024	488.088	4.392.792	4.880.880
2025	512.655	4.613.891	5.126.546
2026	540.042	4.860.381	5.400.423
2027	568.182	5.113.636	5.681.818
2028	596.213	5.365.914	5.962.127
2029	625.264	5.627.373	6.252.637
2030	656.695	5.910.259	6.566.954

ODS’de olduğu gibi Senaryo 1 için de otobüs ve kamyonlarda tüm araçların dizel kullandığı varsayılmıştır (Çizelge 6.12). Otobüs ve kamyonlardaki azalmanın sebebi önceki yıllarda stok artış hızının çok olmaması sebebi ile trafikten silinen yaşlı araçların trafiğe yeni katılan araçlardan fazla olduğu varsayılmıştır.

Çizelge 6.12. Yakıt bazında otobüs ve kamyon sayıları – Senaryo 1

Yıl	Otobüs Dizel	Kamyon Dizel	Toplam
2019	225.738	852.279	1.078.017
2020	224.609	848.017	1.072.626
2021	223.486	843.777	1.067.263
2022	222.369	839.558	1.061.927
2023	221.257	835.361	1.056.617
2024	221.257	835.361	1.056.617
2025	221.257	835.361	1.056.617
2026	221.257	835.361	1.056.617
2027	221.257	835.361	1.056.617
2028	221.257	835.361	1.056.617
2029	221.257	835.361	1.056.617
2030	221.257	835.361	1.056.617

Senaryo 1 için tahmin edilen toplam otomobil, kamyonet, otobüs ve kamyon sayıları Çizelge 6.13’te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Toplam araç sayıları – Senaryo 1

Yıl	Otomobil	Kamyonet	Otobüs	Kamyon	Toplam
2019	12.837.081	3.888.526	225.738	852.279	17.803.623
2020	13.404.936	4.060.537	224.609	848.017	18.538.100
2021	14.077.839	4.264.368	223.486	843.777	19.409.471

Yıl	Otomobil	Kamyonet	Otobüs	Kamyon	Toplam
2022	14.758.302	4.470.490	222.369	839.558	20.290.719
2023	15.413.470	4.668.949	221.257	835.361	21.139.037
2024	16.113.111	4.880.880	221.257	835.361	22.050.608
2025	16.924.120	5.126.546	221.257	835.361	23.107.283
2026	17.828.265	5.400.423	221.257	835.361	24.285.306
2027	18.757.226	5.681.818	221.257	835.361	25.495.661
2028	19.682.601	5.962.127	221.257	835.361	26.701.346
2029	20.641.653	6.252.637	221.257	835.361	27.950.908
2030	21.679.301	6.566.954	221.257	835.361	29.302.873

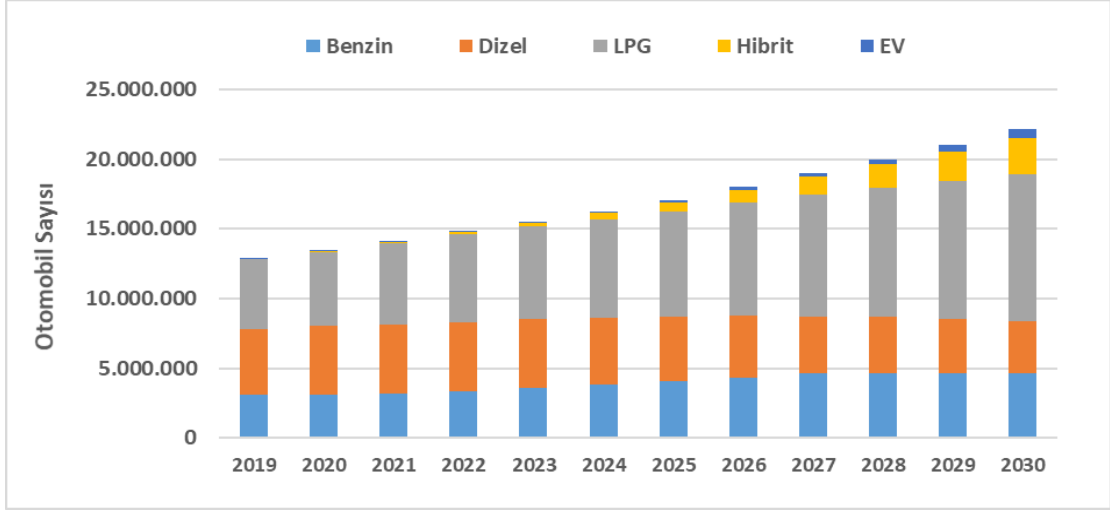
6.2.3. Senaryo 2

Senaryo 2, ODS'deki kaydı yapılan ve kaydı silinen araç sayıları aynı kabul edilmiş, kaydı yapılan araçlardaki hibrit ve elektrikli araç sayıları değiştirilerek oluşturulmuştur (Çizelge 6.14). Bu senaryoda 2030 yılında hibrit araçların otomobil (M1) stoğundaki payı %12 olurken elektrikli araçların payı %3 olmuştur. Benzin %21, dizel %17 ve LPG ise %48 olarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 6.14. Yakıt bazında otomobil (M1) sayıları – Senaryo 2, 2019-2030

Yıl	Benzin	Dizel	LPG	Hibrit	Elektrikli	Toplam
2019	3.089.626	4.563.298	4.695.717	5.301	66	12.837.081
2020	3.126.826	4.666.357	5.021.352	22.267	278	13.405.082
2021	3.136.825	4.878.492	5.336.171	52.708	887	14.087.530
2022	3.173.012	4.958.871	5.847.614	103.517	4.516	14.786.513
2023	3.374.807	4.906.513	6.315.194	178.031	11.968	15.468.749
2024	3.576.924	4.939.993	6.637.509	280.416	33.907	16.204.000
2025	3.795.552	4.830.835	7.066.427	437.906	73.280	17.059.277
2026	4.047.066	4.659.859	7.558.821	665.604	127.927	18.016.049
2027	4.328.094	4.419.861	8.108.871	960.189	199.034	19.005.423
2028	4.622.793	4.115.326	8.687.217	1.296.880	283.207	19.998.533
2029	4.677.746	3.993.204	9.281.149	1.667.838	378.596	21.032.576
2030	4.638.310	3.909.140	9.908.268	2.087.758	489.101	22.152.509

Senaryo 2 için yıllar bazında yakıt dağılımına göre otomobil (M1) araç sayısı Şekil 6.4'te verilmiştir. Bu senaryoda da yıllar içinde temiz teknolojili araçların stok içindeki payının arttığı gözlenmiştir.



Şekil 6.4. Yakıt bazında otomobil (M1) sayısı değişimleri – Senaryo 2, 2019-2030

Senaryo 2’de kamyonet, kamyon ve otobüs sayıları ve yakıt dağılımları ODS ile aynı kabul edilmiştir. Buna göre Senaryo 2 için tahmin edilen toplam otomobil, kamyonet, otobüs ve kamyon sayıları Çizelge 6.15’te verilmiştir.

Çizelge 6.15. Toplam araç sayıları – Senaryo 2

Yıl	Otomobil	Kamyonet	Otobüs	Kamyon	Toplam
2019	12.837.081	3.888.526	225.738	852.279	17.803.623
2020	13.405.082	4.060.581	227.387	865.212	18.558.262
2021	14.087.530	4.267.304	229.037	878.144	19.462.016
2022	14.786.513	4.479.035	230.687	891.077	20.387.312
2023	15.468.749	4.685.694	232.336	904.010	21.290.789
2024	16.204.000	4.908.412	232.336	904.010	22.248.758
2025	17.059.277	5.167.486	232.336	904.010	23.363.110
2026	18.016.049	5.457.306	232.336	904.010	24.609.702
2027	19.005.423	5.757.000	232.336	904.010	25.898.769
2028	19.998.533	6.057.827	232.336	904.010	27.192.707
2029	21.032.576	6.371.053	232.336	904.010	28.539.975
2030	22.152.509	6.710.296	232.336	904.010	29.999.151

6.2.4. Senaryo 3

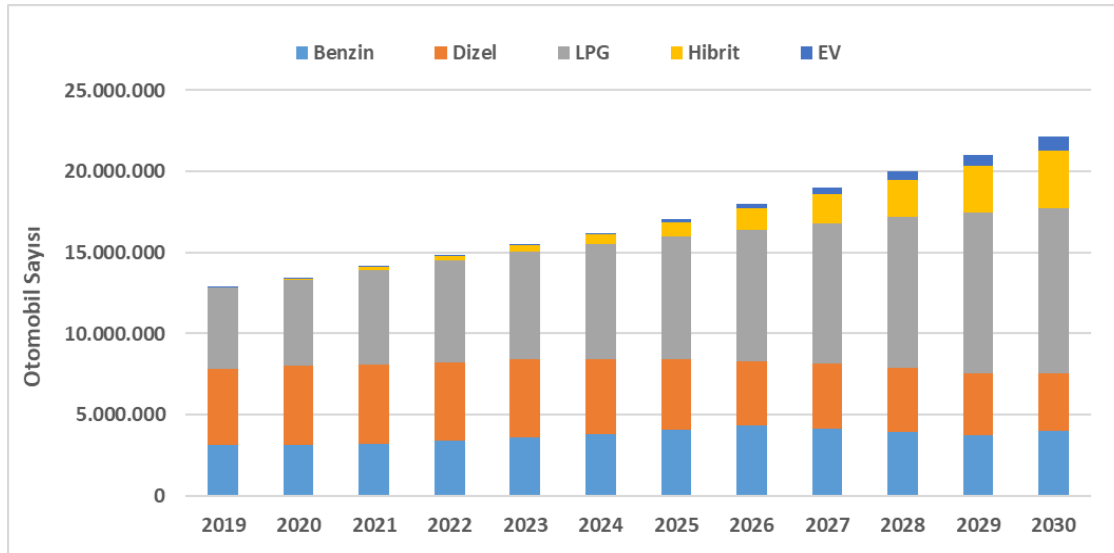
Senaryo 3, ODS’deki kaydı yapılan ve kaydı silinen araç sayıları aynı kabul edilmiş, kaydı yapılan araçlardaki hibrit ve elektrikli araç sayıları değiştirilerek oluşturulmuştur (Çizelge 6.16). Bu senaryoda 2030 yılında hibrit araçların otomobil (M1) stoğundaki payı

%16 olurken elektrikli araçların payı %4 olmuştur. Benzin %18, dizel %16 ve LPG ise %46 olarak tahmin edilmiştir. Senaryo 1'deki gibi yakıt dağılımları aynıdır fakat trafikten kaydı silinen araç sayısı Senaryo 1'den çok daha düşüktür. Bundan dolayı Senaryo 3'te yaşlı araç sayısı daha fazla olmaktadır.

Çizelge 6.16. Yakıt bazında araç sayıları – Senaryo 3, 2019-2030

Yıl	Benzin	Dizel	LPG	Hibrit	Elektrikli	Toplam
2019	3.126.826	4.661.216	5.021.352	27.344	342	12.837.081
2020	3.136.825	4.857.848	5.336.171	73.010	1.229	13.405.082
2021	3.173.012	4.917.258	5.847.614	143.390	6.256	14.087.530
2022	3.374.807	4.833.329	6.315.194	246.606	16.578	14.786.513
2023	3.576.924	4.818.921	6.637.509	388.428	46.968	15.468.749
2024	3.795.552	4.633.934	7.066.427	606.581	101.506	16.204.000
2025	4.047.066	4.354.203	7.558.821	921.984	177.203	17.059.277
2026	4.319.060	3.982.381	8.108.871	1.330.039	275.699	18.016.049
2027	4.154.815	3.974.679	8.687.217	1.796.418	392.294	19.005.423
2028	3.962.676	3.920.019	9.281.149	2.310.263	524.426	19.998.533
2029	3.766.816	3.788.067	9.908.268	2.891.929	677.495	21.032.576
2030	3.988.692	3.556.351	10.176.964	3.554.296	876.206	22.152.509

Senaryo 3'te yıllar bazında yakıt dağılımına göre otomobil (M1) araç sayısı Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5. Yakıt bazında otomobil (M1) araç sayısı değişimleri – Senaryo 3, 2019-2030

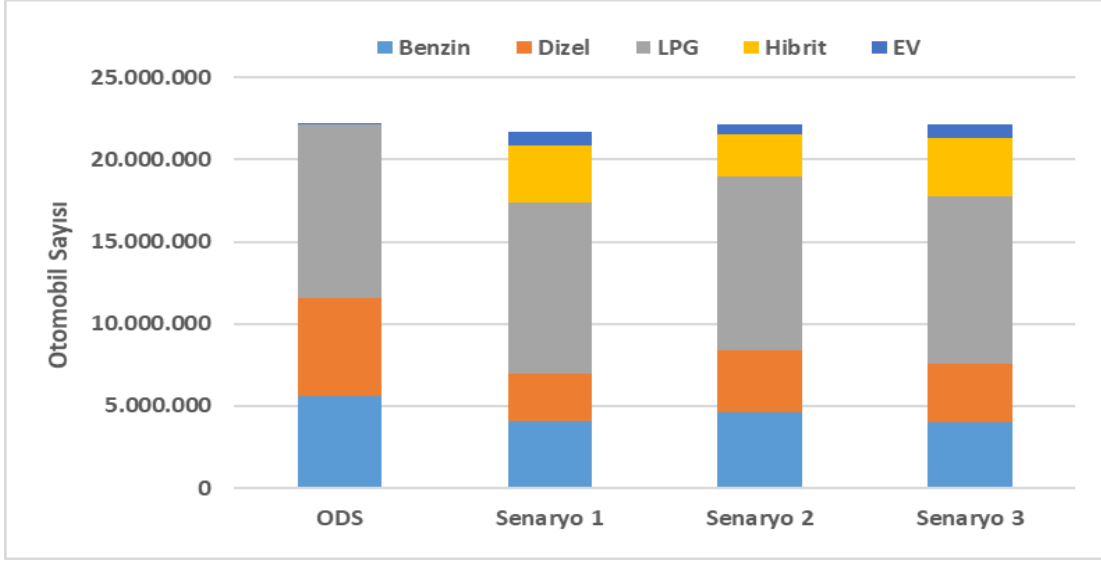
Senaryo 3 için kamyonet, kamyon ve otobüs sayıları ve yakıt dağılımları ODS ile aynı kabul edilmiştir. Senaryo 3 için tahmin edilen toplam otomobil, kamyonet, otobüs ve kamyon sayıları Çizelge 6.17’de verilmiştir.

Çizelge 6.17. Toplam araç sayıları – Senaryo 3

Yıl	Otomobil	Kamyonet	Otobüs	Kamyon	Toplam
2019	12.837.081	3.888.526	225.738	852.279	17.803.623
2020	13.405.082	4.060.581	227.387	865.212	18.558.262
2021	14.087.530	4.267.304	229.037	878.144	19.462.016
2022	14.786.513	4.479.035	230.687	891.077	20.387.312
2023	15.468.749	4.685.694	232.336	904.010	21.290.789
2024	16.204.000	4.908.412	232.336	904.010	22.248.758
2025	17.059.277	5.167.486	232.336	904.010	23.363.110
2026	18.016.049	5.457.306	232.336	904.010	24.609.702
2027	19.005.423	5.757.000	232.336	904.010	25.898.769
2028	19.998.533	6.057.827	232.336	904.010	27.192.707
2029	21.032.576	6.371.053	232.336	904.010	28.539.975
2030	22.152.509	6.710.296	232.336	904.010	29.999.151

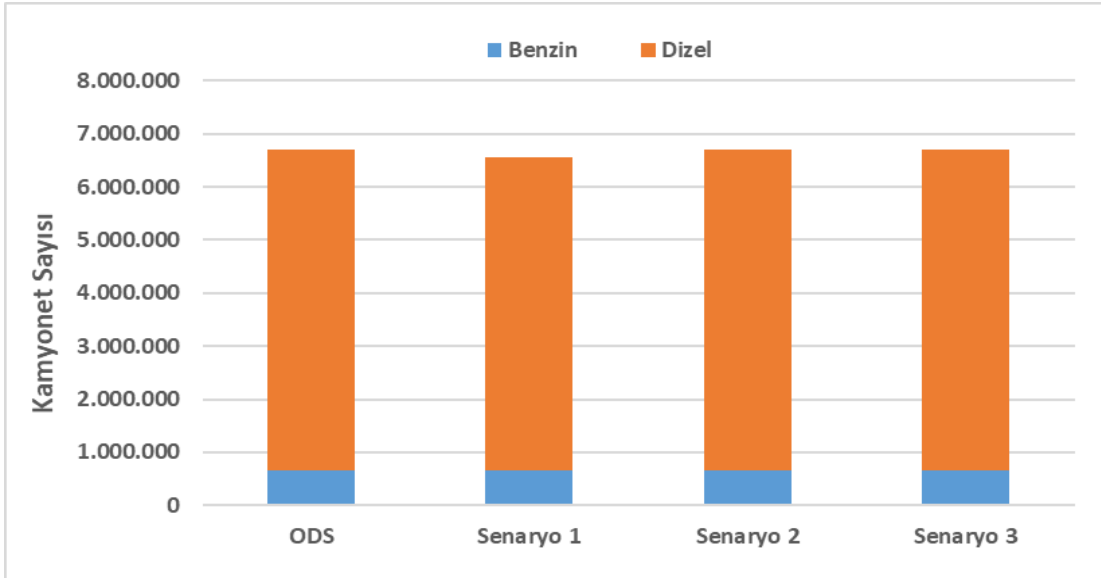
6.2.5. Senaryo Karşılaştırmaları

Senaryolar bazında 2030 yılı için yakıt dağılımlarına göre otomobil (Şekil 6.6) ile kamyonet sayılarının (Şekil 6.7) karşılaştırmaları bu kısımda verilmiştir. Otomobillerde yakıt dağılımlarına bakıldığında en az sayıda dizelli aracın Senaryo 2’ye ait olduğu görülmektedir. Bunun sebebi hem yeni giren araçlarda hibrit ve elektrikli araçların çoğunlukla dizelli araçların yerine girmesi hem de hurda araç olarak görülen yaşlı dizel araçların trafikten çekilmesidir. Hibrit ve elektrikli araç sayısının en yüksek olduğu senaryo ise Senaryo 3 olmuştur.



Şekil 6.6. 2030 yılında senaryolar bazında yakıt dağılımlarına göre otomobil (M1) sayısı

Senaryolar bazında kamyonetlerde yakıt dağılımına bakıldığında ise ODS, Senaryo 2 ve Senaryo 3 için araç sayıları aynı olmakla birlikte %10 benzin ve %90 dizel araç olduğu kabul edilmiştir. Senaryo 1'de %10 benzin ve %90 dizel kullanımı vardır, diğer senaryolardan farkı ise hurda araçların çıkarılmasından dolayı araç sayısının düşmüş olmasıdır.



Şekil 6.7. 2030 yılında senaryolar bazında yakıt dağılımlarına göre kamyonet (N1) sayısı

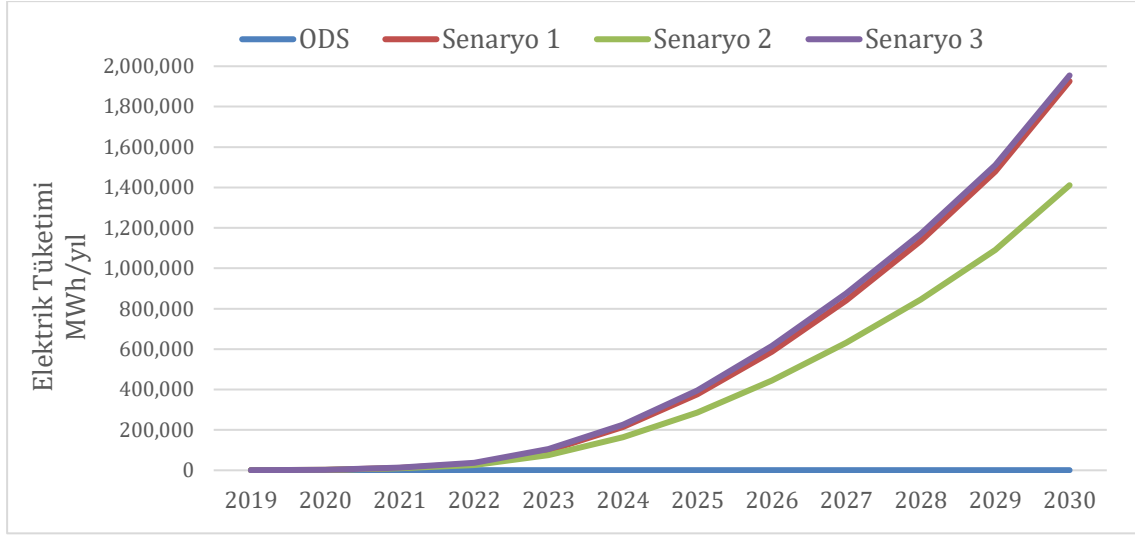
6.3. Elektrikli Araçlarda Elektrik Tüketimi

Elektrikli araçların senaryolardaki sayısına bağlı olarak elektrik tüketimleri senaryolar bazında 2019-2030 yılları için Bölüm 5.3'te belirtildiği gibi hesaplanmıştır (Çizelge 6.18). 2030 yılına gelindiğinde elektrikli araç sayısının en az olduğu ODS'de 673 MWh elektrik tüketimi olacağı tahmin edilmiştir. Senaryo 1 ve Senaryo 3 için yaklaşık 2 TWh olurken Senaryo 2 için 1,4 TWh olacağı tahmin edilmiştir.

Çizelge 6.18. Senaryolar bazında elektrikli araçlarda elektrik tüketimleri, MWh/yıl

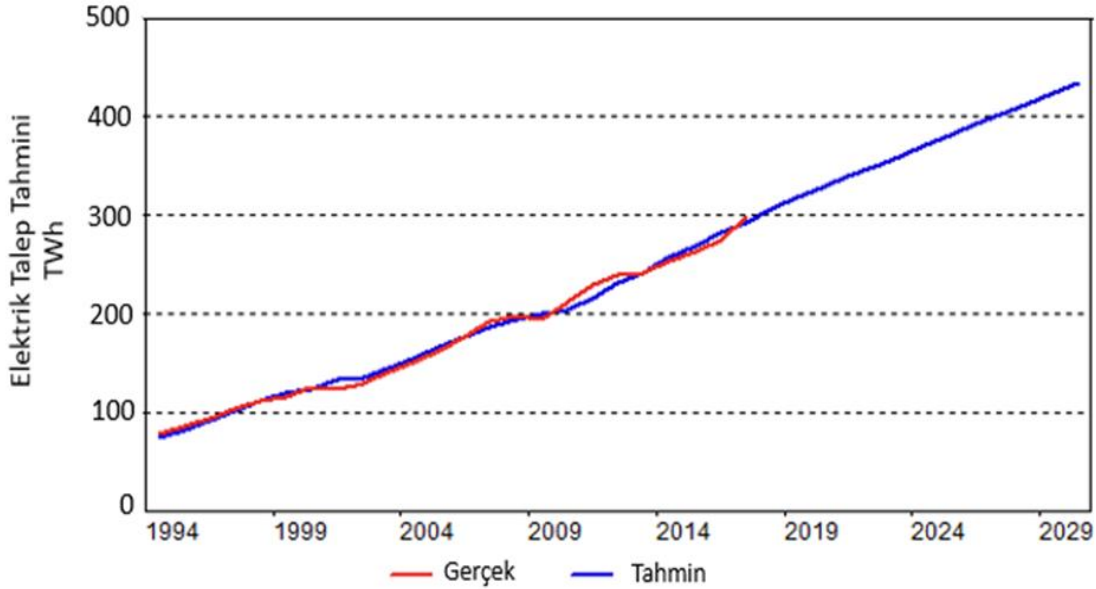
Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	211	621	621	763
2020	226	2.253	1.979	2.741
2021	245	12.121	10.075	13.956
2022	270	33.072	26.698	36.981
2023	301	97.304	75.641	104.776
2024	338	214.520	163.473	226.440
2025	380	376.494	285.381	395.305
2026	427	587.431	444.005	615.029
2027	480	841.162	631.778	875.129
2028	539	1.134.972	844.572	1.169.888
2029	603	1.479.195	1.091.087	1.511.357
2030	673	1.925.941	1.411.104	1.954.639

Senaryolar bazında elektrik tüketim değerlerinin grafiği ise Şekil 6.8'de verilmiştir. Buna göre elektrikli araç sayısının oldukça düşük olmasından dolayı en az elektrik tüketimi ODS'ye ait olduğu görülmektedir. Özellikle Senaryo 1 ve Senaryo 3'ün elektrikli araç sayılarının birbirine oldukça yakın olması sebebi ile elektrik tüketim değerleri de birbirine yakın olmuştur.



Şekil 6.8. Senaryolar bazında elektrikli araçların elektrik tüketim değerleri, MWh/yıl

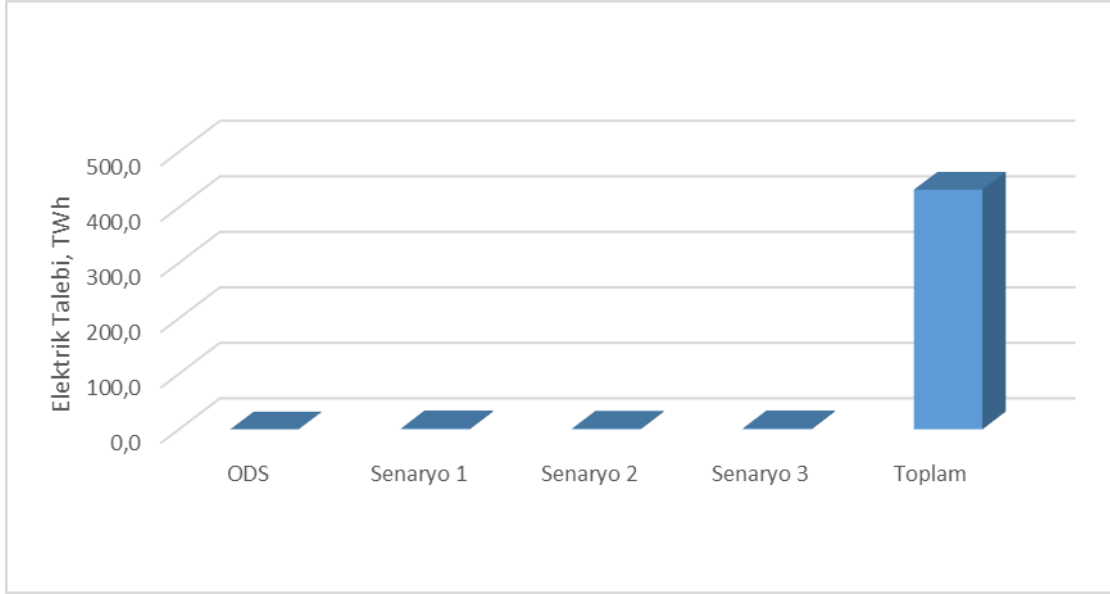
Toplam elektrik talebi ekonometrik model ile 2019-2030 yılları için tahmini tahmin yapılmış ve Şekil 6.9’da verilmiştir. Şekilde 1994-2018 yılı için gerçek ve modelin tahmin değerlerinin karşılaştırılması da yer almaktadır. 2018 yılında 300 TWh olan elektrik talebinin 2030 yılında 432 TWh’e ulaşacağı tahmin edilmiştir.



Şekil 6.9. Toplam elektrik talebi 1994-2018 gerçek, 2019-2030 tahmini değerleri, TWh

2030 yılı göz önünde bulundurulduğunda senaryolar bazında elektrikli araçlardan kaynaklanan elektrik tüketiminin toplam elektrik talebine olan etkileri Şekil 6.10’da verilmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere senaryolardaki elektrikli araçların toplam

elektrik talebine olan etkisi oldukça düşük olmuştur. Elektrikli araçların en fazla sayıda olduğu Senaryo 3 ve Senaryo 1’de elektrik talebine olan etkisi yaklaşık 2 TWh ile %0,6 artış olduğu tahmin edilmiştir. Senaryo 2’de ise 1,4 TWh ile %0,5 artış olmaktadır. Olağan durum senaryosunda ise elektrikli araç sayısının oldukça düşük olmasından dolayı elektrik talebine etkisi %0,0002 olmuştur.



Şekil 6.10. 2030 yılında senaryolar bazında elektrik talebi ve toplam elektrik talebi, TWh

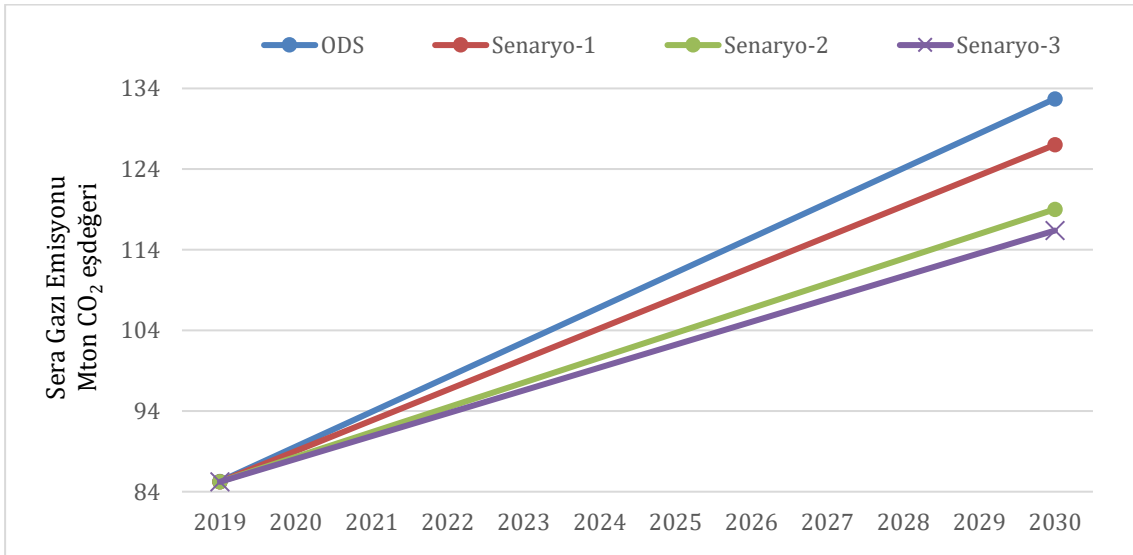
6.4. Emisyonların Hesaplanması

Bu kısımda ilk olarak senaryolar bazında karayolu taşıtlarının fosil yakıt kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları ve kirletici emisyonlar COPERT modeliyle hesaplanmıştır. Daha sonra ise senaryolardaki elektrikli araçların sayılarına bağlı olarak elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları ülkede bulunan santrallerde kullanılan yakıt bazında hesaplanmıştır.

6.4.1. Taşıtlarda Fosil Yakıt Kullanımından Kaynaklanan Emisyonlar

Senaryolarda araç sayılarının yakıt, yaş, motor hacmi, teknoloji durumuna göre bulunan değerler COPERT modeline girilerek araçlardan kaynaklanan sera gazı emisyonları (CO₂, N₂O ve CH₄) ve kirletici emisyonları (CO, NO_x, PM_{2.5}, SO₂) değerleri bulunmuştur. Tüm sera gazı emisyonları ve kirletici emisyonları ayrıntılı bir şekilde EK 2’de verilmiştir.

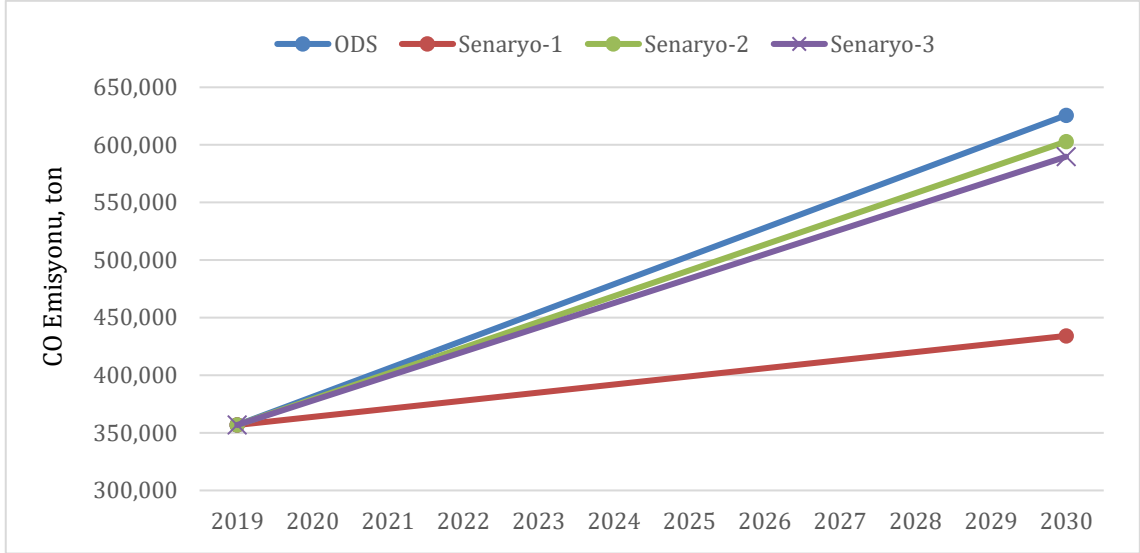
Taşıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonları ton CO₂ eşdeğeri cinsinden Şekil 6.11’de verilmiştir. Yıllar geçtikçe toplam sera gazı emisyonları da araç sayısının artışına paralel olarak artmaktadır. 2030 yılına gelindiğinde toplam sera gazı emisyonlarında en yüksek değerin yaklaşık 133 Mton CO₂ eşdeğeri ile ODS’ye ait olduğu görülmektedir. En düşük ise 116 Mton ile Senaryo 3’e aittir. Senaryo 2’de 119 Mton iken Senaryo 1’de bu değer 127 Mton olmuştur. Sera gazı içinde ODS’ye göre en çok azaltım %12 azaltım ile Senaryo 3 olmuştur. Bunu %10 azaltım ile Senaryo 2 ve %4 azaltım ile Senaryo 1 takip etmiştir. Senaryo 3 ile ODS arasındaki farkın daha fazla olma sebebi araç filosundaki hibrit ve elektrikli araç sayılarının daha fazla olmasıdır. Bu şekilde daha az yakıt harcandığından açığa çıkan sera gazı emisyonu da daha az olmuştur.



Şekil 6.11. Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan toplam sera gazı emisyonları, Mton CO₂ eşdeğeri

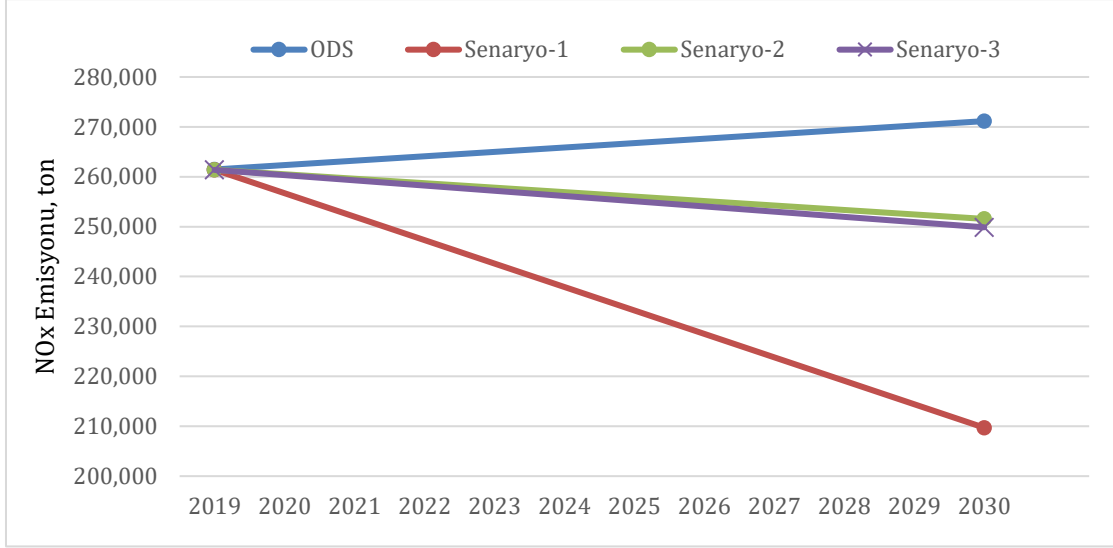
Taşıtlardan kaynaklanan CO emisyonları ton cinsinden senaryolar bazında Şekil 6.12’de gösterilmiştir. 2030 yılına gelindiğinde ODS’de 626 bin ton, Senaryo 1’de 434 bin ton, Senaryo 2’de 603 bin ton ve Senaryo 3’te ise 590 bin ton CO emisyonu araçlardan kaynaklanmakta olduğu tahmin edilmiştir. ODS’ye göre en yüksek azaltımın %30 ile Senaryo 1’e ait olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise hibrit ve elektrikli araç gibi temiz teknolojili araçların stoktaki payının ODS’ye göre fazla olması ve stoktaki araçların daha genç olması ile Euro standartlarının daha temiz CO değerlerine sahip olmasıdır. CO

emisyonlarında diğer senaryolarda ise ODS'ye göre Senaryo 2'de %4, Senaryo 3'te ise %6 azaltım sağlanmıştır.



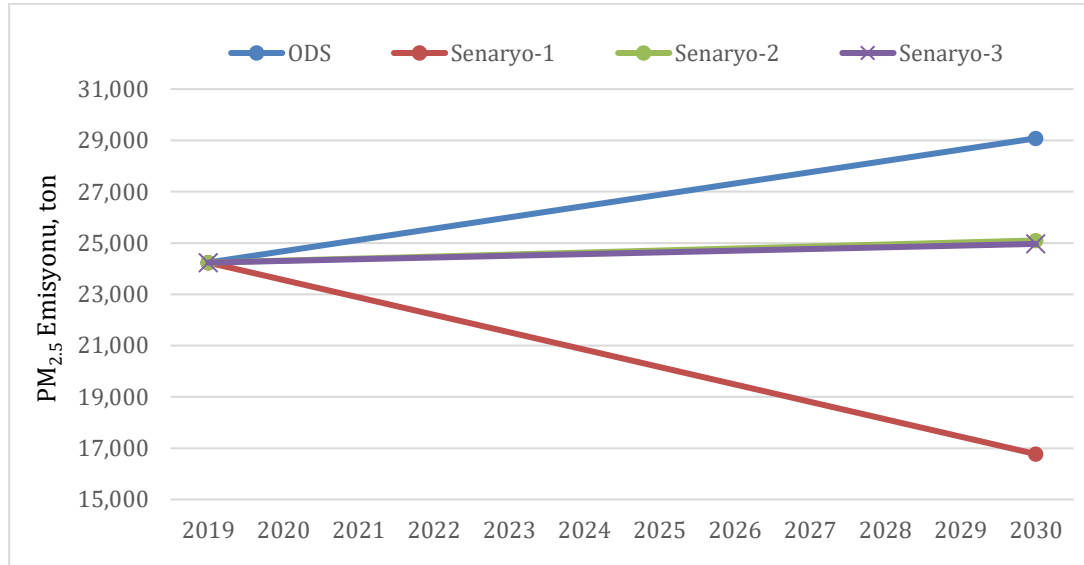
Şekil 6.12. Senaryolar bazında CO emisyonları, ton

Taşıtlardan kaynaklanan NO_x emisyonları ton cinsinden senaryolar bazında Şekil 6.13'te gösterilmiştir. 2030 yılına gelindiğinde ODS'de 271 bin ton, Senaryo 1'de 210 bin ton, Senaryo 2'de 252 bin ton ve Senaryo 3'te ise 250 bin ton NO_x emisyonu araçlardan kaynaklanmakta olduğu bulunmuştur. ODS'ye göre en yüksek azaltımın %23 ile Senaryo 1'e ait olduğu görülmektedir. NO_x emisyonlarında diğer senaryolarda ise ODS'ye göre Senaryo 2 ile %7, Senaryo 3 ile %8 azaltım sağlanmıştır. Burada da CO emisyonlarında olduğu gibi hibrit ve elektrikli araçların rolü ile trafikten silinen yaşlı araçların rolü büyüktür.



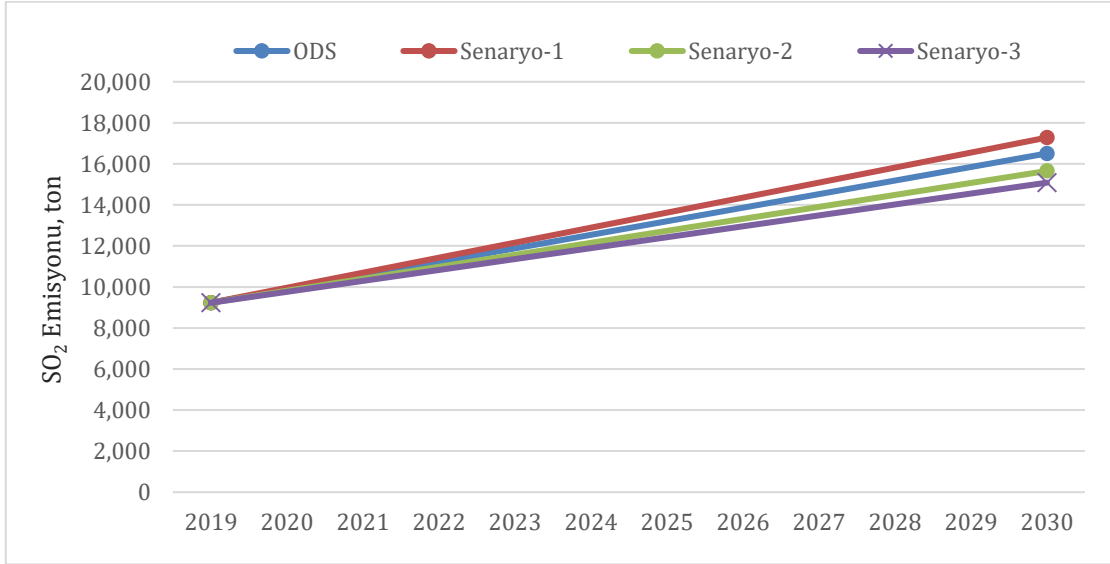
Şekil 6.13. Senaryolar bazında NO_x emisyonları, ton

Taşıtlardan kaynaklanan PM_{2.5} emisyonları ton cinsinden senaryolar bazında Şekil 6.14'te gösterilmiştir. 2030 yılına gelindiğinde ODS'de 29.080 ton, Senaryo 1'de 16.770 ton, Senaryo 2'de 25.099 ton ve Senaryo 3'te ise 24.964 ton PM_{2.5} emisyonu araçlardan kaynaklanmakta olduğu bulunmuştur. ODS'ye göre en yüksek azaltımın %42 ile Senaryo 1'e ait olduğu görülmektedir. PM_{2.5} emisyonlarında ODS'ye göre Senaryo 2 ve Senaryo 3'te %14 azaltım sağlanmıştır.



Şekil 6.14. Senaryolar bazında PM_{2.5} emisyonları, ton

Taşıtlardan kaynaklanan SO₂ emisyonları ton cinsinden senaryolar bazında Şekil 6.15'te gösterilmiştir. 2030 yılına gelindiğinde SO₂ emisyonlarının ODS'de 16.507 ton, Senaryo 1'de 17.281 ton, Senaryo 2'de 15.653 ton ve Senaryo 3'te ise 15.084 ton olduğu bulunmuştur. Burada diğer emisyonlardan farklı olarak Senaryo 1 için SO₂ değeri diğer senaryolardan yüksek çıkmıştır. Bunun en temel sebebi yeni araç sayısının fazla olmasıdır. SO₂ için yakıtlardaki oranı sabit tutulduğundan yani Euro standardına göre değişmediğinden ve yeni araçların ortalama kilometre değeri yüksek olmasından dolayı Senaryo 1 için bu değer yüksek olmuştur. Araç sayılarının aynı kabul edildiği diğer senaryolara bakıldığında ise Senaryo 2 ve Senaryo 3'ün filodaki hibrit ve elektrikli araçların sayılarının yüksek olması sebebiyle ODS'ye göre sırasıyla %5 ve %9 azaltıma neden olacağı bulunmuştur.



Şekil 6.15. Senaryolar bazında SO₂ emisyonları, ton

6.4.2. Taşıtlarda Elektrik Tüketiminden Kaynaklanan Emisyonlar

Senaryolar bazında elektrikli araçların elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları Bölüm 5.4.2'de anlatıldığı gibi üç durum için de ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buna göre tüm senaryolarda 1. Durum için Çizelge 5.5'te verilen yakıt paylarının 2019-2030 yıllarında değişmeyeceği düşünülerek ve yenilenebilir enerji payının %31 olduğu varsayılarak sera gazı emisyonları hesaplanmıştır (Çizelge 6.19).

Çizelge 6.19. 1. Durumda elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	112	329	329	404
2020	120	1.192	1.047	1.451
2021	130	6.414	5.332	7.385
2022	143	17.501	14.128	19.570
2023	159	51.493	40.029	55.447
2024	179	113.523	86.509	119.831
2025	201	199.238	151.022	209.193
2026	226	310.864	234.965	325.470
2027	254	445.138	334.333	463.112
2028	285	600.620	446.942	619.097
2029	319	782.780	577.396	799.800
2030	356	1.019.195	746.747	1.034.382

Tüm senaryolarda 2. Durum uygulandığında, Çizelge 5.5'te verilen yenilenebilir enerji kaynak paylarının 2019-2030 yıllarında giderek artarak 2030 yılına gelindiğinde Çizelge 5.6'daki gibi %60 olduğu varsayılmış ve sera gazı emisyonları hesaplanmıştır (Çizelge 6.20)

Çizelge 6.20. 2. Durumda elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

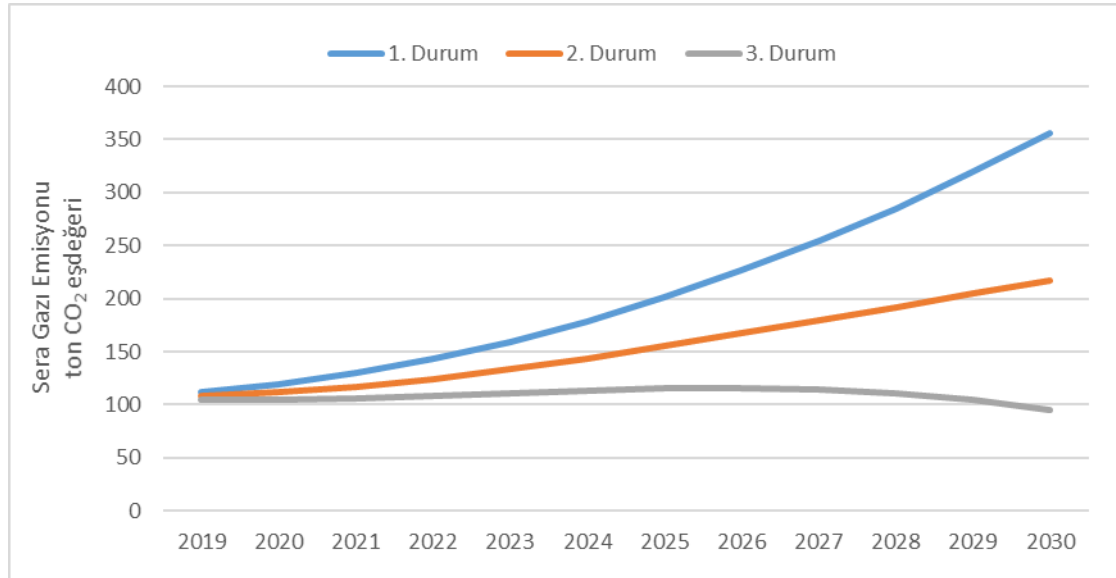
Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	108	318	318	390
2020	112	1.114	979	1.356
2021	117	5.786	4.809	6.662
2022	124	15.214	12.282	17.013
2023	133	43.082	33.490	46.390
2024	144	91.271	69.552	96.343
2025	155	153.677	116.486	161.355
2026	167	229.621	173.558	240.410
2027	179	314.261	236.034	326.951
2028	192	404.408	300.934	416.849
2029	205	501.488	369.909	512.392
2030	217	619.652	454.009	628.886

Tüm senaryolarda 3. Durum uygulandığında, Çizelge 5.5'te verilen yenilenebilir enerji kaynak paylarının 2019-2030 yıllarında giderek artarak 2030 yılına gelindiğinde Çizelge 5.6'daki gibi %90 olduğu varsayılmış ve sera gazı emisyonları hesaplanmıştır (Çizelge 6.21)

Çizelge 6.21. 3. Durumda elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

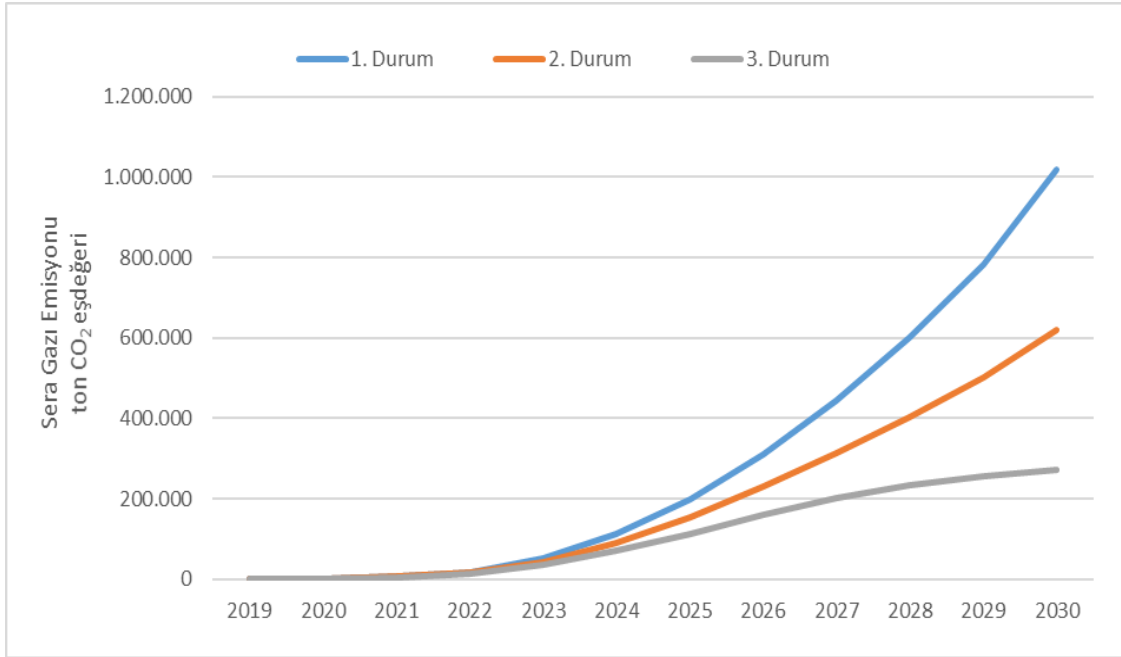
Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	105	309	309	379
2020	105	1.047	919	1.274
2021	106	5.239	4.355	6.032
2022	108	13.226	10.677	14.790
2023	111	35.770	27.806	38.517
2024	113	71.928	54.812	75.925
2025	115	114.070	86.465	119.770
2026	116	158.997	120.177	166.467
2027	115	200.490	150.583	208.586
2028	111	233.841	174.009	241.035
2029	105	256.960	189.539	262.547
2030	95	272.328	199.530	276.386

ODS’de üç ayrı durum için yıllar bazında elektrikli araçların elektrik tüketiminden dolayı kaynaklanan sera gazı emisyonlarına bakıldığında (Şekil 6.16), elektrik tüketimi ODS’de az olduğundan en az sera gazı emisyonları da bu senaryoya aittir ve 1.Durumda 2030 yılında yalnızca 356 ton CO₂ eşdeğeri olmuştur. 2. Durumda 217 ve 3.Durumda ise 95 ton CO₂ eşdeğeri olmuştur.



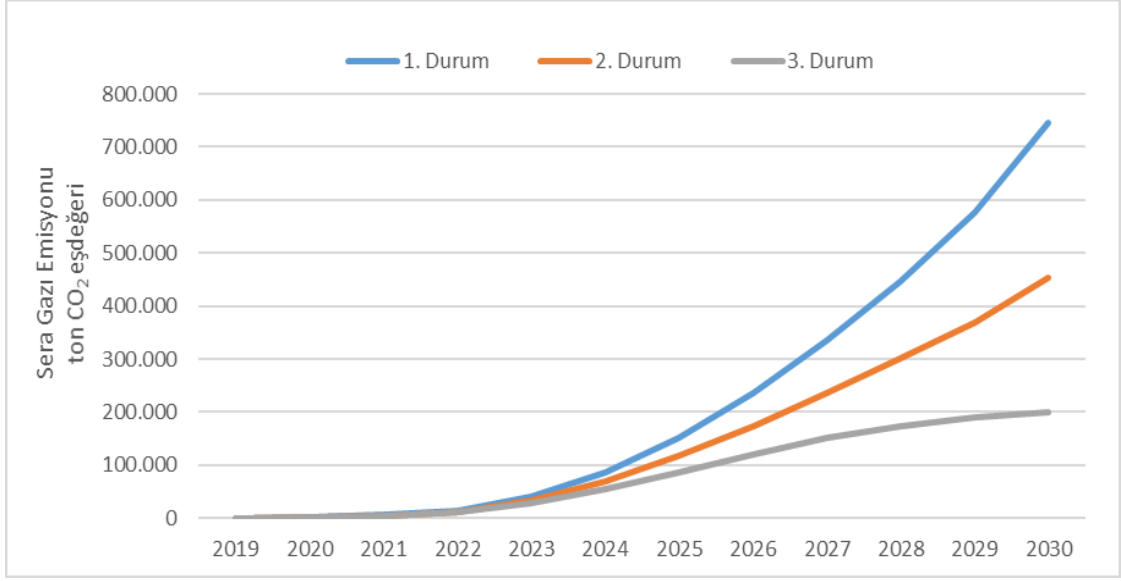
Şekil 6.16. ODS için sera gazı emisyonlarında durum değerlendirmeleri, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

Senaryo 1 için üç ayrı durum uygulandığında yıllar bazında elektrikli araçların elektrik tüketiminden dolayı kaynaklanan sera gazı emisyonlarının Şekil 6.17’deki gibi olduğu görülmüştür. 1.Durumda 2030 yılında 1,02 milyon ton CO₂ eşdeğeri olmuştur. 2. Durumda 620 bin ton ve 3.Durumda ise 272 bin ton CO₂ eşdeğeri olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynak payının %90 olması durumunda elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarında 1.Duruma göre %73 azaltım yapıldığı görülmektedir.



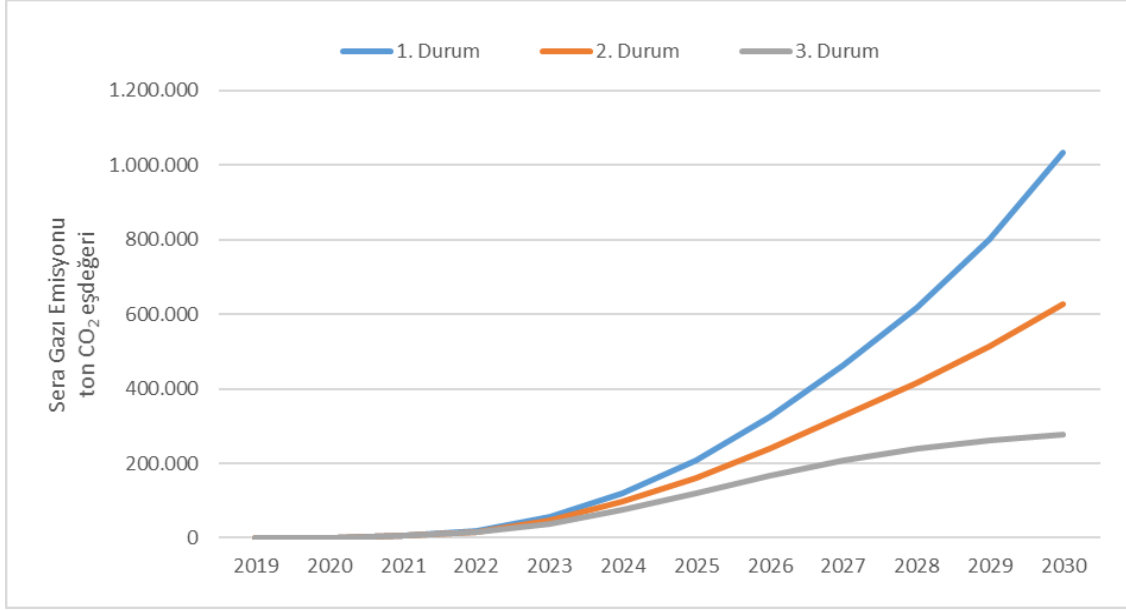
Şekil 6.17. Senaryo 1 için sera gazı emisyonlarında durum değerlendirmeleri, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

Senaryo 2’de üç ayrı durum uygulandığında yıllar bazında elektrikli araçların elektrik tüketiminden dolayı kaynaklanan sera gazı emisyonlarının Şekil 6.18’deki gibi olduğu görülmüştür. 2030 yılında 1. Durum için 747 bin ton CO₂ eşdeğeri olmuştur. 2. Durumda 454 bin ton ve 3.Durumda ise yaklaşık 200 bin ton CO₂ eşdeğeri olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynak payının %90 olması durumunda elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarında 1.Duruma göre %73 azaltım yapıldığı görülmektedir.



Şekil 6.18. Senaryo 2 için sera gazı emisyonlarında durum değerlendirmeleri, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

En yüksek elektrik tüketiminin olduğu Senaryo 3'te üç durum uygulandığında yıllar bazında sera gazı emisyonları Şekil 6.19'da gösterilmiştir. 1.Durumda 2030 yılında 1,03 milyon ton CO₂ eşdeğeri olmuştur. 2. Durumda 629 bin ton ve 3.Durumda ise 276 bin ton CO₂ eşdeğeri olmuştur. Senaryo 3'te özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının %90 olması ile emisyonlarda büyük oranda azaltım sağlanacağı bulunmuştur. Böylece 1.03 milyon ton olan sera gazı emisyonununun %73 azalarak 276 bin tona kadar düşürülebileceği görülmektedir.



Şekil 6.19. Senaryo 3 için sera gazı emisyonlarında durum değerlendirmeleri, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

Elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonların da hesaplanması ile önceki kısımda hesaplanan taşıtlarda fosil yakıt kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını da dahil edersek üç ayrı durum için toplam sera gazı emisyon değerleri belirlenmiştir. 1. Durum uygulandığında senaryoların toplam sera gazı emisyonları Çizelge 6.22'deki gibi olmuştur. Buna göre 2030 yılında ODS'de 132.718.646 ton CO₂ eşdeğeri olan sera gazı emisyon değeri Senaryo 1'de %3,5 azaltım ile 128.024.842 tona, Senaryo 2 ile %9,8 azaltım ile 119.768.139 tona kadar düşürülebileceği tahmin edilmiştir. Senaryo 3 için bakıldığında ise %11,5 azaltım ile 117.414.278 tona düşürüleceği görülmüştür

Çizelge 6.22. 1. Durumda toplam sera gazı emisyonu, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	85.277.813	85.239.416	85.239.416	85.226.143
2020	87.501.676	87.482.380	87.384.448	87.331.128
2021	91.048.691	90.145.828	89.792.009	89.684.284
2022	94.456.731	93.838.524	92.988.399	92.797.883
2023	99.803.672	99.369.043	98.048.770	97.698.024
2024	104.549.853	104.380.071	102.244.015	101.729.589
2025	107.913.814	107.843.184	104.870.209	104.070.374
2026	111.788.426	111.637.979	107.788.015	106.629.463
2027	115.403.038	115.208.471	110.301.516	109.268.439

2028	119.260.184	119.081.054	113.209.039	112.007.350
2029	124.699.117	123.381.049	116.337.220	114.791.286
2030	132.718.646	128.024.842	119.768.139	117.414.278

2. Durumdaki toplam sera gazı emisyonlarına bakıldığında ise (Çizelge 6.23) 2030 yılına gelindiğinde ODS’de 132.718.506 ton CO₂ eşdeğeri olmuştur. Buna göre 2030 2. Durum uygulandığında 2030 yılında ODS’deki toplam sera gazı emisyon değeri Senaryo 1 ile %3,8 azaltım ile 127.625.299 tona, Senaryo 2 ile %10,0 azaltım ile 119.475.401 tona kadar düşürülebileceği tahmin edilmiştir. Senaryo 3 için bakıldığında ise %11,8 azaltım ile 117.008.782 tona düşürüleceği görülmüştür

Çizelge 6.23. 2. Durumda toplam sera gazı emisyonu, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	85.277.809	85.239.405	85.239.405	85.226.130
2020	87.501.668	87.482.302	87.384.380	87.331.034
2021	91.048.679	90.145.199	89.791.486	89.683.560
2022	94.456.713	93.836.237	92.986.553	92.795.326
2023	99.803.646	99.360.632	98.042.232	97.688.967
2024	104.549.818	104.357.820	102.227.059	101.706.101
2025	107.913.768	107.797.622	104.835.674	104.022.537
2026	111.788.367	111.556.735	107.726.608	106.544.403
2027	115.402.963	115.077.595	110.203.218	109.132.278
2028	119.260.091	118.884.843	113.063.031	111.805.102
2029	124.699.002	123.099.757	116.129.733	114.503.878
2030	132.718.506	127.625.299	119.475.401	117.008.782

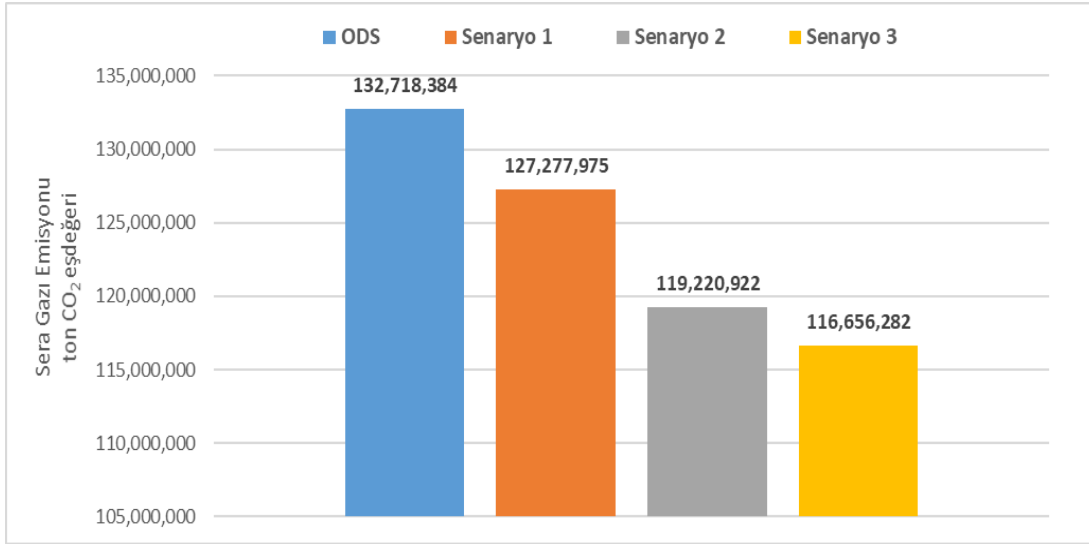
3. Durum uygulandığında senaryoların toplam sera gazı emisyonları Çizelge 6.24’teki gibi olmuştur. Buna göre 2030 yılında ODS’de 132.718.384 ton CO₂ eşdeğeri olan sera gazı emisyon değeri Senaryo 1’de %4,1 azaltım ile 127.277.975 tona, Senaryo 2 ile %10,2 azaltım ile 119.220.922 tona düşürülebileceği tahmin edilmiştir. Senaryo 3 için bakıldığında ise %12,1 azaltım ile 116.656.282 tona kadar düşürüleceği görülmüştür. Buna göre 3. Durum için en iyi azaltımın ODS ile Senaryo 3 arasında olduğu görülmüştür. Senaryo 3 ile yaklaşık 16 milyon ton sera gazı azaltımı sağlanabilecektir.

Çizelge 6.24. 3. Durumda toplam sera gazı emisyonu, ton CO₂ eşdeğeri/yıl

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	85.277.806	85.239.396	85.239.396	85.226.119
2020	87.501.662	87.482.234	87.384.320	87.330.951

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2021	91.048.668	90.144.653	89.791.032	89.682.931
2022	94.456.696	93.834.249	92.984.948	92.793.103
2023	99.803.624	99.353.320	98.036.548	97.681.094
2024	104.549.788	104.338.476	102.212.319	101.685.683
2025	107.913.728	107.758.016	104.805.652	103.980.951
2026	111.788.315	111.486.111	107.673.227	106.470.460
2027	115.402.898	114.963.823	110.117.767	109.013.912
2028	119.260.010	118.714.276	112.936.106	111.629.288
2029	124.698.903	122.855.228	115.949.363	114.254.033
2030	132.718.384	127.277.975	119.220.922	116.656.282

En iyi sera gazı emisyon azaltımının olduğu 3. Durum sonuçları, karbon maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Buna göre 3.Durum için 2030 yılında toplam sera gazı emisyon değerleri ton CO₂ eşdeğeri cinsinden Şekil 6.20’de gösterilmiştir.



Şekil 6.20. Sera gazı emisyonlarının 3.Durum değerleri, ton CO₂ eşdeğeri

6.5. Maliyetlerin Hesaplanması

Bu kısımda ulaşım ile ilgili bir çok maliyet analizleri yapılmış ve sonuçları paylaşılmıştır. İlk olarak kaydı silinen ve kaydı yapılan araçların vergi boyutu ve ithalat değerleri analiz edilmiş olup kaydı silinen araçların hurda metal değerleri de hesaplanmıştır. Daha sonra araç filosunun yakıt maliyet analizleri, karbon maliyeti, elektrik tüketim maliyeti ve sağlık maliyeti hesaplanmıştır. Son olarak toplam net fayda maliyet analizleri senaryolar bazında sunulmuştur.

6.5.1. Kaydı Silinen Araçların Maliyet Analiz Değerleri

Kayı silinen araçlar için ilk olarak hurda araç metal değerleri senaryolar bazında hesaplanmıştır. Daha sonra ise trafikten kaydı silinen araçların vergi kayıpları da hesaplanarak sonuçlar bu kısımda verilmiştir.

Kayı silinen araçların hurda metal değerleri Bölüm 5.5.1'de belirtildiği gibi hesaplanmıştır (Çizelge 6.25). Senaryolar bazında hurda metal değerlerine bakıldığında net bugünkü değerleri ODS, Senaryo 2 ve Senaryo 3 için aynı olup yaklaşık 3 milyar TL iken Senaryo 1 için 20,4 milyar TL olmuştur. ODS, Senaryo 2 ve Senaryo 3 için aynı değerlerin bulunmasının sebebi filolarından kaydı silinen araç sayılarının aynı olmasıdır. Senaryo 1 için diğer senaryolara göre oldukça yüksek olmasının nedeni ise hurda araç sayısının diğer senaryolardan fazla olmasıdır. Buna göre Senaryo 1 uygulandığında hurda metal ithalatında diğer senaryolara göre yaklaşık 17 milyar TL'lik tasarruf yapılabileceği bulunmuştur.

Çizelge 6.25. Senaryolar bazında hurda metal değerleri, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	280.513.439	280.513.439	280.513.439	280.513.439
2020	110.795.899	444.767.947	110.795.899	110.795.899
2021	133.146.178	649.720.258	133.146.178	133.146.178
2022	160.007.131	896.830.341	160.007.131	160.007.131
2023	192.284.259	1.193.279.261	192.284.259	192.284.259
2024	230.495.178	1.550.943.439	230.495.178	230.495.178
2025	275.978.197	1.984.185.428	275.978.197	275.978.197
2026	329.814.904	2.495.277.315	329.814.904	329.814.904
2027	393.563.852	3.089.007.374	393.563.852	393.563.852
2028	468.826.776	3.777.714.301	468.826.776	468.826.776
2029	547.708.166	4.575.910.598	547.708.166	547.708.166
2030	662.057.861	5.533.861.066	662.057.861	662.057.861
NBD	2.994.962.586	20.359.846.127	2.994.962.586	2.994.962.586

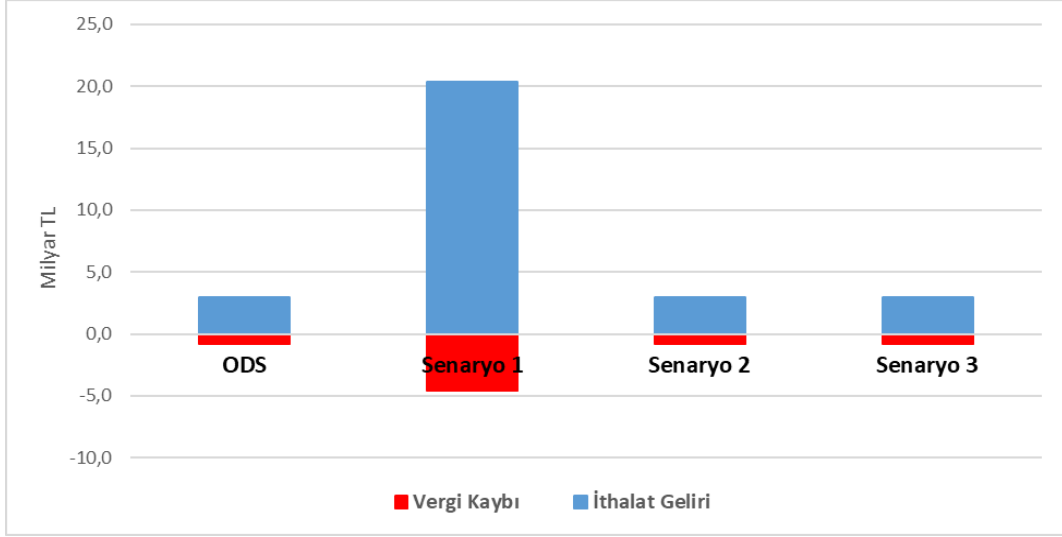
2019-2030 yıllarında ülkemizde senaryolar bazında hurda araçlardan kaynaklanacak olan MTV kaybı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 6.26). ODS, Senaryo 2 ve Senaryo 3 için

hurda araçlardan kaynaklanan MTV kaybının net bugünkü değeri 795 milyon olurken Senaryo 1’de 4,5 milyar TL olmuştur. Tıpkı hurda metal değerlerinde olduğu gibi Senaryo 1’de hurda sayısı çok olduğu için bu araçların trafikten çekilmesiyle oluşacak MTV kaybı da diğer senaryolara göre fazla olmuştur.

Çizelge 6.26. Senaryolar bazında hurda araçlardan kaynaklanan MTV kayıp değeri, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	56.907.179	56.907.179	56.907.179	56.907.179
2020	23.947.934	78.428.019	23.947.934	23.947.934
2021	30.637.098	120.571.216	30.637.098	30.637.098
2022	39.577.840	175.100.960	39.577.840	39.577.840
2023	49.503.994	241.906.039	49.503.994	49.503.994
2024	64.847.848	342.416.802	64.847.848	64.847.848
2025	76.642.046	446.269.664	76.642.046	76.642.046
2026	90.363.212	568.871.043	90.363.212	90.363.212
2027	104.138.187	707.276.927	104.138.187	104.138.187
2028	122.702.860	866.230.880	122.702.860	122.702.860
2029	163.078.046	1.064.326.851	163.078.046	163.078.046
2030	192.132.511	1.268.131.823	192.132.511	192.132.511
NBD	795.371.406	4.547.419.887	795.371.406	795.371.406

2019-2030 yılları arasında kaydı silinen araçlardan kaynaklanan MTV kaybı ve ithalat geliri net bugünkü değeri milyar TL cinsinden Şekil 6.21’de gösterilmiştir. Burada MTV değerleri maliyet olarak, hurda ithalat değerleri de fayda olarak düşünülmüştür. Buna göre kaydı silinen aracın en çok olduğu Senaryo 1’de hurda ithalatının da çok olmasından dolayı, net fayda değeri diğer senaryolardan yüksek olmuştur. Kaydı silinenler için net fayda Senaryo 1’de 15,8 milyar TL olurken, diğer senaryolarda 2,2 milyar TL olmuştur.



Şekil 6.21. 2019-2030 yıllarında kaydı silinen araçlarda toplam vergi kaybı ve hurda ithalatındaki etkisi, milyar TL

6.5.2. Kaydı Yapılan Araçların Maliyet Analiz Değerleri

Kaydı yapılan araçlar için öncelikle MTV, KDV ve ÖTV değerleri bulunmuştur. Daha sonra ise piyasaya yeni araçların girmesinin ithalat boyutu da belirlenmiştir.

2019-2030 yıllarında ülkemizde senaryolar bazında kaydı yapılan araçlardan elde edilecek MTV geliri Çizelge 6.27’de verilmiştir. En yüksek MTV geliri kaydı yapılan araç sayısının yüksek olması sebebi ile 106,5 milyar TL ile Senaryo 1’e aittir. Bunu 82 milyar TL ile Senaryo 3 takip etmektedir. Senaryo 2’de 80 milyar TL MTV geliri olurken en düşük MTV geliri ODS için 74 milyar TL olmuştur.

Çizelge 6.27. Kaydı yapılan araçlarda MTV değerleri, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	1.643.795.298	1.671.077.769	1.671.077.769	1.671.340.609
2020	2.185.853.573	2.661.936.945	2.231.781.741	2.255.083.033
2021	3.143.907.613	3.894.514.848	3.230.876.551	3.264.699.184
2022	3.853.905.265	4.962.158.975	4.000.903.430	4.057.940.358
2023	4.466.864.432	5.979.281.580	4.670.620.211	4.749.616.707
2024	5.629.686.884	7.669.177.578	5.977.008.561	6.111.483.077
2025	7.547.607.167	10.770.929.929	8.138.726.188	8.367.405.475
2026	9.661.763.596	13.915.919.110	10.537.004.567	10.875.481.532
2027	11.372.586.482	16.651.022.355	12.492.964.443	12.907.074.308

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2028	12.888.634.023	19.289.191.675	14.260.295.902	14.647.964.574
2029	14.965.683.645	22.877.658.720	16.676.480.418	17.032.024.946
2030	17.846.672.174	27.747.504.441	19.863.563.390	20.111.907.828
NBD	73.924.791.289	106.531.527.329	80.372.805.399	82.147.430.101

Kayı yapılan araçlar için bulunan diğer vergiler ise KDV ve ÖTV değerleridir. Hesaplanan KDV ve ÖTV'nin toplam değerleri Çizelge 6.28'te gösterilmiştir. En yüksek KDV ve ÖTV geliri Senaryo 1 için 3,96 trilyon TL olmuştur. Bunu 3,47 trilyon TL ile ODS takip etmiştir. Senaryo 1'in ODS'den daha fazla KDV ve ÖTV gelirinin olması daha fazla araç sayısına sahip olmasındandır. Senaryo 2 ve Senaryo 3'te ise ODS'den az gelirinin olmasının sebebi, hibrit ve elektrikli araçlardan alınan ÖTV oranlarının daha az olmasıdır. Bu şekilde daha çok fosil yakıt kullanan araçların olduğu ODS'de bu gelir Senaryo 2 ve Senaryo 3'e göre daha fazla olmaktadır. Senaryo 2'de toplam KDV ve ÖTV değeri 3 trilyon TL, Senaryo 3'te ise 2,8 trilyon TL olmuştur.

Çizelge 6.28. Kaydı yapılan araçlarda toplam KDV ve ÖTV değerleri, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	93.460.916.581	92.274.740.507	92.274.740.507	92.263.312.844
2020	115.393.011.100	135.519.666.733	113.467.761.967	112.497.239.357
2021	160.289.130.414	190.979.375.147	157.553.390.609	156.492.019.968
2022	196.255.054.958	239.233.384.770	191.277.990.447	189.351.641.769
2023	221.920.066.791	270.687.939.778	209.470.148.602	204.660.454.602
2024	269.839.700.336	320.352.354.329	246.671.345.958	237.184.046.466
2025	352.034.237.034	417.156.230.758	315.024.109.521	296.059.658.723
2026	442.022.331.773	509.401.384.591	385.372.088.064	357.136.997.597
2027	514.662.858.286	585.149.237.446	438.076.770.039	400.839.247.050
2028	581.786.929.985	655.684.276.411	483.244.521.202	433.544.965.882
2029	679.603.355.429	757.561.743.171	550.564.216.651	483.656.846.862
2030	822.329.920.185	899.608.601.458	644.635.966.185	551.170.969.329
NBD	3.468.230.254.567	3.962.361.492.752	3.003.509.611.902	2.770.687.269.567

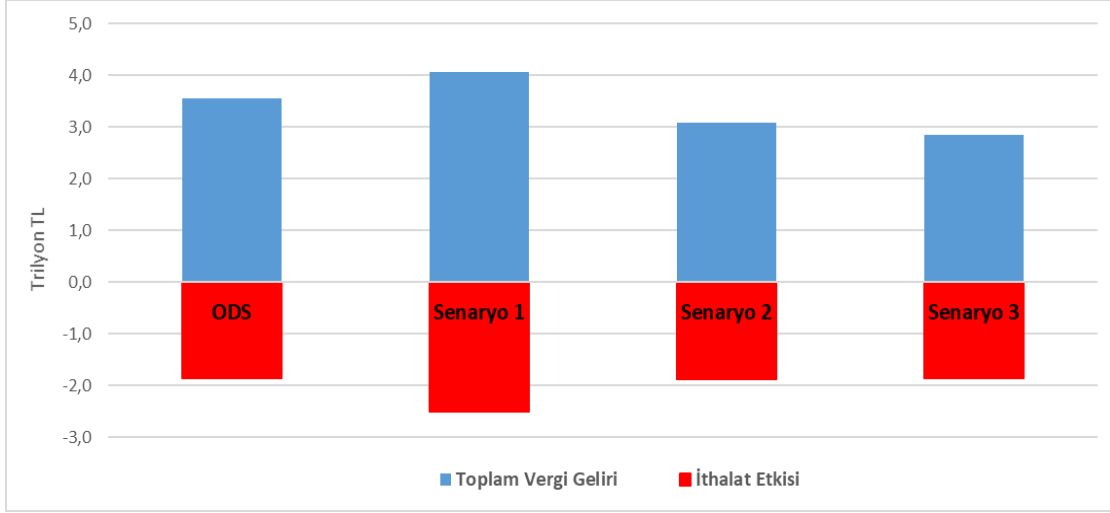
Senaryolar bazında piyasaya girecek yeni araçlardan dolayı ithalat kısmında oluşacak olası etkiler de bulunmuştur (Çizelge 6.29). Kaydı yapılan araç sayısının Senaryo 1'de fazla olması sebebi ile ithalattaki etkisi de 2,5 trilyon TL ile en fazla olmuştur. Bunu 1,87

trilyon TL ile Senaryo 2 ve 1,86 trilyon TL ile Senaryo 3 takip etmektedir. En düşük ithalat etkisi ODS’de olmaktadır. Sebebi ise hibrit ve elektrikli araçların diğer senaryolara göre en düşük sayıda olmasıdır.

Çizelge 6.29. Senaryolar bazında kaydı yapılan araçlarda ithalat etkisi, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	56.375.376.604	56.853.168.263	56.853.168.263	56.857.771.325
2020	67.864.868.085	82.434.064.168	68.609.090.289	68.987.972.783
2021	91.513.790.624	112.938.478.050	92.697.677.815	93.158.687.170
2022	106.323.949.462	136.150.113.407	108.084.948.236	108.769.338.531
2023	117.978.701.154	156.599.063.935	119.435.533.844	120.003.868.309
2024	143.338.462.850	193.193.830.656	145.177.177.881	145.661.204.545
2025	186.849.939.419	252.601.051.725	190.165.573.907	189.447.967.376
2026	234.425.389.909	316.417.600.941	238.032.238.816	236.703.628.380
2027	272.732.798.685	372.236.267.670	275.657.185.977	273.710.154.875
2028	308.059.385.566	427.498.959.329	309.928.633.691	307.180.444.734
2029	359.569.890.737	502.640.844.851	360.081.291.013	356.234.147.602
2030	434.742.546.762	599.509.244.767	429.396.945.915	422.453.097.901
NBD	1.858.647.603.202	2.496.262.489.043	1.871.053.139.219	1.860.521.338.527

2019-2030 yılları arasında kaydı yapılan araçlardan kaynaklanan vergi gelirleri ve ithalat etkisinin net bugünkü değeri trilyon TL cinsinden Şekil 6.22’de gösterilmiştir. Vergiler kazanç olarak yani fayda olarak, ithalattaki etkisi ise negatif etki olarak yani maliyet olarak düşünülmüştür. Buna göre kaydı yapılan araçlar düşünüldüğünde net fayda ODS’de 1,68 trilyon TL, Senaryo 1’de ise 1,57 trilyon TL olmuştur. Bu değer Senaryo 2’de 1,21 trilyon TL olurken Senaryo 3’te ise 992 milyar TL olmuştur. ODS’nin daha yüksek olması hibrit ve elektrikli araçların daha az, fosil yakıtlıların ise daha çok olmasından kaynaklanır. Sebebi de özellikle temiz teknoloji araçların satın alınması teşvik edilmesi açısından bu araçlara uygulanan ÖTV değerlerinin daha düşük olmasıdır. İthalat değerlerinde de temiz teknoloji araçların satış fiyatının yüksek olması sebebi ile en düşük ithalat etkisi ODS’de olmaktadır.



Şekil 6.22. 2019-2030 yıllarında kaydı yapılan araçlarda toplam vergi geliri ve ithalat etkisi, trilyon TL

6.5.3. Yakıt Maliyeti Değerleri

Bu kısımda senaryolar bazında araçlarda kullanılan yakıt miktarına göre elde edilen vergi geliri ile bunun ithalat üzerine etkisi 2019-2030 dönemi için hesaplanmıştır.

Yakıt fiyatları kullanılarak 2019-2030 dönemi için yakıt tüketiminden elde edilen vergi geliri bulunmuştur (Çizelge 6.30). Net bugünkü değerlerine bakıldığında Senaryo 1’de 1,15 milyar tl ile yakıttan en çok vergi geliri elde edilecektir. Yeni kaydı yapılan araç sayısının fazla olması ile özellikle hibritli araçların da eklenmesi ile benzin tüketimi artacağı için diğer senaryolardan yüksek bir değer olmuştur. Bunu 1,14 trilyon TL ile ODS takip etmektedir. Senaryo 2’de bu değer 1,11 trilyon TL olurken Senaryo 3’te 1,10 trilyon TL olmuştur. ODS’nin Senaryo 2 ve Senaryo 3’ten daha fazla vergi gelirine neden olması, filodaki fosil yakıtlı araçların daha çoğunlukta olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6.30. Yakıt tüketiminden kaynaklanan vergi geliri, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	75.350.549.332	75.327.384.131	75.327.384.131	75.319.376.173
2020	80.536.068.990	80.584.299.456	80.462.131.796	80.428.529.601
2021	86.348.345.241	86.586.658.101	86.175.014.743	86.059.908.728
2022	94.223.446.568	94.750.435.000	93.827.838.346	92.764.386.767
2023	102.266.521.749	103.283.858.387	101.690.283.843	100.022.431.847

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2024	111.023.802.558	112.537.154.848	109.947.476.471	108.437.038.411
2025	119.192.814.897	121.101.627.236	117.556.912.173	116.108.823.689
2026	127.923.216.041	130.118.004.026	125.068.199.742	123.088.368.072
2027	136.751.759.783	139.076.563.998	132.784.370.199	131.156.938.048
2028	146.546.644.477	148.821.171.362	140.834.514.503	139.278.425.189
2029	159.045.438.530	159.112.576.094	149.425.274.618	147.910.763.721
2030	174.426.255.709	170.151.559.836	158.579.622.767	157.049.334.527
NBD	1.141.991.421.288	1.148.654.848.705	1.111.051.378.759	1.099.945.135.654

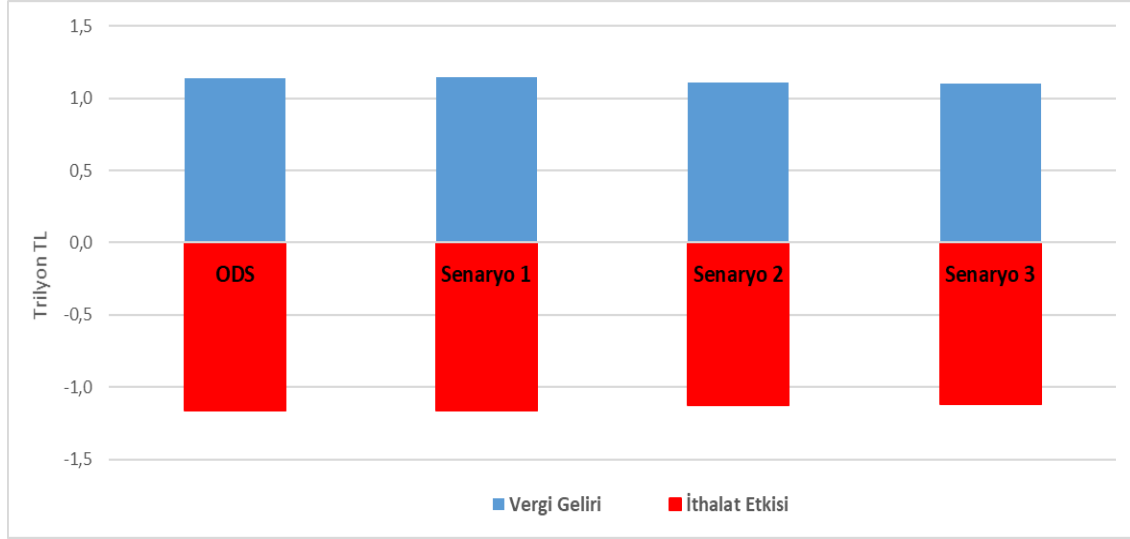
Yakıt tüketiminin ithalat üzerine etkisi Çizelge 6.31’de TL cinsinden verilmiştir. ODS ve Senaryo 1 birbirine yakın değerler göstermiş olup ithalat etkisi 1,16 trilyon TL olurken Senaryo 2’de 1,12 trilyon TL, Senaryo 3’te ise 1,11 trilyon TL olmuştur.

Çizelge 6.31. Senaryolar bazında yakıt tüketiminin ithalat üzerine etkisi, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	76.619.981.653	76.587.397.437	76.587.397.437	76.576.133.558
2020	81.968.342.654	81.964.896.507	81.864.615.352	81.817.455.659
2021	87.829.923.831	87.958.395.787	87.590.705.962	87.490.448.877
2022	94.790.560.107	95.244.314.254	94.333.800.122	94.148.593.398
2023	104.027.779.580	104.703.767.114	103.245.847.498	102.883.546.194
2024	113.758.985.444	114.755.519.597	112.338.183.015	111.778.494.557
2025	121.128.535.805	122.280.402.092	118.811.401.136	117.904.447.549
2026	129.919.458.114	131.044.842.500	126.391.312.224	125.025.616.060
2027	138.752.297.025	139.883.091.785	133.761.063.693	132.355.754.531
2028	148.181.149.040	149.324.805.948	141.781.721.576	140.026.930.604
2029	161.201.059.892	159.605.272.686	150.307.064.384	147.988.322.408
2030	176.819.850.338	170.693.957.993	159.490.283.943	155.809.518.474
NBD	1.159.378.937.687	1.159.375.674.799	1.123.479.388.282	1.113.931.407.625

Senaryolar bazında fosil yakıt kullanımına bağlı olarak değişen vergi geliri ve ithalat etkisi net bugünkü değerleri ile Şekil 6.23’te trilyon TL cinsinden verilmiştir. Yakıt kullanımında özellikle ithalat etkisinin vergi gelirinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Buna göre net değerler düşünüldüğünde ODS’de -18,1 milyar TL kayıp olurken, Senaryo 1’de -10,7 milyar TL, Senaryo 2’de -12,6 ve Senaryo 3’te -12,7 milyar TL kayıp olmuştur.

Bu değerlere bakıldığında özellikle temiz teknoloji araçların katılmasıyla birlikte fosil yakıt tüketiminin azalmasıyla birlikte diğer senaryolarda ODS'ye göre yakıt tasarrufu yapılacağı bu şekilde maliyetlerde de tasarruf edileceği düşünülmektedir.



Şekil 6.23. 2019-2030 yıllarında araçların fosil yakıt kullanımına bağlı vergi geliri ve ithalat etkisi, trilyon TL

6.5.4. Karbon Maliyet Değerleri

Araçlardan kaynaklanan karbon maliyetleri Bölüm 6.4'te tahmin edilen toplam sera gazı emisyonları göz önünde bulundurularak her üç durum için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Senaryolar bazında 2019-2030 yıllarında araçlardan kaynaklanan toplam sera gazı emisyonları göz önünde bulundurularak 1. Durum için yapılan toplam karbon maliyeti Çizelge 6.32'de verilmiştir. Buna göre net bugünkü değerine bakıldığında ODS'de 328 milyar TL olurken Senaryo 1 için 324 milyar TL ve Senaryo 2 için 309 milyar TL olmuştur. Toplam sera gazı emisyonunun en az olduğu Senaryo 3'te ise 305 milyar TL olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.32. 1. Durum için yapılan toplam karbon maliyeti, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	3.000.717.389	2.999.366.316	2.999.366.316	2.998.899.270
2020	4.214.092.154	4.213.162.831	4.208.446.422	4.205.878.551
2021	5.948.857.542	5.889.867.065	5.866.749.530	5.859.711.109

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2022	8.372.689.337	8.317.891.121	8.242.535.643	8.225.648.267
2023	12.001.921.746	11.949.655.251	11.790.885.412	11.748.706.328
2024	17.014.349.442	16.986.719.268	16.639.099.490	16.555.382.183
2025	23.738.272.959	23.722.736.106	23.068.757.876	22.892.814.726
2026	33.176.588.616	33.131.938.785	31.989.345.902	31.645.510.720
2027	46.138.258.141	46.060.470.290	44.098.664.424	43.685.639.120
2028	64.121.792.089	64.025.480.650	60.868.314.841	60.222.211.428
2029	90.020.762.888	89.069.244.325	83.984.277.933	82.868.262.248
2030	128.427.221.996	123.885.191.372	115.895.466.867	113.617.717.533
NBD	328.045.036.217	323.819.702.313	308.735.239.952	304.988.827.999

Senaryolar bazında 2. Durum için yapılan toplam karbon maliyeti Çizelge 6.33'te verilmiştir. Senaryolarda net bugünkü değerine bakıldığında ODS'de 328 milyar TL olurken Senaryo 1 için 323 milyar TL ve Senaryo 2 için 308 milyar TL olmuştur. Toplam sera gazı emisyonunun en az olduğu Senaryo 3'te ise 304 milyar TL olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.33. 2. Durum için yapılan toplam karbon maliyeti, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	3.000.717.261	2.999.365.939	2.999.365.939	2.998.898.806
2020	4.214.091.778	4.213.159.079	4.208.443.127	4.205.873.986
2021	5.948.856.711	5.889.825.992	5.866.715.389	5.859.663.818
2022	8.372.687.681	8.317.688.405	8.242.371.997	8.225.421.587
2023	12.001.918.616	11.948.643.798	11.790.099.147	11.747.617.206
2024	17.014.343.739	16.983.098.085	16.636.340.001	16.551.559.782
2025	23.738.262.846	23.712.713.795	23.061.161.020	22.882.291.679
2026	33.176.571.073	33.107.827.471	31.971.121.532	31.620.266.608
2027	46.138.228.257	46.008.145.729	44.059.364.633	43.631.201.664
2028	64.121.741.990	63.919.985.006	60.789.811.814	60.113.470.263
2029	90.020.680.079	88.866.178.549	83.834.492.082	82.660.781.231
2030	128.427.086.799	123.498.567.522	115.612.194.103	113.225.332.533
NBD	328.044.789.129	323.251.922.475	308.316.083.200	304.408.218.682

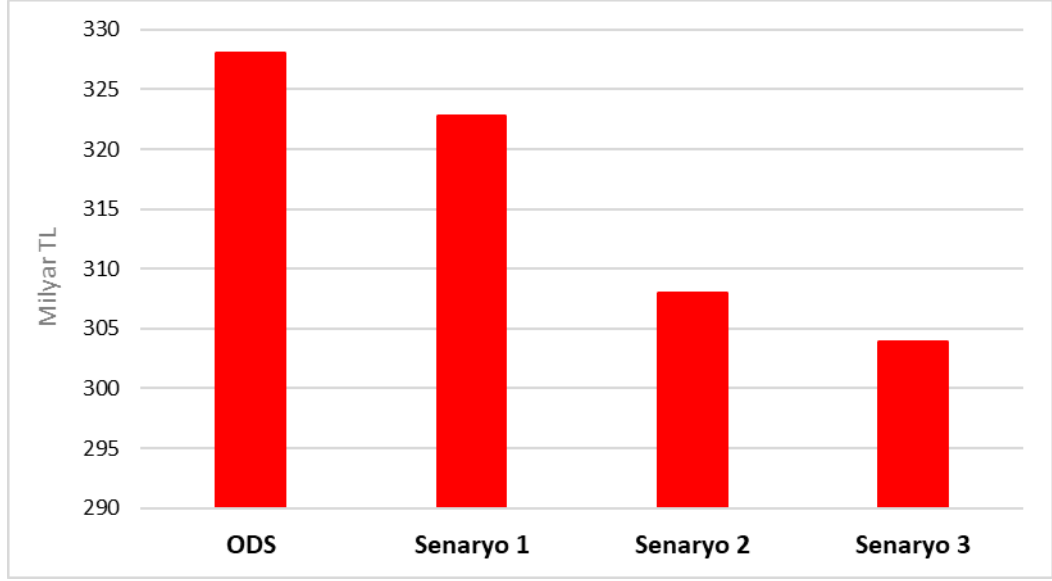
Senaryolar bazında 3. Durum için yapılan toplam karbon maliyeti Çizelge 6.34'te verilmiştir. Senaryolarda net bugünkü değerine bakıldığında ODS'de 328 milyar TL

olurken Senaryo 1 için 323 milyar TL ve Senaryo 2 için 308 milyar TL olmuştur. Toplam sera gazı emisyonunun en az olduğu Senaryo 3'te ise 304 milyar TL olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.34. 3. Durum için yapılan toplam karbon maliyeti, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	3.000.717.149	2.999.365.610	2.999.365.610	2.998.898.403
2020	4.214.091.450	4.213.155.818	4.208.440.262	4.205.870.018
2021	5.948.855.988	5.889.790.287	5.866.685.711	5.859.622.707
2022	8.372.686.241	8.317.512.183	8.242.229.739	8.225.224.533
2023	12.001.915.895	11.947.764.539	11.789.415.644	11.746.670.428
2024	17.014.338.782	16.979.950.178	16.633.941.167	16.548.236.955
2025	23.738.254.054	23.704.001.364	23.054.557.045	22.873.143.957
2026	33.176.555.824	33.086.867.419	31.955.279.022	31.598.321.811
2027	46.138.202.278	45.962.659.802	44.025.201.184	43.583.878.989
2028	64.121.698.439	63.828.277.266	60.721.568.852	60.018.941.181
2029	90.020.608.092	88.689.652.745	83.704.282.707	82.480.417.242
2030	128.426.969.271	123.162.474.029	115.365.944.079	112.884.230.852
NBD	328.044.574.335	322.758.349.436	307.951.708.739	303.903.492.930

Karbon maliyetleri negatif bir etki göstereceğinden ne kadar az olursa net fayda o kadar yüksek olacaktır. Karbon maliyetinin 2019-2030 yıllarında toplam net bugünkü değerinin senaryolar bazında üç durum değerlendirildiğinde en iyi durum olarak kabul edilen 3.Durumdaki gösterimi Şekil 6.24'te verilmiştir. Buna göre ODS ile diğer senaryolar karşılaştırıldığında Senaryo 1'de 5 milyar TL daha az karbon maliyeti olurken Senaryo 2'de 20 milyar TL karbon maliyetinde azaltım sağlanabilecektir. Elektrikli ve hibrit araçların en fazla kullanıldığı Senaryo 3'te ise yaklaşık 24 milyar TL tasarruf yapılabileceği görülmektedir.



Şekil 6.24. 2019-2030 yıllarında senaryolar bazında karbon maliyeti, milyar TL

6.5.5. Elektrik Maliyet Değerleri

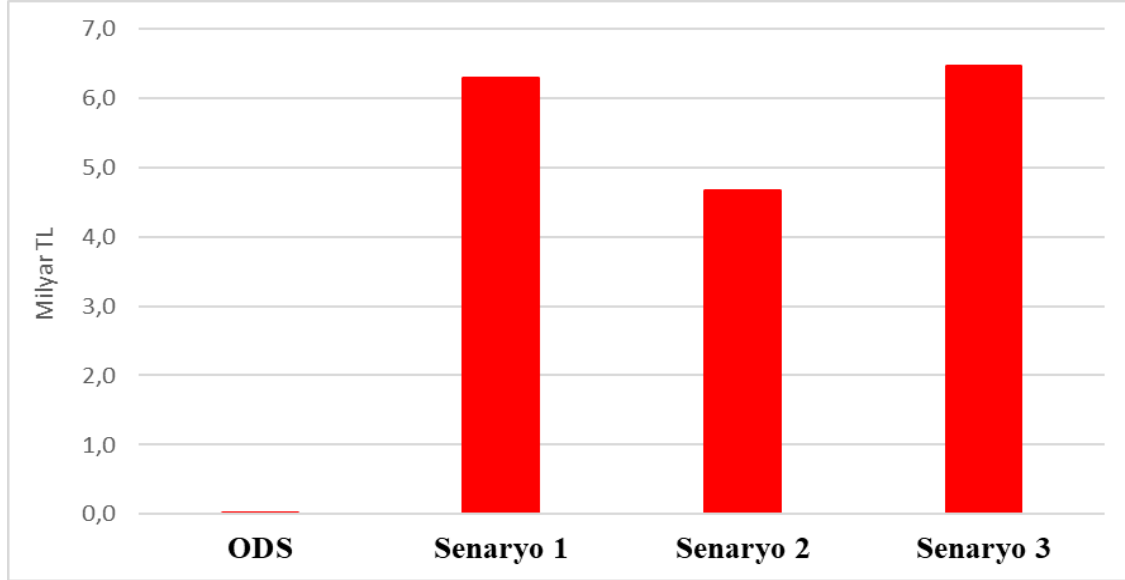
Araç filosundaki elektrikli araçların elektrik tüketimine bağlı olarak elektrik maliyetleri senaryolar bazında hesaplanmıştır (Çizelge 6.35). Elektrik tüketiminin en az olduğu ODS’de elektrik maliyet değeri 3,7 milyar TL olmaktadır. Senaryo 1’de 6,3 milyar TL, Senaryo 2’de ise 4,7 milyar TL olmuştur. Elektrik tüketiminin en çok olduğu Senaryo 3’te ise elektrik maliyeti 6,5 milyar TL olmuştur.

Çizelge 6.35. Senaryolar bazında elektrik maliyet değerleri, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	88.975	261.412	261.412	321.019
2020	108.523	1.081.397	949.846	1.315.712
2021	132.995	6.573.698	5.464.192	7.568.913
2022	165.563	20.267.949	16.361.612	22.663.849
2023	208.518	67.384.855	52.382.448	72.559.347
2024	263.688	167.452.735	127.605.823	176.757.590
2025	333.879	330.878.938	250.804.403	347.410.334
2026	422.090	580.144.815	438.498.439	607.401.176
2027	532.369	932.126.460	700.099.048	969.766.246
2028	669.027	1.408.810.307	1.048.345.397	1.452.151.640
2029	837.355	2.053.375.048	1.514.615.289	2.098.021.399

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2030	1.043.798	2.984.955.525	2.187.026.484	3.029.434.865
NBD	3.705.724	6.290.343.185	4.667.583.524	6.465.423.775

2019-2030 yıllarında elektrikli araçlardan kaynaklanan elektrik tüketimlerinin toplam net bugünkü değerleri milyar TL cinsinden senaryolar bazında Şekil 6.25'te gösterilmiştir. Buna göre elektrikli araçların en az olduğu ODS'de beklenildiği gibi en düşük elektrik maliyeti de bu senaryoda olmuştur. ODS'ye göre elektrik maliyetlerindeki fark Senaryo 1 için 6,29 milyar TL, Senaryo 2 için 4,66 milyar TL ve elektrikli aracın en çok olduğu Senaryo 3'te ise olmuştur elektrikli aracın en çok olduğu Senaryo 3'te en yüksek elektrik maliyeti 6,46 milyar TL fark olmuştur.



Şekil 6.25. 2019-2030 yıllarında senaryolar bazında elektrik maliyeti, milyar TL

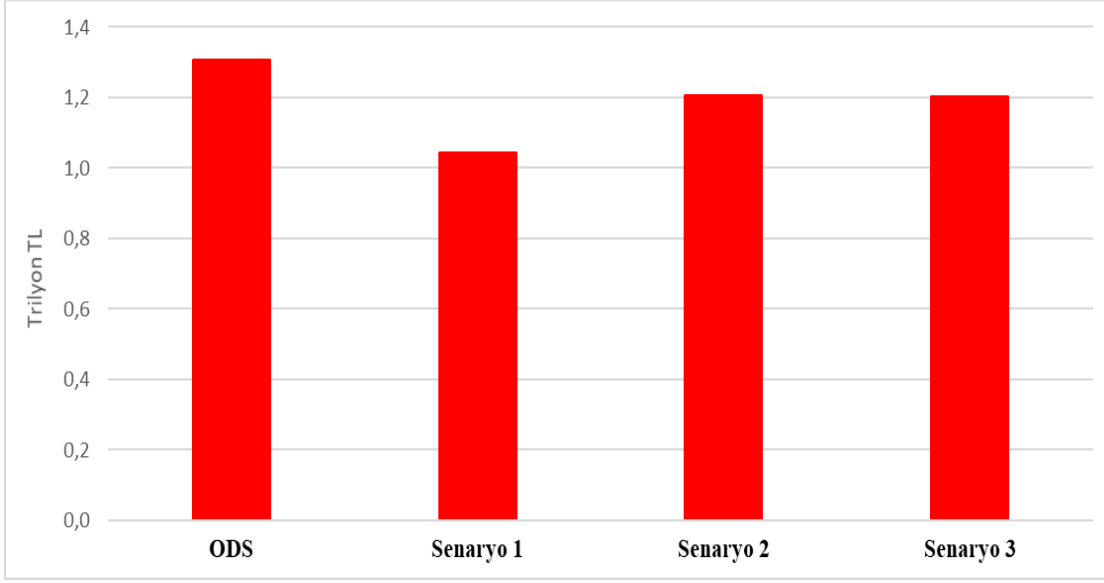
6.5.6. Sağlık Maliyet Değerleri

Senaryolar bazında sağlık maliyeti hesaplanmış ve TL cinsinden Çizelge 6.36'da verilmiştir. Kirletici emisyonlarının en yüksek olduğu ODS'de sağlık maliyetleri de 1,3 trilyon TL ile en yüksek değer olmuştur. Senaryo 2 ve Senaryo 3'te bu değer yaklaşık 1,2 trilyon TL olmuştur. Kirletici emisyonların en düşük değerde olduğu Senaryo 1'de ise beklenildiği gibi 1,04 trilyon TL ile en az sağlık maliyeti olmuştur.

Çizelge 6.36. Trafik emisyonlarına bağlı olarak oluşan hava kirliliğinin sebep olduğu yıllık sağlık maliyeti, TL

Yıl	ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2019	51.392.524.509	51.384.381.990	51.384.378.192	51.379.618.609
2020	60.570.411.199	58.660.020.666	60.215.659.260	60.202.756.125
2021	70.945.477.176	66.333.432.612	69.746.521.189	69.715.973.968
2022	83.342.071.443	75.089.649.664	80.625.682.985	80.562.902.886
2023	98.051.411.651	85.000.763.652	93.237.790.544	93.090.637.946
2024	114.161.422.926	95.844.993.777	107.290.280.017	107.041.770.195
2025	132.378.587.731	107.974.435.718	123.539.876.316	123.213.088.596
2026	153.744.688.115	121.150.576.759	141.961.284.801	141.553.531.980
2027	178.200.940.349	135.763.223.089	162.366.821.468	161.816.213.392
2028	205.428.236.523	152.017.530.464	185.117.461.478	184.425.782.426
2029	237.231.664.531	169.719.467.936	210.948.906.970	209.933.321.613
2030	273.316.450.670	189.440.819.943	239.854.157.008	237.994.677.176
NBD	1.307.668.319.842	1.042.268.133.174	1.207.714.317.503	1.203.716.597.789

Senaryolar bazında 2019–2030 yılları için araçlardan kaynaklanan kirletici emisyonlarının neden olduğu sağlık maliyeti net bugünkü değerleri ile Şekil 6.26’da trilyon TL cinsinden verilmiştir. Buna göre ODS’ye göre sağlık maliyetlerinde diğer senaryolar için tasarruflar sırasıyla; Senaryo 1 için %20 azaltımla 265 milyar TL, Senaryo 2 için %8 azaltımla yaklaşık 100 milyar TL ve Senaryo 3 için %8 azaltımla 104 milyar TL olmuştur. Bunun en temel nedeni sisteme giren hibrit ve elektrikli araçların önemli ölçüde sağlık maliyetini düşürmesidir. En çok sağlık tasarrufunun yapıldığı Senaryo 1’de ise hem temiz teknoloji araçların kullanılması hem de yaşlı araçların filodan çekilmesiyle sağlık maliyetlerinde olağan duruma göre büyük oranda düşüş yaşanmıştır.



Şekil 6.26. 2019-2030 yıllarında senaryolar bazında sağlık maliyeti, trilyon TL

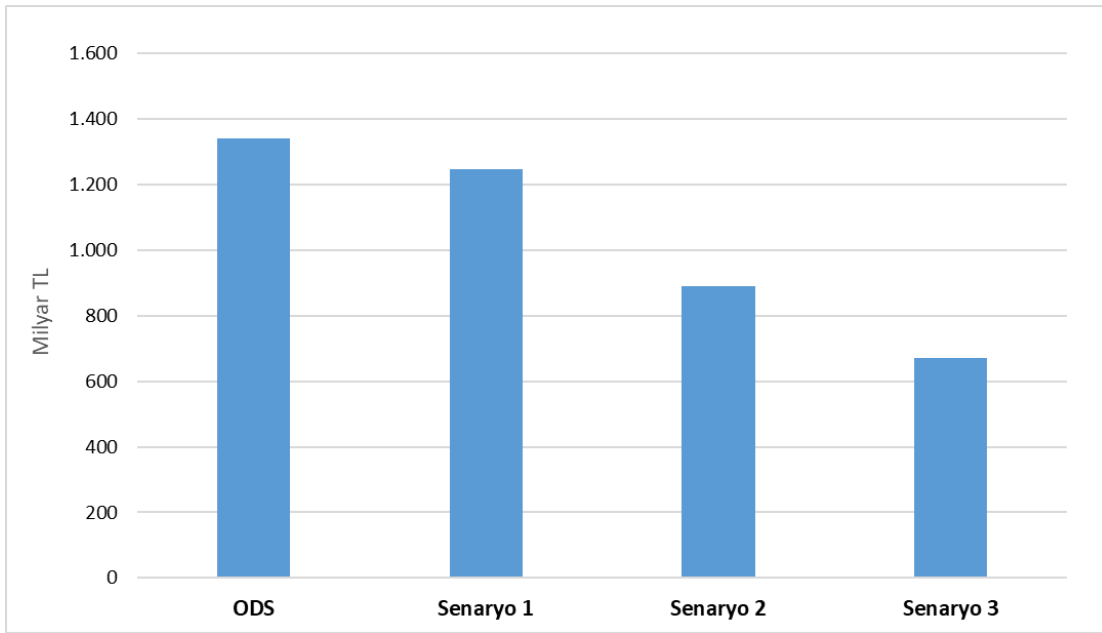
6.5.7. Toplam Fayda Maliyet Değerleri

Senaryolar bazında 2019-2030 yılları arasında karayolları taşıtlarının kullandığı akaryakıt üzerinden vergi değişimi ve ithalat değişimi, kaydı silinen araçlardan kaynaklanan vergi değişimi ve ithalat değişimi, kaydı yapılan araçların MTV, ÖTV ve KDV değişimleri ile ithalat değişimi hesaplanmış ve toplam vergi değişimi ile toplam ithalat değişimi bulunmuştur. Buna ek olarak karbon maliyeti, elektrik maliyeti ve sağlık maliyeti de üzerine eklenmiştir. Karbon maliyetlerinde sera gazı emisyonlarında en iyi azaltımın sağlandığı durum olduğu için 3. Durum değerleri kabul edilmiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak senaryolar bazında 2019-2030 yılları için net fayda maliyet analiz sonuçları TL cinsinden Çizelge 6.37’de verilmiştir.

Çizelge 6.37. 2019-2030 dönemi net (= fayda – maliyet) analizi, TL

		ODS	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Kayı silinen (Hurda) araçlar	Vergi Kaybı (-)	795.371.406	4.547.419.887	795.371.406	795.371.406
	Hurda İthalatı (+)	2.994.962.586	20.359.846.127	2.994.962.586	2.994.962.586
Kayı yapılan (Yeni) araçlar	Vergi Geliri (MTV) (+)	73.924.791.289	106.531.527.329	80.372.805.399	82.147.430.101
	Vergi Geliri (ÖTV+KDV) (+)	3.468.230.254.567	3.962.361.492.752	3.003.509.611.902	2.770.687.269.567
	Yeni Araç İthalat (-)	1.858.647.603.202	2.496.262.489.043	1.871.053.139.219	1.860.521.338.527
Yakıt	Vergi Geliri (+)	1.141.991.421.288	1.148.654.848.705	1.111.051.378.759	1.099.945.135.654
	Yakıt İthalatı (-)	1.160.073.546.615	1.159.633.363.190	1.123.925.844.052	1.112.487.148.366
Toplam (Net = Fayda – Maliyet)		1.667.624.908.507	1.577.464.442.793	1.202.154.403.970	981.970.939.609
Karbon maliyeti (-)		328.044.574.335	322.758.349.436	307.951.708.739	303.903.492.930
Elektrik maliyeti (-)		3.705.724	6.290.343.185	4.667.583.524	6.465.423.775
Toplam (Net = Fayda – Maliyet)		1.339.576.628.448	1.248.415.750.172	889.535.111.707	671.602.022.904
Sağlık maliyeti (-)		1.307.668.319.842	1.042.268.133.174	1.207.714.317.503	1.203.716.597.789
NET (Fayda – Maliyet)		31.908.308.605	206.147.616.998	-318.179.205.796	-532.114.574.885

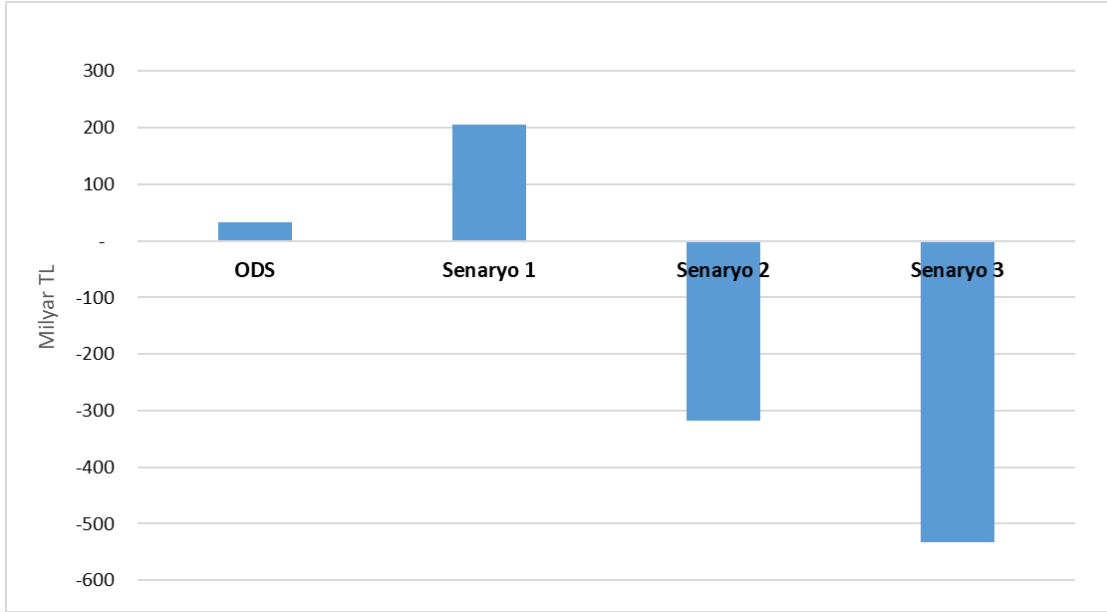
Senaryolar bazında yalnızca ekonomik (yakıt, yeni araç, hurda araç, elektrik tüketimi) ve çevresel (karbon maliyeti) verileri fayda-maliyet açısından değerlendirildiğinde 2019-2030 yılları için net fayda değerleri Şekil 6.27’de milyar TL cinsinden gösterilmiştir. Ekonomik ve çevresel analiz sonuçlarının etkisi ile senaryolar arasında değer farklılığı yaşanmıştır. Buna göre net fayda ODS’de 1,34 trilyon TL olurken bunu 1,25 trilyon TL ile Senaryo 1 takip etmiştir. ODS ile Senaryo 1 arasında 91 milyar TL’lik bir fark bulunmaktadır. Senaryo 2’de net fayda değeri 0,89 trilyon TL olmuştur. ODS ile Senaryo 2 arasındaki fark 450 milyar TL olmuştur. Senaryo 3’te ise net fayda değeri 0,67 trilyon TL olmuştur. Buna göre ODS ile Senaryo 3 arasında 668 milyar TL’lik fark oluşmuştur. Senaryo 2 ve Senaryo 3’ün diğer senaryolardan daha düşük fayda sağlamalarının sebebi hibrit ve elektrikli araçlardan alınan vergilerin daha düşük olması ve ithalat değerlerinin yüksek olması sebebiyle maliyetin artmasıdır.



Şekil 6.27. Senaryolar bazında ekonomik ve çevresel veriler dahilinde net (=fayda-maliyet) değerleri, milyar TL

Senaryolar bazında ekonomik (yakıt, yeni araç, hurda araç, elektrik tüketimi), çevresel (karbon maliyeti) ve sağlık verileri fayda-maliyet açısından değerlendirildiğinde 2019-2030 yılları için net (= fayda – maliyet) değerleri Şekil 6.28’de milyar TL cinsinden gösterilmiştir. Burada analizlere sağlık maliyetleri dahil edildiğinde sonuçların nasıl

olduğu görülmektedir. Şekil 6.27 ile Şekil 6.28 kıyaslandığında sağlık maliyeti etkisi daha rahat görülmektedir. Buna göre kirletici emisyonlarından kaynaklanan sağlık maliyetlerinin büyüklüğü sebebiyle değerler fazlasıyla değişmiştir. Şekil 6.28’de görüldüğü üzere net fayda ODS’de 32 milyar TL olurken Senaryo 1’de 206 milyar TL olmuştur. Senaryo 2 ve Senaryo 3’te ise değerler negatife düşmüştür. Senaryo 2 için -318 milyar TL ve Senaryo 3 için -532 milyar TL olmuştur. Bunun sebebi elektrikli ve hibrit araçlardan alınan vergilerin düşük olmasından dolayı ODS’ye göre daha az gelire yani daha az faydaya sebep olmuştur. Genel olarak sağlık maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı da net sonuçlara bakıldığında bu iki senaryoda negatife düşürmüştür. Sağlık maliyetlerinin etkisi en çok ODS ve Senaryo 1 arasındaki değerde görülmektedir. Bu şekilde Senaryo 1 uygulandığı takdirde 174 milyar TL’lik tasarruf yapılabileceği tahmin edilmiştir. Özellikle hibrit ve elektrikli araçların dışa bağımlılığı azaltıldığı takdirde ithalattan kaynaklanan maliyetlerin oldukça düşeceği ve bu şekilde senaryo 2 ve Senaryo 3 için de pozitifte ulaşılacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 6.28. Senaryolar bazında ekonomik, çevresel ve sağlık verileri dahilinde net (= fayda - maliyet) değerleri, milyar TL

6.6. Bölüm Sonu

Bu bölümde öncelikle araç sayısı tahminleri yapılmıştır. Daha sonra ise çalışma kapsamında senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar bazında bütün emisyon değerleri ve maliyet değerleri hesaplanmış ve sonuçları sunulmuştur.

Özellikle hibrit ve elektrikli araçların araç filosuna dahil edilmesiyle sera gazı emisyonlarında ve kirletici emisyonlarda önemli oranda azaltım sağlanacağı tahmin edilmiştir. Ayrıca temiz teknolojili bu araçların filoya dahil edilmesine ek olarak filoda bulunan yaşlı araçların trafikten çekilmesiyle birlikte kirletici emisyonlarında daha çok azaltımın yapılacağı da sonuçlara dayalı olarak bulunmuştur.

Maliyet analizleri düşünüldüğünde, ekonomik değerler analiz edilerek vergi gelirleri ve kayıpları ile ithalat etkileri hesaplanmıştır. Ayrıca bu sonuçlara karbon, elektrik ve sağlık maliyetleri de eklenerek en sonunda net fayda maliyet analizi yapılmıştır. Ülkemizde özellikle ithalat değerlerinin ve sağlık maliyet değerlerinin yüksek olması negatif etkiyi de arttırmaktadır. Özellikle hibrit ve elektrikli araçların filodaki oranının artmasıyla ve bu araçlar için dışarıya olan bağımlılığın azaltılmasıyla net faydanın da artacağı bu şekilde anlaşılmaktadır.

7. YORUM

Ulaşım sektörü; karayolları, demiryolları, denizyolları, havayolları ve boru hatları olmak üzere beş alt sistemden meydana gelmektedir. Ulaşım sektöründe tüketilen enerji toplam ulusal enerji tüketiminin %15'idir [1]. Ülkemizde 2017 yılında ulaşım sektörü kaynaklı sera gazı emisyonları 85 Mt CO₂ eşdeğerine ulaşmıştır. Buna bağlı olarak da toplam karbon dioksit (CO₂) emisyonunun %16'sı ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır [12]. Ulaşımdaki enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları bazında en büyük pay yaklaşık %90 ile karayolu ulaşımına aittir. [6]. Karayolu ulaşımında 2017 yılına gelindiğinde en yüksek sera gazı emisyon kaynağı %78 ile dizelli araçlara ait olmuştur. Dizelli araçlardan yüksek oranda kaynaklanan emisyonlardan dolayı bu çalışmada özellikle dizelli araçların trafikten çekilmesinin etkisi incelenmiştir.

Ülkemizdeki toplam motorlu kara taşıtları sayısı 2018 yılında 22.865.921'e ulaşmıştır [44]. Kara taşıtları içerisinde en yüksek pay %54 ile otomobillere aittir. Otomobillerden sonra ise %17'lik pay ile kamyonetler, %14'lük pay ile motosikletler, %8 ile traktör, %4 ile kamyon ve %3 ile otobüs ve minibüsler gelmektedir. Araç yaşlarına bakıldığında ise giderek yaşlanan bir filoya sahip olduğumuz bilinmektedir. Ülkemizde 16 yaş ve üzeri araçlar yaşlı araçlar olarak sınıflandırılmaktadır. Araç filosunun %33'ü yaşlı araçlardan oluşmaktadır. Ortalama araç yaşı ülkemizde 13,1'dir. Buna göre ülkemiz Amerika ve birçok Avrupa ülkesindeki araçlara göre daha yaşlı bir filoya sahiptir [48][49].

Düşük karbon ekonomisinde amaç, ekonomik büyümeden ödün vermeden daha az sera gazı emisyonu üreten uygulamaları ve teknolojileri belirlemektir. Ulaşımda düşük karbon ekonomisine bakıldığında ise, yakıt verimliliği, araç teknolojisinin geliştirilmesi, alternatif yakıtlı araçların kullanılması gibi etkenler büyük rol oynamaktadır [13]. Araç sayısının hızla artması ve filonun hızla yaşlanmasıyla birlikte fosil yakıtların kullanımı arttığı için ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar da yıllar bazında artacaktır. Türkiye düşük karbon ekonomisine geçişte bir taraftan sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedeflerken, diğer taraftan ekonomik kalkınmasını devam ettirmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, ulaşım sektöründe düşük karbon ekonomisine geçişte, kirletici vasfı yüksek araçlar yerine geçecek yeni nesil temiz teknoloji hibrit ve elektrikli araçların

trafiğe katılmasının hava kalitesine, ekonomiye, elektrik talebine, çevreye ve sağlığa olan etkilerini analiz etmektir.

Ulaşım sektöründe düşük karbon ekonomisine geçişteki süreçte uzun dönem araç talep tahminlerinin doğru bir şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır. Araç satış tahminleri üzerine yapılan çalışmalarda ARIMA, yapay sinir ağı modeli ve regresyon modelleri gibi bir çok model kullanılmıştır [39][40][41][42]. Bu çalışmada 2018 yılı baz alınarak 2019-2030 yılları için ekonomik model kullanılarak uzun dönemde otomobil ve kamyonetler için araç talep tahminleri yapılmıştır. Kamyon ve otobüsler için ise hurda bilgisi olmadığından dolayı yalnızca araç sayılarını belirlemek için trend analizi uygulanmıştır.

Çalışma kapsamında hurda araç sayısı, kaydı yapılan araç sayısı, filodaki elektrikli ve hibrit araç dağılımlarının değişiklik gösterdiği göz önünde bulundurularak senaryolar oluşturulmuştur. 2030 yılına gelindiğinde otomobiller için yakıt bazında araç dağılımında ODS'de benzin %25, dizel %27, LPG %48, hibrit ve elektrikli araçların ise %0,1'lik bir paya sahip olacağı tahmin edilmiştir. Senaryo 1 için ODS'den farklı olarak hurda araç sayısının daha çok olacağı bu sebeple kaydı silinen aracın ODS'den fazla olduğu ayrıca hurdaya çıkan araç sayısının her yıl %75'i kadar trafiğe kaydı yapılan araç sayısına katılacağı düşünülmüştür. Buna göre benzin %19, dizel %13, LPG %48, hibrit ve elektrikli araçların ise %20'lik paya sahip olacağı tahmin edilmiştir. Senaryo 2 ve Senaryo 3 için araç sayıları ODS ile aynı düşünülmüş yalnızca otomobillerin yakıt dağılımları değiştirilmiştir. Hibrit ve elektrikli araç payı Senaryo 2'de %15 olurken Senaryo 3 için %20 olacağı varsayılmıştır. Tüm senaryolarda kamyonetler için %10 benzin %90 dizel kullanıldığı varsayılırken kamyon ve otobüslerin tamamının dizel kullandığı varsayılmıştır.

Senaryolar bazında filoya katılan elektrikli araçların elektrik tüketimleri hesaplanmıştır. 2030 yılına gelindiğinde elektrikli araç sayısının en az olduğu ODS'de 673 MWh elektrik tüketimi olacağı tahmin edilmiştir. Senaryo 1 ve Senaryo 3 için yaklaşık 2 TWh olurken Senaryo 2 için 1,4 TWh olacağı tahmin edilmiştir. Bu elektrik tüketimlerinin ülkemizin elektrik talebine olan etkisi araştırıldığında ise çok düşük bir artışa sebep olacağı bundan kaynaklı da çok yüksek bir yük getirmeyeceği tahmin edilmiştir. Elektrikli araçların fazla sayıda olduğu Senaryo 3 ve Senaryo 1'de toplam elektrik talebinde %0,6 artış olacağı

tahmin edilmiştir. Senaryo 2’de ise %0,5 artış olmaktadır. Olağan durum senaryosunda ise elektrikli araç sayısının oldukça düşük olmasından dolayı elektrik talebine etkisi çok düşük (%0,0002) olmuştur. Literatürde yapılan çalışmalarda da elektrikli araçların elektrik talebine olan etkisinin fazla olmayacağı belirtilmiştir [23][24].

Özellikle hibrit ve elektrikli araçların araç filosuna dahil edilmesiyle ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarında önemli oranda azaltım sağlanacağı öngörülmüştür. Bu çalışma Türkiye’nin INDC karbon emisyonu azaltma hedefi olan %21 oranına ulaşabilmesi için yardımcı olacaktır. Literatürde elektrikli araç kullanımından dolayı ortaya çıkan sera gazlarının elektrik üretiminde kullanılan yakıt türüne bağlı olduğu belirtilmiştir ([26][27]), fakat elektrik üretiminde enerji kaynaklarının paylarının değiştirilmesiyle oluşan durumların mali etkisini gösteren bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada özellikle yenilenebilir enerji kaynak paylarının yıllar bazında artmasına dayalı oluşturulan durumlar için hem hava kirliliği üzerindeki etkisi hem de mali etkisi incelenmiştir.

Karayolu taşıtlarının hava kirliliğine olan etkilerini inceleyen çalışmalarda özellikle alternatif yakıtların kullanılması ve yeni araç teknolojisinin etkileri incelenmiştir. Çalışmalarda optimizasyon modelleriyle ([21],[23], [24]) birlikte yaşam döngü analizleri de kullanılmıştır ([25],[26],[27]). Bu çalışmada ise karayolu taşıtlarının fosil yakıt kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları ve kirletici emisyonlar COPERT emisyon modeliyle hesaplanmıştır. COPERT modeli; araç tipi, araç yaşı, araç motor hacmi ve araç motor teknolojileri gibi detaylı veri girişinin yapılabilmesinden dolayı bu çalışmada kullanılmıştır [72][73][74].

Araçlarda fosil yakıt kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları ve kirletici emisyonlarının senaryo bazında ODS’ye göre azaltım yüzdeleri 2030 yılı için Çizelge 7.1’de verilmiştir. Buna göre sera gazlarında ODS’ye göre en çok azaltım %12 ile Senaryo 3’te olmuştur. Senaryo 3 ve Senaryo 2’nin ODS ile arasındaki farkın daha fazla olma sebebi araç filosundaki hibrit ve elektrikli araç sayılarının daha fazla olmasıdır. Bu şekilde daha az yakıt harcandığından açığa çıkan sera gazı emisyonları da daha az olmuştur. Senaryo 1’de ise kaydı yapılan araç sayısının fazla olmasından dolayı araçların

yaptığı kilometreye ve motor teknolojisindeki gelişmeye bağlı olarak Senaryo 3 ve Senaryo 2'ye göre daha az azaltım sağlanmıştır. Araçlardan kaynaklanan kirletici emisyonlarına bakıldığında ise CO, NO_x ve PM_{2.5} emisyonlarında ODS'ye göre en yüksek azaltımın Senaryo 1'e ait olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise hibrit ve elektrikli araç gibi temiz teknolojili araçların stoktaki payının ODS'ye göre fazla olması ve stoktaki araçların daha genç olması ile Euro standartlarının daha temiz değerlere sahip olmasıdır. 2030 yılına gelindiğinde SO₂ emisyonlarında ODS'ye göre en çok azaltım filodaki hibrit ve elektrikli araçların sayılarının yüksek olması sebebiyle Senaryo 3'te olmuştur. Burada diğer kirletici emisyonlardan farklı olarak Senaryo 1 için SO₂ değeri diğer senaryolardan yüksek çıkmıştır. Bunun en temel sebebi yeni araç sayısının fazla olmasıdır. SO₂ için yakıtlardaki oranı sabit tutulduğundan yani Euro standardına göre değişmediğinden ve yeni araçların ortalama kilometre değeri yüksek olmasından dolayı Senaryo 1 için bu değer yüksek olmuştur.

Çizelge 7.1. 2030 yılında senaryoların ODS'ye göre sera gazı emisyonları ve kirletici emisyonlarındaki azaltımları, %

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Sera Gazı Emisyonu	%4	%10	%12
CO Emisyonu	%30	%4	%6
NO_x Emisyonu	%23	%7	%8
PM_{2,5} Emisyonu	%42	%14	%14
SO₂ Emisyonu	+%5	%5	%9

Literatürde ayrıca elektrikli araçların elektrik tüketimindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekedeki etkisini inceleyen çalışmalar da mevcuttur [26] [27]. Bu çalışmada da elektrikli araçlar için senaryolar bazında enerji kaynaklarının şebekedeki dağılımları değiştirilerek elektrik tüketiminden dolayı ortaya çıkan sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Tüm senaryolar için 1. Durumda yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %31 olarak devam ederken, 2. Durumda elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı yıllar bazında artarak 2030 yılına gelindiğinde %60, 3. Durumda ise yine yıllar bazında artarak 2030 yılında %90 olacağı düşünülmüştür. Elektrikli araçlar

için karbon emisyonlarında en çok azaltımın olduğu 3.Durum uygulandığında 1.Duruma göre %73 oranında sera gazlarında azaltıma neden olacağı bulunmuştur.

Bu çalışmada maliyet analizleri düşünüldüğünde ilk olarak kaydı silinen ve kaydı yapılan araçların vergi boyutu ve ithalat değerleri analiz edilmiş olup kaydı silinen araçların hurda metal değerleri de hesaplanmıştır. Daha sonra araç filosunun yakıt maliyet analizleri, karbon maliyeti, elektrik tüketim maliyeti ve sağlık maliyeti hesaplanmıştır. Son olarak toplam net fayda maliyet analizleri senaryolar bazında sunulmuştur.

Kaydı silinen araçların hurda metalinin net bugünkü değerleri 2019-2030 yılları için hesaplanmıştır. Senaryolar bazında hurda metal ithalatı ve MTV kaybı değerlerine bakıldığında ODS, Senaryo 2 ve Senaryo 3 filolarından kaydı silinen araç sayılarının aynı olmasından dolayı hurdadan elde edilen metal değeri ve MTV kaybı değerleri aynı olmuştur. Senaryo 1 için hurda araç sayısının diğer senaryolardan fazla olmasından dolayı ODS'ye göre kaydı silinen araçlardan yaklaşık 14 milyar TL'lik tasarruf yapılabileceği bulunmuştur.

Kaydı yapılan araçlar için yapılan maliyet analizlerinde ise öncelikle MTV, KDV ve ÖTV değerleri bulunmuş, sonrasında piyasaya yeni araçların girmesinin ithalat boyutu belirlenmiştir. En yüksek MTV, KDV ve ÖTV geliri kaydı yapılan araç sayısının yüksek olması sebebi ile Senaryo 1'e aittir. Senaryo 2 ve Senaryo 3'te ise hibrit ve elektrikli araçlardan alınan ÖTV oranlarının daha az olmasından dolayı ODS'den daha az ÖTV gelirin e sahip olmuşlardır. Senaryolar bazında piyasaya girecek yeni araçlardan dolayı ithalat kısmında oluşacak olası etkilere bakıldığında kaydı yapılan araç sayısının Senaryo 1'de fazla olması sebebi ile ithalattaki etkisi de en fazla olmuştur. En düşük ithalat etkisi ODS'de olmaktadır. Sebebi ise hibrit ve elektrikli araçların diğer senaryolar arasında en düşük sayıda olmasıdır. Buna göre kaydı yapılanlar araçlardaki ekonomik analizlerinin net değeri ODS'de 1,68 trilyon TL, Senaryo 1'de 1,57 trilyon TL, Senaryo 2'de 1,21 trilyon TL ve Senaryo 3'te ise 0,99 trilyon TL olmuştur.

Yakıt fiyatları kullanılarak 2019-2030 dönemi için yakıt tüketiminden elde edilen vergi geliri ve ithalat etkisi bulunmuştur. Yakıttan en çok vergi geliri Senaryo 1'de elde edilmiştir. Yeni kaydı yapılan araç sayısının fazla olması ile özellikle hibritli araçların

da eklenmesi ile benzin tüketimi artmıştır. Yakıt fiyatlarından en yüksek değere sahip olan benzindir. Bu sebeple de Senaryo 1 için yakıttan elde edilen gelir diğer senaryolardan daha yüksek olmuştur. Yakıt kullanımında özellikle ithalat etkisinin vergi gelirinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Yakıt ithalat değerinin yüksek olması sebebi ile ekonomik olarak negatif etki yaptığı görülmüştür. Buna göre net değerler düşünüldüğünde ODS’de -18,1 milyar TL kayıp olurken, Senaryo 1’de -10,7 milyar TL, Senaryo 2’de -12,6 ve Senaryo 3’te -12,7 milyar TL kayıp olmuştur. Yakıt kullanımından ODS’ye göre en çok tasarruf 7 milyar TL ile Senaryo 1’de olmuştur.

İthalat etkisinin yüksek olması yakıtta dışa olan bağımlılığın yüksek olduğunu göstermektedir. Dışarıya olan bağımlılığın azaltılmasıyla bu negatif etkinin azalacağı öngörülmüştür [30]. Aynı zamanda filoya katılacak olan elektrikli ve hibrit araçların fosil yakıt tüketimini azaltacağından dolayı yakıttan tasarruf sağlanabileceği tahmin edilmiştir. Vergi gelir ve kayıplarına bakıldığında ise özellikle hibrit ve elektrikli araç alımında teşvik edilmesi için vergilerde azaltım uygulanmaktadır. Bu da vergi gelirlerinde düşüşe sebebiyet vermektedir. Ayrıca bu araçların ithalat değerleri oldukça yüksek olmakta bu da yüksek maliyeti doğurmaktadır. Yakıt analizlerinde olduğu gibi yeni araçlarda dışa olan bağımlılığın azalması ve yerli üretime geçilmesi halinde maliyet de düşürülebilecektir.

Çalışmadaki karbon maliyetlerine bakıldığında ise özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının da elektrik üretimindeki etkisinin artması ile karbon maliyetlerini düşürebileceği gösterilmiştir. Senaryolar bazında karbon maliyetleri düşünüldüğünde karbon maliyetleri negatif bir etki göstereceğinden bu değer ne kadar az olursa net fayda o kadar yüksek olacaktır. Elektrikli ve hibrit araçların en fazla kullanıldığı Senaryo 3’te ODS’ye göre yaklaşık 24 milyar TL tasarruf yapılabileceği tahmin edilmiştir. Ülkemizde zorunlu olmayan karbon vergisi sistemi gönüllülük üzerine devam etmektedir. Ulaşım sektörünün düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinde, karbon emisyonunun azaltılması hedeflendiği düşünülürse karbon vergilerinin zorunlu hale getirilmesi ile yeni nesil temiz teknoloji araçlara yönelim artacaktır. Literatürdeki çalışmalara göre de eski teknoloji araçların daha çok sera gazı emisyonuna neden olduğu düşünüldüğünde karbon vergisinin zorunlu hale getirilmesi durumunda caydırıcılığı da yüksek olacağı tahmin edilmektedir [29] [31].

Araç filosundaki elektrikli araçların elektrik tüketimine bağlı olarak elektrik maliyetleri senaryolar bazında hesaplanmıştır. Elektrik tüketiminin en çok olduğu Senaryo 3'te ise elektrik maliyeti 6,5 milyar TL olmuştur. Senaryo 1'de 6,3 milyar TL, Senaryo 2'de ise 4,7 milyar TL olmuştur. Elektrik tüketiminin en az olduğu ODS'de elektrik maliyet değeri 3,7 milyon TL olmaktadır.

Hava kirliliğinin bir çok hastalığa sebep olduğu bundan dolayı da bir çok erken ölüme sebebiyet verdiği bilinmektedir. Araçlardan kaynaklanan kirleticiler emisyonlarının neden olduğu sağlık maliyeti bu çalışma için senaryolar bazında hesaplanmıştır. Literatürde sağlık maliyet hesaplamalarında kullanılan ERF'ler bu çalışma için kullanılmıştır [35] [37]. Kirleticiler emisyonlarının en yüksek olduğu ODS'de sağlık maliyetleri de 1,3 trilyon TL ile en yüksek değer olmuştur. Senaryo 2 ve Senaryo 3'te bu değer yaklaşık 1,2 trilyon TL olmuştur. Kirleticiler emisyonlarının en düşük değerinde olduğu Senaryo 1'de ise beklenildiği gibi 1,04 trilyon TL ile en az sağlık maliyeti olmuştur. Bu şekilde sağlık maliyetlerinde en iyi durumda %20 tasarruf sağlanacağı bulunmuştur. Özellikle filoda bulunan hurda araçların trafikten çekilmesiyle ve yerine hibrit ve elektrikli temiz teknolojili araçların girmesiyle kirleticiler emisyonlarında büyük bir azaltım görülmüştür. Bu şekilde sağlık maliyetlerinde de yüksek bir oranda tasarruf sağlanabileceği tahmin edilmiştir.

Senaryolar bazında ekonomik (yakıt, yeni araç, hurda araç, elektrik tüketimi), çevresel (karbon maliyeti) ve sağlık maliyetleri fayda-maliyet açısından değerlendirildiğinde 2019-2030 yılları için net fayda değerleri ODS'de 32 milyar TL olurken Senaryo 1'de 206 milyar TL olmuştur. Senaryo 2 ve Senaryo 3'te ise değerler negatife düşmüştür. Senaryo 2 için -318 milyar TL ve Senaryo 3 için -532 milyar TL olmuştur. Bunun sebebi elektrikli ve hibrit araçlardan alınan vergilerin düşük olmasından dolayı ODS'ye göre daha az gelire yani daha az faydaya sebep olmasıdır. Genel olarak sağlık maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı da net sonuçlara bakıldığında bu iki senaryoda negatife düşürmüştür. Buna göre kirleticiler emisyonlarından kaynaklanan sağlık maliyetlerinin büyüklüğü sebebiyle değerler fazlasıyla değişmiştir. Bu şekilde Senaryo 1 uygulandığı takdirde 174 milyar TL'lik tasarruf yapılabileceği tahmin edilmiştir. Özellikle hibrit ve

elektrikli araçların dışa bağımlılığı azaltıldığı takdirde ithalattan kaynaklanan maliyetlerin oldukça düşeceği ve bu şekilde senaryo 2 ve Senaryo 3 için de pozitive ulaşılacağı tahmin edilmektedir.

Bu çalışma ile karayolu ulaşımında filodaki fosil yakıt kullanımının ve yaşlı araçlardan kaynaklanan emisyonların hem hava kirliliğine hem de insan sağlığına olan etkilerinin oldukça fazla olduğu bulunmuştur. Bu şekilde fosil yakıtlı araçlar yerine temiz teknoloji hibrit ve elektrikli araçların trafiğe girmesiyle ulaşımında düşük karbon ekonomisine geçişte ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonları hakkında maliyet etkin gerçekçi politikaların oluşturulmasında katkıda bulunacak bir veri tabanı oluşturulmuştur.

7.1. Gelecek Çalışmalar için Öneriler

Gelecek çalışmalar için öneriler şu şekilde sıralanabilir;

- Bu çalışmada özellikle emisyon yükünün daha çok olduğu otomobil, kamyonet, kamyon ve otobüslerin emisyonları hesaplanmıştır. İlerde yapılacak çalışmalarda özellikle diğer karayolu araçlarının kilometre, yaş, yakıt, hurda verileri daha detaylı bir şekilde kurumlardan alınabilirse bu araçları da emisyon hesaplamalarına dahil etmeleri önerilmektedir.
- Çalışmada alternatif yakıtlar ve teknolojilerin kullanımıyla emisyon azaltımının sağlanması üzerine yoğunlaşmıştır. Bunlarla birlikte rota planlama, toplu ulaşımın kullanımı ve araç sürüş teknikleri gibi emisyon azaltmada önemli olabilecek öğelerin üzerine de çalışılmalıdır.
- Yine emisyon azaltımı olarak ileriki çalışmalara düşük emisyon bölgesi uygulamasının emisyon azaltım politikaları için önerilmektedir. Bu uygulamanın ülkemizde de yaygınlaşabilmesi açısından Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığının "Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik"i Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe yeni girmiştir. Buna göre; Belediyelerce Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın uygun görüşünü almak kaydıyla kent merkezlerinde ve semt ölçeğinde yoğun trafik ve hava kirliliğinin yaşandığı alanlar düşük emisyon alanları ilan edilebilecektir.

- Elektrikli araçların elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonların az olmasıyla birlikte elektrik kaynak paylarının yenilenebilir enerjiden olmasının etkisinin daha çok görülebilmesi için filodaki elektrikli araçların çok daha fazla sayıda olması gerekmektedir. Bu da ileride 30 yıllık gibi daha uzun dönem bir çalışma yapılarak araştırılabilir. Böylece yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonlardaki etkisi daha çok gözlenebilecektir.
- İleriki yıllarda kurulması planlanan nükleer enerji santrallerinin de göz önünde bulundurulmasıyla, özellikle elektrikli araçların elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını gözlemleyebilmek açısından, gelecek çalışmalarda elektrik üretimine nükleer enerjinin de dahil edilmesi önerilmektedir.
- Bu çalışmada araçlar için yaşam döngü analizi kullanılmamıştır. Özellikle elektrikli araçlara yaşam döngü analizi yapılması önerilmektedir. Bu şekilde bu çalışmaya ek olarak elektrikli araçların pil üretiminde oluşan emisyonlar da dahil edilirse diğer motorlu araçlara göre karşılaştırılması daha net yapılabilecektir.

8. KAYNAKLAR

- [1] “Enerji İşleri Genel Müdürlüğü-Denge Tabloları.”. <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolar/Denge-Tablolar>. [Erişim tarihi: **18-Eki-2019**].
- [2] “WHO | Ambient air pollution: Health impacts,” WHO raporu, **2018**.
- [3] “EU passenger cars by fuel type 2017 Statista.” <https://www.statista.com/statistics/500546/share-of-fuel-types-of-passenger-car-fleet-in-europe-by-country/>. [Erişim tarihi: **15-Oca-2020**].
- [4] “Electric vehicles and the energy sector - impacts on Europe’s future emissions - European Environment Agency.” <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/electric-vehicles/electric-vehicles-and-energy>. [Erişim tarihi: **14-Oca-2020**].
- [5] “Germany boosts electric-car incentives to stimulate demand - Renewable Energy World.” <https://www.renewableenergyworld.com/2019/11/05/germany-boosts-electric-car-incentives-to-stimulate-demand/#gref>. [Erişim tarihi: **16-Oca-2020**].
- [6] “Çevresel Göstergeler.” <http://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turlerine-gore-tasinan-yolcu-ve-yuk-miktari-i-85789>. [Erişim tarihi: **13-Mar-2020**].
- [7] “Devlet ve İl Yol Envanteri.” <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/DevletveIIYolEnvanteri.aspx>. [Erişim tarihi: **14-Mar-2020**].
- [8] “Ulaşan ve Erişen Türkiye 2018 Demiryolu.” <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/demiryolu/demiryolu.pdf>. [Erişim tarihi: **14-Mar-2020**].
- [9] T. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı-Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, “Deniz Ticareti İstatistikleri- **2018**.”
- [10] “İstatistikler Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü.” <http://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/4547-istatistikler>. [Erişim tarihi: **14-Mar-2020**].
- [11] “Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Havayolu Sektör Raporu.” **2018**
- [12] “National Inventory Submissions 2019 | UNFCCC.” <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2019>. [Erişim tarihi: **20-Eki-2019**].
- [13] “Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication A Synthesis for Policy Makers.”
- [14] “A guidebook to the Green Economy.” [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/GE Guidebook.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/GE%20Guidebook.pdf). [Erişim tarihi: **11-Mar-2020**].
- [15] “Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara **2012**.”

- [16] “Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Arttırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik.” <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190502-5.htm>. [Erişim tarihi: **14-Mar-2020**].
- [17] “The cost of air pollution: health impacts of road transport”. OECD, pp. 44–50, 21-May-**2014**.
- [18] G. Pasaoglu, M. Honselaar, and C. Thiel, “Potential vehicle fleet CO2 reductions and cost implications for various vehicle technology deployment scenarios in Europe,” *Energy Policy*, vol. 40, no. 1, pp. 404–421, **2012**.
- [19] A. Yousefi-Sahzabi, E. Unlu-Yucesoy, K. Sasaki, H. Yuosefi, A. Widiatmojo, and Y. Sugai, “Turkish challenges for low-carbon society: Current status, government policies and social acceptance,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68. Elsevier Ltd, pp. 596–608, 01-Feb-**2017**.
- [20] T. Trost, M. Sterner, and T. Bruckner, “Impact of electric vehicles and synthetic gaseous fuels on final energy consumption and carbon dioxide emissions in Germany based on long-term vehicle fleet modelling,” *Energy*, vol. 141, pp. 1215–1225, Dec. **2017**.
- [21] Q. Zhang, X. M. Ou, and X. L. Zhang, “Future penetration and impacts of electric vehicles on transport energy consumption and CO2 emissions in different Chinese tiered cities,” *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 61, no. 10, pp. 1483–1491, Oct. **2018**.
- [22] S. Saxena, A. Phadke, and A. Gopal, “Understanding the fuel savings potential from deploying hybrid cars in China,” *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 1127–1133, Jan. **2014**.
- [23] S. Dhar, M. Pathak, and P. R. Shukla, “Electric vehicles and India’s low carbon passenger transport: a long-term co-benefits assessment,” *J. Clean. Prod.*, vol. 146, pp. 139–148, Mar. **2017**.
- [24] Z. Navas-Anguita, D. García-Gusano, and D. Iribarren, “Prospective Life Cycle Assessment of the Increased Electricity Demand Associated with the Penetration of Electric Vehicles in Spain,” *Energies*, vol. 11, no. 5, p. 1185, May **2018**.
- [25] R. Jing, C. Yuan, H. Rezaei, J. Qian, and Z. Zhang, “Assessments on energy and greenhouse gas emissions of internal combustion engine automobiles and electric automobiles in the USA,” *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 90, pp. 297–309, Apr. **2020**.
- [26] P. Wolfram and T. Wiedmann, “Electrifying Australian transport: Hybrid life cycle analysis of a transition to electric light-duty vehicles and renewable electricity,” *Appl. Energy*, vol. 206, pp. 531–540, **2017**.
- [27] J. R. Woo, H. Choi, and J. Ahn, “Well-to-wheel analysis of greenhouse gas emissions for electric vehicles based on electricity generation mix: A global perspective,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 51, pp. 340–350, Mar. **2017**.
- [28] J. Lepitzki and J. Axsen, “The role of a low carbon fuel standard in achieving long-term GHG reduction targets,” *Energy Policy*, vol. 119, pp. 423–440, Aug. **2018**.
- [29] A. Lam *et al.*, “Policies and Predictions for a Low-Carbon Transition by 2050 in Passenger Vehicles in East Asia: Based on an Analysis Using the E3ME-FTT

- Model,” *Sustainability*, vol. 10, no. 5, p. 1612, May **2018**.
- [30] E. Shafiei, B. Davidsdottir, J. Leaver, H. Stefansson, and E. I. Asgeirsson, “Potential impact of transition to a low-carbon transport system in Iceland,” *Energy Policy*, vol. 69, pp. 127–142, Jun. **2014**.
- [31] D. L. McCollum *et al.*, “Interaction of consumer preferences and climate policies in the global transition to low-carbon vehicles,” *Nat. Energy*, vol. 3, no. 8, pp. 664–673, Aug. **2018**.
- [32] A. Q. Al-Amin and B. Doberstein, “Introduction of hydrogen fuel cell vehicles: prospects and challenges for Malaysia’s transition to a low-carbon economy,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 30, pp. 31062–31076, Oct. **2019**.
- [33] Q. Chen, “Carbon Emissions Change and Key Factors of Promoting New Energy Vehicles in Transit System in Guangdong.”
- [34] S. Yang, Y. Ji, D. Zhang, and J. Fu, “Equilibrium between Road Traffic Congestion and Low-Carbon Economy: A Case Study from Beijing, China,” *Sustainability*, vol. 11, no. 1, p. 219, Jan. **2019**.
- [35] U. Im *et al.*, “Assessment and economic valuation of air pollution impacts on human health over Europe and the United States as calculated by a multi-model ensemble in the framework of AQMEII3,” *Atmos. Chem. Phys*, vol. 18, pp. 5967–5989, **2018**.
- [36] S. Anenberg, J. Miller, D. Henze, and R. Minjares, “A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015,” **2019**.
- [37] X. Tian *et al.*, “Economic impacts from PM2.5 pollution-related health effects in China’s road transport sector: A provincial-level analysis,” *Environ. Int.*, vol. 115, pp. 220–229, Jun. **2018**.
- [38] P. Piscitelli *et al.*, “Air Pollution and Estimated Health Costs Related to Road Transportations of Goods in Italy: A First Healthcare Burden Assessment,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 16, p. 2876, Aug. **2019**.
- [39] F. K. Wang, K. K. Chang, and C. W. Tzeng, “Using adaptive network-based fuzzy inference system to forecast automobile sales,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 8, pp. 10587–10593, Aug. **2011**.
- [40] Z. Peng, Z. Yu, H. Wang, and S. Yang, “Research on industrialization of electric vehicles with its demand forecast using exponential smoothing method,” *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 8, no. 2, pp. 365–382, Nov. **2015**.
- [41] U. Demiroğlu and Ç. Yüncüler, “Estimating light-vehicle sales in Turkey,” *Cent. Bank Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 93–108, Sep. **2016**.
- [42] C. Emre Alper and A. Mumcu, “Interaction between price, quality and country of origin when estimating automobile demand: the case of Turkey,” *Appl. Econ.*, vol. 39, no. 14, pp. 1789–1796, Aug. **2007**.
- [43] N. O. Kapustin and D. A. Grushevenko, “Long-term electric vehicles outlook and their potential impact on electric grid,” *Energy Policy*, vol. 137, p. 111103, Feb. **2020**.

- [44] “Yıllara göre motorlu kara taşıtları sayısı,” *Türkiye İstatistik Kurumu*, 2018. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27647>. [Erişim tarihi: **06-Ağu-2018**].
- [45] “ACEA Report Vehicles in use Europe 2019,” **2019**.
- [46] “Türkiye İstatistik Kurumu, Motorlu Kara Taşıtları, Aralık 2013.” <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15894>. [Erişim tarihi: **07-Ağu-2018**].
- [47] “Trafığe Kaydı Yapılan Araçların Yaş Grubuna Göre Dağılımı,” *Türkiye İstatistik Kurumu*. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do;jsessionid=dQbvwgJ8XsZb2pY3QjYJlJhVTytJjxGRLrGhyJMG3LL73dC1drQ!359221158?id=27640>. [Erişim tarihi: **12-Ağu-2018**].
- [48] “U.S. average age of vehicles 2017,” *The Statistics Portal*. <https://www.statista.com/statistics/738667/us-vehicles-projected-age/>. [Erişim tarihi: **12-Ağu-2018**].
- [49] “ACEA Report Vehicles in use Europe **2017**.”
- [50] “Trafığe Kaydı Yapılan Otomobillerin Motor Silindir Hacimlerine Göre Dağılımı, Aralık 2017,” *Türkiye İstatistik Kurumu*, 2017. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27640>. [Erişim tarihi: **08-Ağu-2018**].
- [51] Gelir İdaresi Başkanlığı, “Motorlu Taşıtlar Vergisi Genel Tebliği,” *Resmî Gazete*, 2018. <http://www.gib.gov.tr/motorlu-tasitlar-vergisi-genel-tebligleri>. [Erişim tarihi: **08-Ağu-2018**].
- [52] “Türkiye Otomotiv Pazarı, Aralık 2017,” *Otomotiv Distribütörleri Derneği*, 2017. http://www.odd.org.tr/web_2837_1/neuralnetwork.aspx?type=26. [Erişim tarihi: **10-Ağu-2018**].
- [53] M. Andre and Z. Samaras, *Energy and Environment*. WILEY, London, pp. 404-405, **2016**.
- [54] “Trafığe Kayıtlı Araçların Yakıt Cinsine Göre Dağılımı, Aralık 2017,” *Türkiye İstatistik Kurumu*, 2017. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do;jsessionid=WcNRbtrSKXf512lwxgTxD8rsKyYmN9zFR6FTfP5RTWs5b528zxx8!1943707037?id=27640>. [Erişim tarihi: **10-Ağu-2018**].
- [55] “Türkiye İstatistik Kurumu, Trafığe Kayıtlı Otomobillerin Yakıt Cinsine Göre Dağılımı, Aralık 2017,” *TÜİK*, 2017. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do;jsessionid=Y20tch6PjHQcqDD9y7rVGvVFgrXT2Mxdvf0L1bTmGfyqYvKKIQ4m!1449268439?id=27640>. [Erişim tarihi: **19-Ara-2018**].
- [56] “Pazar - Perakende Satışlar,” *Otomotiv Distribütörleri Derneği*. http://www.odd.org.tr/web_2837_1/neuralnetwork.aspx?type=36. [Erişim tarihi: **07-Ağu-2018**].
- [57] “Türkiye Otomotiv Pazarı, 2015-2017. Otomotiv Distribütörleri Derneği raporu **2017**”

- [58] “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, 30-35,” *European Environment Agency*, 2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>. [Erişim tarihi: **19-Ara-2018**].
- [59] A. Gür, “Karayolu Ulaşımında Enerji Verimliliği ve Enerji Kaynaklarının Çeşitlendirilmesi.” <https://docplayer.biz.tr/8010665-Karayolu-ulasiminda-enerji-verimliliği-ve-enerji-kaynaklarinin-cesitlendirilmesi.html> [Erişim tarihi: **14-Ağu-2018**]
- [60] “Enerji İşleri Genel Müdürlüğü - Denge Tabloları.” <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tabloları>. [Erişim tarihi: **14-Ağu-2018**].
- [61] “TÜVTÜRK Araç Muayene İstasyonları.” <http://www.tuvturk.com.tr/>. [Erişim tarihi: **14-Ağu-2018**].
- [62] “Türkiye İstatistik Kurumu, Taşıt-kilometre İstatistikleri, 2016,” *TÜİK*, 2016. <http://tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30846>. [Erişim tarihi: **19-Ara-2018**].
- [63] “Ülke düzeyinde nüfus bilgisi,” *TÜİK*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>. [Erişim tarihi: **11-Oca-2019**].
- [64] “İşgücü İstatistikleri,” *TÜİK*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=72&locale=tr>. [Erişim tarihi: **11-Oca-2019**].
- [65] “GDP (current US\$) | Data,” *World Bank*. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=TR>. [Erişim tarihi: **11-Oca-2019**].
- [66] “Kişi Başına Düşen Gayri Safi Yurt içi Hasıla,” *TÜİK*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=116&locale=tr>. [Erişim tarihi: **11-Oca-2019**].
- [67] “Deposit interest rate (%) | Data,” *World Bank*. <https://data.worldbank.org/indicator/FR.INR.DPST?locations=TR&view=map>. [Erişim tarihi: **11-Oca-2019**].
- [68] “TCMB - Reeskont ve Avans Faiz Oranları.” <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Temel+Faaliyetler/Para+Politikasi/Reeskont+ve+Avans+Faiz+Oranları> [Erişim tarihi: **11-Oca-2019**].
- [69] “Kaydı yapılan karayolu taşıtları,” *TÜİK*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=89&locale=tr>. [Erişim tarihi: **11-Oca-2019**].
- [70] “Kaydı Silinen Motorlu Kara Taşıt Sayısı,” *Türkiye İstatistik Kurumu*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=89&locale=tr>. [Erişim tarihi: **11-Oca-2019**].
- [71] “Türkiye Elektrik İletim A.ř.” <https://www.teias.gov.tr/>. [Erişim tarihi: **20-Eki-2019**].
- [72] S. C. Mangones, P. Jaramillo, N. Y. Rojas, and P. Fischbeck, “Air pollution emission effects of changes in transport supply: the case of Bogotá, Colombia,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, pp. 1–8, Mar. **2020**.
- [73] R. Smit, P. Kingston, D. W. Neale, M. K. Brown, B. Verran, and T. Nolan, “Monitoring on-road air quality and measuring vehicle emissions with remote sensing in an urban area,” *Atmos. Environ.*, vol. 218, p. 116978, Dec. **2019**.

- [74] S. Sun *et al.*, “Past and future trends of vehicle emissions in Tianjin, China, from 2000 to 2030,” *Atmos. Environ.*, vol. 209, pp. 182–191, Jul. **2019**.
- [75] I. Ari and M. Aydinalp Koksall, “Carbon dioxide emission from the Turkish electricity sector and its mitigation options,” *Energy Policy*, vol. 39, no. 10, pp. 6120–6135, Oct. **2011**.
- [76] “COPERT 4: Computer programme to calculate emissions from road transport.” https://www.researchgate.net/publication/235961602_COPERT_4_Computer_programme_to_calculate_emissions_from_road_transport. [Erişim tarihi: **16-Mar-2020**].
- [77] F. Corriere, M. Guerrieri, D. Ticali, and A. Messineo, “Estimation of air pollutant emissions in flower roundabouts and in conventional roundabouts,” *Arch. Civ. Eng.*, vol. 59, no. 2, pp. 229–246, Jun. **2013**.
- [78] B. İçin and H. Yılmaz, “Türkiye 2015 Yılı İklim Verileri Haber Bülteni T.C Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü.” https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi_istatistikler/Turkiye_2015_iklim_verileri_haber_bulteni.pdf [Erişim tarihi: **14-Ağu-2018**]
- [79] “Consumer price index (2010 = 100) - Turkey | Data.” <https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL?end=2018&locations=TR&start=1960&view=chart>. [Erişim tarihi: **10-Oca-2020**].
- [80] K. Ricke, L. Drouet, K. Caldeira, and M. Tavoni, “Country-level social cost of carbon,” *Nat. Clim. Chang.*, vol 8, no. 10, pp. 895-900, Oct **2018**.
- [81] “Report of the High-Level Commission on Carbon Prices — Carbon Pricing Leadership Coalition.” <https://www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-highlevel-commission-on-carbon-prices>. [Erişim tarihi: **10-Oca-2020**].
- [82] F. Hurley, A. Hunt, H. Cowie *et al.*, “Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme.” vol 2. no 1. pp 1-149, **2005**
- [83] OECD, “Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental , Health and Transport Policies: Policy Implications,” Paris, **2011**.
- [84] P. Bickel, R. Friedrich “ExternE Externalities of Energy, Methodology 2005 Update.” Germany, **2005**
- [85] “RICARDO-AEA Update of the Handbook on External Costs of Transport.” Final report, **2014**
- [86] “EPDK | Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.” <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>. [Erişim tarihi: **15-Oca-2020**].
- [87] P. Watkiss, S. Pye, and M. Holland, “CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020 April 2005 Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme,” **2005**.
- [88] W. Health Organization and R. Office for Europe, “Health risks of air pollution in

Europe – HRAPIE project, Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide,” **2013**.

- [89] M. E. Héroux *et al.*, “Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project,” *Int. J. Public Health*, vol. 60, no. 5, pp. 619–627, Jul. **2015**.
- [90] S. Hong, Y. Chung, J. Kim, and D. Chun, “Analysis on the level of contribution to the national greenhouse gas reduction target in Korean transportation sector using LEAP model,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 549–559, Jul. **2016**.

EKLER

EK 1 – Araç Bilgileri

Ek 1.1. 2013 yılındaki araçların yaş gruplarındaki araç sayıları [46]

Yaş Grubu	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel Amaçlı	Traktör	Toplam
0-5	3.100.052	106.438	79.926	1.227.504	193.495	853.856	9.910	253.411	5.824.592
6-10	1.696.073	105.799	54.451	887.853	158.674	995.074	7.236	152.837	4.057.997
11-15	1.408.542	102.709	29.449	370.585	112.213	129.878	5.845	147.648	2.306.869
16-20	1.441.064	52.668	23.818	218.112	116.225	188.329	4.483	192.046	2.236.745
≥21	1.638.192	54.234	32.241	228.996	175.343	555.689	8.674	819.875	3.513.244
Ort. Yaş	11,8	11,9	10,9	8,8	14,2	11,5	14,2	22,7	12,3

Ek-1.2. 2014 yılındaki araçların yaş grubuna göre sayıları [44]

Yaş Grubu	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel Amaçlı	Traktör	Toplam
0-5	3.308.952	108.424	62.496	1.163.275	196.490	910.047	11.906	280.489	6.042.079
6-10	1.933.646	113.981	63.792	1.030.778	175.734	1.055.500	8.903	174.680	4.557.014
11-15	1.201.540	83.882	24.570	323.168	81.916	113.966	5.033	102.992	1.937.067
16-20	1.410.185	62.486	24.242	284.327	130.774	153.796	5.506	220.164	2.291.480
≥21	2.003.592	58.491	36.100	260.931	188.814	595.157	9.383	848.613	4.001.081
Ort. Yaş	12,0	12,0	11,7	9,3	14,3	11,6	13,6	22,8	12,5

Ek-1.3. 2015 yılındaki araçların yaş grubuna göre sayıları [44]

Yaş Grubu	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel Amaçlı	Traktör	Toplam
0-5	3.739.953	124.857	61.554	1.213.214	211.872	974.393	16.696	334.230	6.676.769
6-10	1.818.365	105.143	63.274	993.796	164.459	1.030.455	9.200	159.941	4.344.633
11-15	1.365.045	86.069	28.532	427.387	95.284	167.872	5.183	96.382	2.271.754
16-20	1.333.502	70.025	25.469	323.899	131.431	151.431	5.975	227.549	2.269.281
≥21	2.332.472	63.119	38.227	297.003	201.273	614.213	8.678	877.050	4.432.035
Ort. Yaş	12,1	12,0	11,9	9,7	14,5	11,9	11,8	22,9	12,7

Ek-1.4. 2016 yılındaki araçların yaş grubuna göre sayıları [44]

Yaş Grubu	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel Amaçlı	Traktör	Toplam
0-5	4.098.257	134.749	67.935	1.231.207	226.908	1.003.660	20.241	383.010	7.165.967
6-10	1.807.347	94.809	54.134	949.439	141.697	865.561	8.859	150.356	4.072.202
11-15	1.370.690	83.604	30.334	555.479	106.475	354.196	5.782	105.291	2.611.851
16-20	1.513.232	85.209	29.219	391.494	139.444	159.398	6.807	216.968	2.541.771
≥21	2.528.472	65.562	38.739	314.864	210.810	620.918	9.129	910.139	4.698.633
Ort. Yaş	12,2	12,4	12,2	10,1	15,0	12,4	11,6	22,9	12,9

Ek 1.5. 2017 yılındaki araçların yaş gruplarındaki araç sayıları [44]

Yaş grubu	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel Amaçlı	Traktör	Toplam
0-5	4.122.956	128.534	67.625	1.144.082	202.930	962.176	23.618	392.834	7.044.755
6-10	2.076.059	96.667	50.639	996.716	142.808	642.822	9.958	172.291	4.187.960
11-15	1.490.599	90.131	34.756	721.292	130.615	714.005	7.629	125.443	3.314.470
16-20	1.600.573	92.091	28.904	428.769	135.598	144.019	8.118	193.651	2.631.723
≥21	2.745.791	71.195	39.961	351.766	226.767	639.778	10.776	954.003	5.040.037
Ort. Yaş	12,4	12,7	12,5	10,5	15,5	12,7	11,7	22,9	13,1

Ek 1.6. 2018 yılındaki araçların yaş gruplarındaki araç sayıları [47]

Yaş grubu	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel Amaçlı	Traktör	Toplam
0-5	3.840.344	109.435	59.642	980.053	167.166	880.585	22.653	367.816	6.427.694
6-10	2.577.659	109.267	52.631	1.101.057	163.285	693.674	11.414	212.981	4.921.968
11-15	1.697.488	106.421	40.325	872.916	155.143	852.763	9.477	152.815	3.887.348
16-20	1.407.506	81.032	23.402	379.805	107.744	116.971	7.491	148.347	2.272.298
≥21	2.875.193	81.372	42.523	421.749	252.124	667.335	12.324	1.003.993	5.356.613
Ort. Yaş	12,6	13,1	12,9	11,0	15,9	13,1	12,2	23,2	13,4

EK 2 – Modelde Kullanılan Veriler

Çalışmada kaydı yapılan araç tahmini için kullanılan verilerin değerleri bu ekte verilmiştir.

Yıl	Nüfus	İstihdam	İşsizlik	İşsizlik Oranı
1994	57.564.132	20.006.000	1.870.000	8,013
1995	58.486.381	20.585.000	1.700.000	7,109
1996	59.423.208	21.195.000	1.502.000	6,124
1997	60.372.499	21.202.000	1.551.000	6,318
1998	61.329.590	21.779.000	1.606.000	6,373
1999	62.287.326	22.048.000	1.829.000	7,155
2000	63.240.121	21.582.000	1.497.000	5,997
2001	64.191.474	21.524.000	1.967.000	7,804
2002	65.143.054	21.353.000	2.464.000	9,764
2003	66.085.803	21.145.000	2.493.000	9,925
2004	67.007.855	19.632.000	2.385.000	9,688
2005	67.903.406	20.067.000	2.388.000	9,488
2006	68.763.405	20.422.000	2.328.000	9,034
2007	69.597.281	20.738.000	2.377.000	9,183
2008	70.440.032	21.194.000	2.611.000	10,02
2009	71.339.185	21.278.000	3.471.000	13,053
2010	72.326.914	22.594.000	3.046.000	11,127
2011	73.409.455	24.110.000	2.615.000	9,096
2012	74.569.867	24.821.000	2.518.000	8,432
2013	75.787.333	25.522.000	2.747.000	9,041
2014	77.030.628	25.932.000	2.853.000	9,915
2015	78.271.472	26.621.000	3.057.000	10,279
2016	79.512.426	27.205.000	3.330.000	10,907
2017	80.745.020	28.189.000	3.454.000	10,904

Yıl	GSYH-TL	GSYH-Dolar	TUFE	Enflasyon
1994	558.471.000.000	130.690.172.297	0,69	1,19
1995	598.625.000.000	169.485.941.048	1,30	2,26
1996	640.571.000.000	181.475.555.283	2,35	4,07
1997	688.791.000.000	189.834.649.111	4,37	7,55
1998	710.091.000.000	275.768.695.819	8,06	13,94
1999	686.024.000.000	255.884.300.382	13,29	22,99
2000	731.577.000.000	272.979.390.595	20,59	35,64
2001	687.958.000.000	200.251.925.587	31,80	54,97
2002	732.195.000.000	238.428.126.327	46,10	79,79
2003	773.259.000.000	311.823.003.531	56,05	100,00
2004	847.834.000.000	404.786.740.091	60,87	108,60
2005	924.223.000.000	501.416.301.727	65,85	117,48
2006	989.933.000.000	552.486.912.846	72,17	128,76
2007	1.039.731.000.000	675.770.112.825	78,49	140,03
2008	1.048.519.000.000	764.335.657.318	86,69	154,66
2009	999.192.000.000	644.639.902.581	92,11	164,32
2010	1.083.997.000.000	771.901.768.698	100,00	178,40
2011	1.204.467.000.000	832.523.681.194	106,47	189,95
2012	1.262.160.000.000	873.982.246.102	115,94	206,84
2013	1.369.334.000.000	950.579.413.279	124,63	222,33
2014	1.440.083.000.000	934.185.915.467	2.853.000	9,915
2015	1.527.725.000.000	859.796.872.794	3.057.000	10,279
2016	1.576.365.000.000	863.721.647.959	3.330.000	10,907

2017	1.693.666.000.000	851.102.411.118	3.454.000	10,904
------	-------------------	-----------------	-----------	--------

Yıl	Dolar Satış	Yatırım Oranı	Tasarruf Oranı	Benzin Dolar	Dizel Dolar	Benzin TL
1994	0,03	21,41	20,56	0,545	0,400	0,016
1995	0,05	24,05	20,61	0,636	0,413	0,029
1996	0,08	22,62	20,47	0,689	0,497	0,056
1997	0,15	23,01	20,78	0,765	0,521	0,117
1998	0,26	23,86	25,50	0,735	0,457	0,193
1999	0,42	21,34	21,49	0,867	0,565	0,366
2000	0,63	23,80	20,84	0,933	0,695	0,585
2001	1,23	18,14	20,69	0,807	0,597	0,994
2002	1,51	21,24	21,67	0,976	0,725	1,477
2003	1,50	22,47	19,92	1,201	0,927	1,801
2004	1,43	25,21	21,48	1,374	1,080	1,963
2005	1,35	27,03	22,86	1,890	1,459	2,546
2006	1,44	29,57	23,95	1,942	1,555	2,793
2007	1,31	28,71	23,25	2,215	1,771	2,897
2008	1,30	28,94	23,98	2,471	2,212	3,210
2009	1,55	23,02	21,43	2,018	1,677	3,138
2010	1,51	26,97	21,33	2,456	2,041	3,703
2011	1,68	31,27	22,45	2,510	2,201	4,212
2012	1,80	28,30	22,79	2,513	2,243	4,526
2013	1,91	29,77	23,18	2,513	2,284	4,788
2014	2,19	29,03	24,41	2,205	1,996	4,834
2015	2,72	28,36	24,78	1,656	1,425	4,513
2016	3,03	28,23	24,47	1,510	1,279	4,570
2017	3,65	30,97	25,47	1,463	1,286	5,345

Yıl	Dizel TL	MB Faiz Oranı	İskonto Oranı	Depozito	HurdaYılı	Kriz Yılı
1994	0,012	92,04	55,00	87,79	0,00	0,00
1995	0,019	106,31	50,00	75,97	0,00	0,00
1996	0,041	73,99	50,00	80,75	0,00	0,00
1997	0,080	78,04	67,00	79,49	0,00	0,00
1998	0,120	78,97	67,00	80,11	0,00	0,00
1999	0,238	69,97	60,00	78,43	0,00	0,00
2000	0,436	183,20	60,00	47,16	0,00	0,00
2001	0,735	59,00	60,00	74,70	0,00	0,00
2002	1,097	44,00	55,00	50,49	0,00	0,00
2003	1,391	26,00	43,00	37,68	0,00	0,00
2004	1,543	18,00	38,00	24,26	1,00	0,00
2005	1,965	13,50	23,00	20,40	0,00	0,00
2006	2,236	17,50	27,00	21,65	0,00	0,00
2007	2,316	15,96	25,00	22,56	0,00	0,00
2008	2,873	15,63	25,00	22,91	0,00	1,00
2009	2,607	6,50	15,00	17,65	0,00	0,00
2010	3,077	1,63	14,00	15,27	0,00	0,00
2011	3,693	5,00	17,00	14,22	0,00	0,00
2012	4,040	5,00	13,50	16,35	0,00	0,00
2013	4,352	3,50	10,25	15,76	0,00	0,00
2014	4,375	7,50	9,00	16,77	0,00	0,00
2015	3,883	7,25	9,00	14,92	0,00	0,00
2016	3,873	7,25	8,75	14,61	0,00	0,00
2017	4,699	7,25	8,75	15,29	0,00	0,00

EK 3 – Emisyon Bilgileri

Çalışmada hesaplanan sera gazı emisyonları ton CO₂ eşdeğer cinsinden verilmiştir

	ODS			
	CO ₂	CH ₄	NO ₂	Toplam
2019	84.288.957	95.222	893.522	85.277.701
2020	86.483.332	101.535	916.690	87.501.557
2021	89.993.269	107.583	947.709	91.048.562
2022	93.338.871	111.059	1.006.659	94.456.588
2023	98.624.211	113.694	1.065.608	99.803.513
2024	103.326.603	117.696	1.105.375	104.549.674
2025	106.653.782	121.697	1.138.133	107.913.613
2026	110.479.914	127.824	1.180.461	111.788.200
2027	114.052.808	135.525	1.214.451	115.402.783
2028	117.845.142	143.384	1.271.372	119.259.899
2029	123.213.768	155.266	1.329.764	124.698.798
2030	131.155.802	173.727	1.388.760	132.718.289

	Senaryo 1			
	CO ₂	CH ₄	NO ₂	Toplam
2019	84.251.093	95.218	892.777	85.239.088
2020	86.463.741	101.056	916.391	87.481.187
2021	89.085.147	106.802	947.465	90.139.414
2022	92.711.496	109.771	999.755	93.821.022
2023	98.142.754	111.901	1.062.896	99.317.550
2024	103.048.616	114.213	1.103.720	104.266.548
2025	106.389.921	116.525	1.137.499	107.643.945
2026	110.041.088	120.772	1.165.254	111.327.114
2027	113.446.962	128.445	1.187.926	114.763.334
2028	117.130.061	133.795	1.216.579	118.480.435
2029	121.207.906	138.821	1.251.542	122.598.268
2030	125.575.596	143.240	1.286.811	127.005.647

	Senaryo 2			
	CO ₂	CH ₄	NO ₂	Toplam
2019	84.251.093	95.218	892.777	85.239.088
2020	86.367.462	101.524	914.415	87.383.401
2021	88.736.402	107.559	942.716	89.786.677
2022	91.866.561	111.011	996.699	92.974.270
2023	96.844.437	113.622	1.050.682	98.008.741
2024	100.962.109	116.200	1.079.198	102.157.507
2025	103.502.337	118.777	1.098.073	104.719.187
2026	106.308.104	123.345	1.121.601	107.553.050
2027	108.703.251	130.944	1.132.989	109.967.184
2028	111.478.914	137.524	1.145.658	112.762.096
2029	114.453.472	143.975	1.162.377	115.759.824
2030	117.687.877	151.047	1.182.468	119.021.392

Senaryo 3				
	CO₂	CH₄	NO₂	Toplam
2019	84.238.004	95.217	892.519	85.225.740
2020	86.314.779	101.519	913.380	87.329.678
2021	88.628.729	107.549	940.621	89.676.899
2022	91.675.015	110.990	992.309	92.778.313
2023	96.484.990	113.591	1.043.997	97.642.577
2024	100.424.498	116.147	1.069.114	101.609.758
2025	102.660.106	118.703	1.082.373	103.861.181
2026	105.081.828	123.194	1.098.972	106.303.994
2027	107.563.673	128.583	1.113.071	108.805.327
2028	110.125.355	133.951	1.128.947	111.388.253
2029	112.708.205	139.193	1.144.088	113.991.486
2030	115.083.297	143.464	1.153.135	116.379.896

Çalışmada hesaplanan kirletici emisyonları ton cinsinden senaryolar bazında verilmiştir.

ODS					
	CO	NO_x	NO₂	PM_{2,5}	SO₂
2019	356.847	261.463	46.731	24.239	9.234
2020	376.155	261.690	45.664	24.687	9.564
2021	398.408	262.452	45.069	25.154	10.055
2022	421.661	263.677	44.156	25.669	10.599
2023	444.207	264.518	43.423	26.239	11.281
2024	457.021	265.759	42.525	26.632	12.016
2025	468.816	266.606	41.897	26.976	12.711
2026	488.241	267.713	40.965	27.437	13.325
2027	518.299	268.489	40.309	27.907	13.990
2028	548.357	269.018	39.701	28.293	14.719
2029	587.038	270.362	39.133	28.692	15.584
2030	625.719	271.151	38.326	29.080	16.507

Senaryo 1					
	CO	NO_x	NO₂	PM_{2,5}	SO₂
2019	356.824	261.404	46.713	24.236	9.231
2020	370.575	258.043	45.339	23.533	9.600
2021	384.279	254.501	44.478	22.789	10.148
2022	398.982	249.655	43.243	22.136	10.773
2023	411.604	244.881	42.228	21.506	11.536
2024	416.001	240.657	40.811	20.808	12.290
2025	418.798	236.167	39.218	20.160	13.027
2026	420.355	231.057	37.571	19.381	13.794
2027	424.060	226.390	36.255	18.665	14.527
2028	427.766	220.880	35.330	18.037	15.332
2029	430.967	214.798	34.668	17.338	16.310
2030	434.169	209.714	33.774	16.770	17.281

Senaryo 2					
	CO	NO_x	NO₂	PM_{2.5}	SO₂
2019	356.824	261.402	46.712	24.236	9.231
2020	376.083	260.502	45.606	24.315	9.557
2021	398.213	259.241	44.941	24.393	10.039
2022	421.343	258.329	43.924	24.470	10.570
2023	443.749	257.294	43.043	24.549	11.232
2024	456.071	256.680	41.882	24.627	11.889
2025	467.393	255.355	40.892	24.706	12.476
2026	484.284	254.842	39.490	24.785	13.085
2027	513.578	253.968	38.293	24.863	13.676
2028	542.873	252.827	37.402	24.941	14.280
2029	572.856	252.122	36.616	25.020	14.929
2030	602.838	251.560	35.483	25.099	15.653

Senaryo 3					
	CO	NO_x	NO₂	PM_{2.5}	SO₂
2019	356.816	261.380	46.706	24.235	9.231
2020	376.050	260.316	45.579	24.311	9.553
2021	398.126	258.998	44.887	24.385	10.032
2022	421.201	257.825	43.829	24.458	10.558
2023	443.532	256.752	42.976	24.523	11.109
2024	455.187	255.560	41.628	24.589	11.716
2025	465.842	254.080	40.498	24.662	12.322
2026	483.543	253.211	39.186	24.737	12.848
2027	509.526	252.077	37.993	24.807	13.353
2028	535.509	251.555	37.014	24.879	13.923
2029	562.629	250.748	36.250	24.930	14.518
2030	589.749	249.874	35.198	24.964	15.084