

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DEKİ OTOMOBİL FİLOSUNUN ELEKTRİKLİ ARAÇLARLA
DEĞİŞTİRİLMESİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDA BAŞPINAR

MAYIS 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KARA TAŞITLARININ HAVA KALİTESİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDA BAŞPINAR

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Özgür ZEYDAN

ZONGULDAK
MAYIS 2019

KABUL:

Eda BAŞPINAR tarafından hazırlanan “Türkiye’deki Otomobil Filosunun Elektrikli Araçlarla Değiştirilmesinin Çevresel Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
03/05/2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür ZEYDAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye : Prof. Dr. Süreyya ALTIN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye : Prof. Dr. Aykan KARADEMİR

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım./...../2019

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Eda BAŞPINAR



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE'DEKİ OTOMOBİL FİLOSUNUN ELEKTRİKLİ ARAÇLARLA DEĞİŞTİRİLMESİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Eda BAŞPINAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Özgür ZEYDAN

Mayıs 2019, 99 sayfa

Ulaştırma sektörü, malların ve hizmetlerin taşınması ve insanların ihtiyaçlarının karşılanmasına olanak sağlamakta olup ekonominin ve işgücünün temel yapı taşı oluşturmaktadır. Küresel çapta üretim ve ticareti desteklemekte, olup ekonomik gelişme ve büyümenin vazgeçilmez bir unsuru olmaktadır. Dünya genelinde ulaşım, büyük oranda fosil yakıtlara bağımlıdır ve sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır. Buna ek olarak farklı hava kirlleticilerinin de salınmasıyla yerel hava kirliliği yaratmaktadır. Türkiye'deki kara yolu ulaşım sektöründen kaynaklanan kirlenici emisyonlar, yeni emisyon standartları sayesinde yıllar içinde azalma göstermekte olmasına rağmen sektörün sera gazı emisyonları büyük miktarda artış göstermiştir. Bu nedenle, kara yolu ulaşım sektöründen kaynaklanan emisyonları azaltmak için yenilikçi, çevreci ve sürdürülebilir ulaşım stratejileri uygulamak çok önemlidir. Kara yolu ulaşım sektörünün sürdürülebilirliği alternatif yakıtlara ve elektrikli araçlara dayanmaktadır. Biyodizel ve biyoetanol gibi alternatif yakıtlar, motorlu taşıtlarda uzun yıllardır kullanılmakta olup bu yakıtların kullanılması azot oksitler haricindeki hava

ÖZET (devam ediyor)

kirleticilerinin salınımında azalma sağlayabilmektedir. Ancak alternatif yakıtların üretimi çoğunlukla yerel tarımsal faaliyetlere bağlı olduğundan dünyanın her yerinde aynı derecede yaygın değildir. Elektrikli araçlar, kara yolu ulaşımının sürdürülebilirliği için umut verici bir seçenektir. Hibrit araçlar hem elektrik motorunu hem de içten yanmalı motoru kullanarak az da olsa fosil yakıt tüketmekte, olup tam elektrikli araçlar ise çalışmak için sadece elektriğe ihtiyaç duymaktadır. İhtiyaç duyulan elektriğin de yenilenebilir bir enerji kaynağından karşılanması durumunda elektrikli araçlar ile ulaşım, sera gazı emisyonu ve diğer hava kirleticilerinin salınmasının önüne geçerek ulaşımın daha çevreci ve sürdürülebilir olmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada, motorlu kara taşıtlarından kaynaklanan hava kirliliği problemi üzerinde durulmuş ve Türkiye'deki kara yolu ulaşım sektöründen kaynaklanan emisyonlar hakkında bilgiler verilmiştir. Kara yolu ulaşım sektörünün sürdürülebilirlik seçenekleri alternatif yakıtlara ve elektrikli araçlara odaklanarak yorumlanmış olup karar vericiler, üretici ve tüketiciler için karayolu ulaşım sektörünün sürdürülebilirliği hakkında öneriler de mevcuttur.

Ayrıca, Türkiye'deki otomobillerin mevcut durumdaki emisyonları hesaplanmıştır. İki farklı senaryo ile elektrikli araçlara geçiş yapılmasının kirletici emisyonları ve kaynak tüketimini azaltma potansiyelinin ortaya koyulması için hesaplamalar yapılmıştır. Elektrikli araçlar için ihtiyaç duyulan elektriğin fosil kaynaklardan veya yenilenebilir kaynaklardan karşılanması ile emisyon miktarlarında ve kaynak tüketimindeki farklar rakamsal olarak ortaya koyulmuştur.

Otomobillerin çevresel etkilerinin geniş bir bakış açısı ile analizinin yapılması için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) önemli bir araçtır ve çevresel etkilerin somut olarak ifade edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada LCA, ReCiPe 2016 v1.1 metoduna göre yapılmış olup yenilenebilir temelli sistemlere dayalı olan çevresel sürdürülebilirlik aracı olarak kullanımı üzerinde durulmaktadır. Analizin kapsamı otomobillerin kullanım aşamasını içermektedir.

Ayrıca çalışmada, içten yanmalı motorlu otomobiller yerine elektrikli araçların kullanılması ile ilgili iki farklı senaryo belirlenerek hesaplamalar yapılmıştır. Türkiye'deki mevcut otomobillerin durumu ve emisyonları hesaplanmış, olup Senaryo 1 ve 2 ile filonun

ÖZET (devam ediyor)

elektriklendirilmesi sonucunda yenilenebilir enerji ihtiyacı ve küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, partikül madde oluşumu, yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları, karasal asidifikasyon ve fosil kaynak tükenmesi olarak 6 etki kategorisi için hesaplamalar yapılarak belirtilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda, Senaryo 1 için elde edilen kirletici emisyon miktarları mevcut duruma göre oldukça yüksek olmakla birlikte etki kategorilerinden karasal asidifikasyon (SO₂) ve fosil kaynakların tükenmesi (kömür) için fazladan emisyon ve kaynak tüketimine sebep olduğunu göstermiştir. Senaryo 2 için yapılan hesaplama sonuçları ise oldukça umut verici olup tüm etki kategorileri için emisyonların ve orta nokta skorlarının tamamında %5 oranında azalma sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alternatif yakıtlar, çevresel etkiler, elektrikli araçlar, motorlu taşıtlar, sürdürülebilir kara yolu ulaşımı, yaşam döngüsü değerlendirmesi

Bilim Kodu: 615.02.02



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF CHANGING THE ELECTRIC VEHICLES CAR FLEET IN TURKEY

Eda BAŞPINAR

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr Özgür ZEYDAN

May 2019, 99 pages

The transportation sector enables the transportation of goods and services and meets the needs of the people and constitutes the basic building block of the economy and labour. It promotes global production and trade and is an indispensable element of economic development and growth. Transportation across the world is largely dependent on fossil fuels and causes greenhouse gas emissions. In addition, it creates local air pollution by releasing different air pollutants.

Pollutant emissions from road transport sector in Turkey have decreased over years due to the new emission standards, while the greenhouse gas emissions of the sector have increased significantly over the years.

Therefore, it is very important to implement innovative, environmental friendly and sustainable transportation strategies to reduce emissions from the road transport sector. The sustainability of the road transport sector is based on alternative fuels and electric vehicles.

ABSTRACT (continued)

Alternative fuels such as biodiesel and bioethanol have been used for many years in motor vehicles, and the use of these fuels can lead to a reduction in the release of air pollutants other than nitrogen oxides. However, as the production of alternative fuels is mostly dependent on local agricultural activities, it is not as common in all parts of the world. Electric vehicles are a promising option for the sustainability of road transport.

Hybrid vehicles consume a small amount of fossil fuel, both by using an electric motor and an internal combustion engine, and full electric vehicles only need electricity to operate. If the required electricity is supplied from a renewable energy source, it will ensure the transportation is more green and sustainable by preventing the transmission of electric vehicles, greenhouse gas emissions and other air pollutants. In this study, the problem of air pollution caused by motor vehicles is emphasized. Information provided related to emissions from road transport sector in Turkey. The road transport sector's sustainability options have been interpreted by focusing on alternative fuels and electric vehicles, and there are recommendations for the sustainability of the road transport sector for decision makers, producers and consumers.

In addition, current emissions of automobiles have been calculated in Turkey. Calculations have been made in order to demonstrate the potential for reducing the pollutant emissions and resource consumption by switching to electric vehicles with two different scenarios. Differences in emission amounts and resource consumption have been quantified by the provision of electricity for electric vehicles from fossil sources or from renewable sources.

The Life Cycle Assessment (LCA) is an important tool for the analysis of the environmental impacts of automobiles with a broad view and provides a concrete expression of environmental impacts. In this study, LCA is constructed according to ReCiPe 2016 v1.1 method and its use as an environmental sustainability tool based on renewable based systems is emphasized. The scope of the analysis includes the use of automobiles.

Two different scenarios related to the use of electric vehicles instead of internal combustion engines were determined and calculations were made. In addition, current emissions of

ABSTRACT (continued)

automobiles have been calculated in Turkey. As a result of the electrification of the fleet with Scenario 1 and 2, the need for renewable energy and global warming, ground level ozone formation, particulate matter formation, ecosystem damage to ground level ozone, terrestrial acidification and fossil resource depletion were calculated for 6 effect categories.

As a result of the calculations, although the amount of pollutant emissions obtained for Scenario 1 is considerably higher than the current situation, it has been shown that the effect categories cause additional emissions and resource consumption for terrestrial acidification (SO₂) and depletion of fossil resources (coal). The calculation results for Scenario 2 are highly promising and a 5% reduction in emissions and midpoint scores for all categories of impacts has been achieved.

Keywords: Alternative fuels, environmental impacts, electric vehicles, motor vehicles, sustainable road transport, life cycle assessment

Science Code: 615.02.02



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimin süresince her zaman teorik ve pratik olarak kıymetli bilgi ve deneyimlerini paylaşan tez danışmanım değerli hocam Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyesi Sn. Dr. Öğr. Üyesi Özgür ZEYDAN'a ve Sn. Prof. Dr. Süreyya ALTIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve bana her zaman güç veren sevgili eşim Cem BAŞPINAR'a ve canım oğlum Kerem BAŞPINAR'a sonsuz sevgilerimle...



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 MOTORLU TAŞITLAR VE HAVA KİRLİLİĞİ.....	7
BÖLÜM 3 DÜNYA ENERJİSİNİN MEVCUT DURUMU	9
3.1 KÜRESEL PETROL REZERVLERİ.....	10
3.2 KÜRESEL PETROL REZERVLERİNİN ÖMRÜ.....	10
3.3 DIŞA BAĞIMLILIK	11
BÖLÜM 4 ALTERNATİF YAKITLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	13
4.1 BİYODİZEL	13
4.2 BİYOETANOL	17
4.3 İKİNCİ JENERASYON BİYOYAKITLAR.....	19
BÖLÜM 5 ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	21

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.1 HİBRİT ARAÇLAR (HEV).....	23
5.1.1 Seri HEV.....	24
5.1.2 Paralel HEV	24
5.1.3 Seri-Paralel HEV	24
5.2 FİŞLİ (PLUG-İN) HEV.....	25
5.3 BATARYALI ELEKTRİKLİ ARAÇLAR (BEV).....	26
5.4 YAKIT HÜCRELİ ELEKTRİKLİ ARAÇLAR (FCEV).....	27
BÖLÜM 6 LİTERATÜR TARAMASI	29
BÖLÜM 7 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ (LCA)	41
7.1 LCA METODOLOJİSİ	41
7.1.1 Amaç ve Kapsam Tanımı.....	42
7.1.2 Envanter Analizi	43
7.1.3 Etki değerlendirme.....	44
7.1.4 Yorum	45
7.2 ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN GÖSTERGELERİ OLARAK LCIA ETKİ KATEGORİLERİ.....	46
7.2.1 CML 2 Baseline Method.....	47
7.2.2 EPS 2000 Method (Çevresel Öncelik Stratejileri (EPS) 2000)	48
7.2.3 Eco-gösterge 99	48
BÖLÜM 8 MATERYAL VE METOT	49
8.1 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ - AMAÇ VE KAPSAM	49
8.2 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ - ENVANTER ANALİZİ.....	52
8.3 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ - ETKİ DEĞERLENDİRMESİ.....	52
8.3.1 Etki yolları ve Koruma Alanları	53
8.3.2 Değerlerin Seçimi	53

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
8.3.3 Orta nokta seviyesindeki karakterizasyon faktörleri.....	54
8.4 EMİSYON ENVANTERİ.....	57
BÖLÜM 9 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61
BÖLÜM 10 SONUÇLAR.....	83
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ	99





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Türkiye Öz Yeterlilik.	12
Şekil 4.1 Biyodizel Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisi.	17
Şekil 5.1 Araçların Sınıflandırılması.	22
Şekil 7.1 Bir Ürünün Yaşam Döngüsündeki Aşamaları	42
Şekil 8.1 Kuyudan Tekerleğe Analizindeki Aşamalar	50
Şekil 8.2 Bir EV ve ICEV'e ait Sistem Sınırları.	51
Şekil 8.3 ReCiPe 2016 v1.1 Metoduna Göre Çalışmanın Etki Kategorilerine Genel Bakış.	54
Şekil 9.1 Mevcut Durum, Senaryo 1 ve Senaryo 2 Orta Nokta Skorları.	72



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Yakıt Türüne Göre Otomobillerin Sayısı.....	2
Çizelge 2.1 Motorlu Taşıtlarda Emisyon Kaynakları ve Hava Kirleticileri.....	7
Çizelge 3.1 Küresel Petrol Üretimi ve Tüketimi.....	10
Çizelge 5.1 ICEV'ler ile EV'lerin Karşılaştırılması.....	23
Çizelge 8.1 Son Nokta Kategorileri, Göstergeler ve Karakterizasyon Faktörleri.....	53
Çizelge 8.2 Orta Nokta Kategorileri ve Göstergeleri.....	55
Çizelge 8.3 ReCiPe 2016 v1.1 Etki Kategorileri ve Üç Bakış Açısına Göre Karakterizasyon Faktörleri.....	55
Çizelge 8.4 Yakıt Türüne Göre Ortalama Yakıt Tüketimi.....	56
Çizelge 8.5 Ham Petrolden Üretilen Akaryakıt Miktarları.....	56
Çizelge 8.6 Otomobil Firmalarının Saatte Ortalama Elektrik Tüketim Miktarları.....	57
Çizelge 8.7 Emisyon Envanteri (Ortalama).....	58
Çizelge 8.8 Termik Santrallere Ait Emisyon Faktörleri.....	59
Çizelge 9.1 Yakıt Cinsine Göre Yıllık Emisyon Miktarı.....	62
Çizelge 9.2 Mevcut Durum Orta Nokta Skorları.....	63
Çizelge 9.3 Otomobillerin %5'inin FEV Olması.....	65
Çizelge 9.4 Tüm otomobillerin (benzin, dizel, LPG) %95'inin emisyon miktarları.....	66
Çizelge 9.5 Senaryo 1 Orta Nokta Skoru.....	69
Çizelge 9.6 Mevcut Durum, Senaryo 1 ve 2 Orta Nokta Skoru.....	71



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO ₂	: Karbon dioksit
CH ₄	: Metan
N ₂ O	: Diazot monoksit
CO	: Karbon monoksit
NO _x	: Azot oksitler
UOB	: Uçucu organik bileşikler
PM	: Partikül Madde
O ₃	: Ozon
NMVOOC	: Metan dışı uçucu organik bileşikleri
SO ₂	: Kükürt dioksit
SO ₃	: Kükürt trioksit

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AF	: Aktivite Faktörü
AoP	: İklim Değişikliği Yasası ve Parlamento Etkinlikleri (İngiltere)
AS	: Araç Sayısı
B	: Bireysel bakış açısı
BDT	: Bağımsız Devletler Topluluğu
BEV	: Bataryalı Elektrikli Araç
CCC	: İklim Değişikliği Komitesi
ÇYS	: Çevre Yönetim Sistemleri
DALY	: İşlev Kaybına Uyarlanmış Yaşam Yılları
E	: Emisyon Miktarı
E	: Eşitlikçi bakış açısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

EEA	: Avrupa Çevre Ajansı
EF	: Emisyon Faktörü
EIA	: Enerji Bilgi Yönetim Kurumu
EMAS	: Eko-Yönetim ve Denetim Programları (AB)
ER	: Giderim Verimi (%)
EV	: Elektrikli Araç
FAME	: Yağ asiti metil esterleri
FCEV	: Yakıt Hücreli Elektrikli Araç
FFV	: Esnek Yakıtlı Araç
GWh	: Giga Watt saat
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
H	: Hiyerarşist bakış açısı
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç
ICE	: İçten Yanmalı Motor
ICEV	: İçten Yanmalı Motorlu Araç
IEA	: Uluslar arası Enerji Ajansı
IPPC	: Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü
ISO	: Uluslar arası Standart Örgütü
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
LCI	: Yaşam Döngüsü Envanteri
LCIA	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MJ	: Mineral ve fosil kaynaklara verilen zarar
Mtpe	: Milyon ton petrol eşdeğeri
MWh	: Mega Watt saat
OPEC	: Petrol İhraç eden Ülkeler Örgütü
PDF	: Potansiyel olarak kaybolan kısım
PHEV	: Fişli (Plug-in) Hibrit Araç
TaaS	: Servis olarak ulaşım (transport as a service)
TP	: Türkiye Petrolleri
TTW	: Tanktan Tekere

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TWh	: Tera Watt saat
WTT	: Kuyudan Tanka
WTW	: Beşikten Mezara (kuyudan tekere)





BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde fosil yakıtlar diğer bir deyişle yenilenemeyen enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerji vb.) ve yenilenebilir enerji kaynakları (bitki atıkları, hayvan dışkısı, güneş, rüzgâr, jeotermal enerji, hidrojen, hidrolik, gelgit ve dalga enerjisi vb.) olarak sınıflandırılmaktadır. Dünya genelinde ısınma ihtiyacı, ulaşım, taşımacılık, endüstriyel faaliyetler ve diğer birçok durumda temel enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanılması çevre sorunlarını önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle petrol ve doğalgaz gibi rezerv ömrü sınırlı olan yakıtların azalmasıyla maliyetlerin artmasının sosyal ve ekonomik açıdan ciddi sonuçlar doğurması söz konusudur. Diğer taraftan fosil yakıtların kullanılması sonucunda meydana gelen sera gazı emisyonları gibi zararlı emisyonların çevre üzerine olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte enerji talebi de artmaktadır. Çünkü insanoğlu, teknolojik gelişmelerle birlikte daha konforlu yaşam standartlarına ulaşmış olup enerji tüketimi de artmıştır. Küresel çapta ticaretin gelişmesi, insanların kısa veya uzun mesafe seyahat ihtiyacı da ulaşım sektörüne kısa vadede akut çözümler bulunması yönünde, uzun vadede ise çevresel problemlerden dolayı daha çevreci çözümler bulunması yönünde baskı yapmaktadır. Tüm bunlar ulaşım sorununu da beraberinde getirmektedir. Bunun yanı sıra trafiğe çıkan araç sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu durum ise egzoz emisyonlarını artırmış ve çevre kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir. İklim bilimciler, atmosferdeki karbondioksit (CO_2) konsantrasyonlarının, sanayi öncesi döneme (yaklaşık 280 ppm) kıyasla geçtiğimiz yüzyılda önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. 2019 yılının Nisan ayında CO_2 konsantrasyonu 413,52 ppm olarak ölçülmüş olup bu değer 1800'lü yıllara kıyasla yaklaşık %48 oranında bir konsantrasyon artışını göstermektedir (McGee 2019). Metan (CH_4) ve Diazot monoksit (N_2O) seviyelerinde de önemli artışlar meydana gelmiştir (Igliński and Babiak 2017). Günümüzde, karayolu taşımacılığı, küresel antropojenik CO_2 emisyonlarının önemli bir payından sorumludur (Offer et al. 2010). Bunun başlıca nedeni petrol bazlı yakıtlara olan bağımlılıktır

(Bauer et al. 2015). Eğilim, araç filosunun büyümesiyle artmaktadır. Tüm bu nedenler insanoğlunu iyi bir araç performansı ile birlikte ekonomik ve çevresel açıdan farklı enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Küresel ulaşım, hem dünyada üretilen petrolün önemli bir tüketicisi hem de özellikle karbon dioksit (CO₂) kaynaklı sera gazı emisyonlarının başlıca kaynağıdır. Küresel ulaşım ile ilgili köklü değişimler, hem sera gazı emisyonlarının azaltılması hem de küresel fosil yakıtların (özellikle petrolün) tükenmesinin ve dünyanın giderek daha fazla karşı karşıya olduğu iklim değişikliği sorunlarının çözümünde önemli bir rol oynayabilmektedir. Ayrıca gelecekteki petrol rezervlerinin tükenecek olması da alternatif yakıtlı araçlara (biyodizel ve biyoetanol) ve elektrikli araçlara olan talebi hızlandırmıştır. Biyodizel kullanan elektrikli araçların tarihi 1800'lü yıllara kadar uzanmaktadır. Ancak menzil problemi, ekonomik etkenler ve teknolojik ilerleme/planlama ihtiyacı nedeniyle hızlı bir ilerleme kaydedilmemiştir.

Ülkemizdeki motorlu kara taşıtlarının sayısı son yıllarda hızlı bir artış göstermiştir. Türkiye İstatistik Kurumu Ulaştırma ve Haberleşme İstatistiklerine göre Türkiye'deki motorlu kara taşıt sayısı 1966 yılında 231.977 iken 2018 yılında bu rakam 22.865.921'e ulaşmıştır. 2018 yılsonu itibari ile Türkiye'deki otomobillerin yakıt türleri, benzin, dizel, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve yakıt türü bilinmeyen araçlar olmak üzere dört grupta değerlendirilmektedir. Yakıt türüne göre otomobillerin (hafif binek araçlar) dağılımı Çizelge 1.1'de verilmiştir (TUİK 2018).

Çizelge 1.1 Yakıt Türüne Göre Otomobillerin Sayısı.

Yakıt Türü	Sayısı (adet)	Yüzde (%)
Benzin	3.089.626	24,9
Dizel	4.568.665	36,8
LPG	4.695.717	37,9
Diğer	44.182	0,4
Toplam	12.398.190	100

Yakıt türüne göre otomobillerin %24,9'unu (3.089.626 adet) benzinli araçlar oluştururken %36,8'i (4.568.665 adet) dizel yakıt ve %37,9'u (4.695.717 adet) da LPG kullanmaktadır. Otomobillerin %0,4'ü ise ruhsat işlemlerinde yakıt türü boş bırakılan veya sehven hatalı veri girişi yapılan taşıtlar ile elektrikli taşıtlardan oluşmaktadır.

İklim değişikliğine sebep olan emisyonları azaltmak ve petrol yakıtlarına olan bağımlılıkları en aza indirebilmek için mühendisler ve politikacılar, daha az zararlı olan ve sınırlı kaynakları daha az tüketen sürdürülebilir yakıt ve araç alternatifi araştırmaktadırlar (Ramachandran and Stimming 2015).

Sürdürülebilir yakıtlar biyoyakıtlardır. Bunlar, birçok ülkede enerjinin kendi kendine yeterliliğini arttırmak, ithalat maliyetlerini azaltmak ve yurt içi tarımsal gelişmeyi güçlendirmek için uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. 2000 yılından beri, küresel biyoyakıt tedariki, 2015 yılında dünyadaki ulaşım yakıtlarının %4'ünü oluşturacak oranda artmıştır. Bu önemli artışın, o dönemde biyoyakıtların daha fazla kullanımını teşvik eden, biyoyakıtları petrol yakıtlarına kısmen karıştırmaya yönelik harmanlama kanunlarından ve buna yönelik yürütülen politikardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Araújo et al. 2017).

2015 yılında Brezilya şeker kamışı bazlı, Amerika Birleşik Devletleri mısır bazlı etanolden oluşan küresel biyoyakıt arzının yaklaşık %70'ini üretmiştir. Avrupa Birliği, petrol atıkları, yağlar, soya fasulyesi, kolza tohumu ve palmye yağından üretilen biyodizel kullanmaktadır. Asya'da biyoyakıt kaynağı, uluslararası biyoyakıt ürün pazarının oluşturulmasında şeker kamışı, mısır, buğday ve manyok bazlıdır (Joshi et al. 2017).

Karayolu taşımacılığında kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik diğer alternatif, Elektrikli Araçlar (EV)'dir (Figenbaum 2017). Almanya CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik çeşitli çalışmalar ve uygulamalar yapan bir ülke olup Almanya Federal Konseyi, 2016 yılında, 2030'dan itibaren fosil yakıtların kullanıldığı İçten Yanmalı Motorlu Taşıtlar (ICEV)'in yasaklanması kararını onaylamıştır. Almanya, 2050 yılına kadar %95'lik bir karbon azaltma hedefine sahiptir. Bu da önemli ölçüde araç elektrifikasyonu gerektirecektir. Bu karara göre, 2030 yılına kadar satılan İçten Yanmalı Motorlu (ICE) otomobiller sadece 2050 yılına kadar kullanılabilir. Çünkü bu tarihten sonra, Almanya'da, ICE ile çalışan herhangi bir otomobilin sirkülasyonuna izin verilmeyecek olup sadece EV'lere izin verilecektir (Heinrichs ve Jochem 2016).

Alman Çevre Örgütü (Deutsche Umwelthilfe) Berlin'de azot dioksite (NO₂) en çok neden olan dizel araçların yasaklanması için mahkemeye başvurdu. Berlin İdare Mahkemesi'nde görüşülen konu ile ilgili 9 Ekim 2018 tarihinde NO₂ limitleri hususunda yasal sınırlara mümkün olan en hızlı şekilde uyum sağlanması için dizel araçların yasaklanması

gerekliliğinin olduğuna karar verilmiştir. Bu yasağın ilki 1 Haziran 2018 tarihinde Hamburg'ta kısmi olarak uygulanmaya başlamıştır. Bugün Almanya'da Berlin, Stuttgart, Dusseldorf, Aachen ve Frankfurt'ta dizel yasağı uygulanmaktadır (Resch et al. 2018).

Çin, EV kullanımında dünyaya öncülük etmektedir ve yaklaşık 649.000 EV (Elektrikli Araç) hâlihazırda kullanılmaktadır. Buna ek olarak 2020 yılına kadar bu rakamın 5 milyona ulaşacağına dair iddialı bir plan bulunmaktadır. ABD, yaklaşık 565.000 EV ile dünya çapında ikinci sırada yer almaktadır. Japonya, trafikteki 152.000 EV ile üçüncü sıradadır. Norveç ise trafikteki 135.000 EV ile dördüncü ülke olup Hollanda ise trafikteki 115.000 EV ile beşinci sırada bulunmaktadır. Şu anda, Norveç ve Hollanda tüm içten yanmalı motorlu araçları (ICEV) 2025'e kadar trafikten kaldırmayı planlamaktadır. 2016 yılı verilerine göre, 2 milyon EV ve Hibrit Elektrikli Araç (HEV) dünya filosunun yaklaşık %2'sini oluşturmaktadır (Cecere, Corrocher, ve Guerzoni, 2018). Ancak, bazı temel sorunlar cevapsız kalmaktadır. Örneğin, yeni ve daha büyük EV filolarına güç vermek için yeterli yenilenebilir enerji kaynağı bulunup bulunmayacağı, yeni pillerin üretilmesinde lityum ve kobalt rezervlerinin talebi karşılamaya yeterli olup olmayacağı gibi cevaplanması ve araştırılması gereken konular mevcuttur. Bunun yanı sıra, EV'ler fosil yakıt kaynaklı elektrik ile yüklenirse sera gazı emisyonlarının azaltılması ile ilgili yapılan çalışmalar anlamını kaybedecektir (Ruiz et al. 2018).

Yakıt tüketiminde farklı alternatif senaryoların ve araçların Türkiye koşullarındaki araç konfigürasyonlarının çevresel etkilerini değerlendirmek önemlidir ve bu çalışma için ciddi bir motivasyon kaynağı olmuştur.

Bu çalışmada, Türkiye'deki otomobillerin mevcut durumda sebep oldukları emisyonlar hesaplanmıştır. Buradan yola çıkarak iki farklı senaryo belirlenmiş olup elektrikli araçlara geçiş yapılmasının kirletici emisyonları ve kaynak tüketimini azaltma potansiyeli üzerinde durulmuştur. Mevcut durum ve senaryolar ile ilgili hesaplamalar yapılarak elektrikli araçların bataryaları için gereken elektriğin fosil kaynaklardan karşılanması ve yenilenebilir kaynaklardan karşılanması ile emisyon miktarlarının, kaynak tüketiminin ne şekilde değiştiği rakamsal olarak ortaya koyulmuştur.

Bu çalışma, teknolojidaki son yenilikler, bu kadar fazla iken araç üreticilerinin ve tasarımcıların, akaryakıt distribütörlerinin ve üreticilerinin, politikacıların, tüm üretim ve

tedarik zincirindeki çevresel sonuçlara ilişkin bilinçli kararlar almalarını sağlayacağı düşünülmektedir. Çevresel faktörler çok fazla değişken ve belirsizlik içermekte olup sürekli bir etkileşim içindedirler ki bu nedenle önceden değerlendirilmesi çok daha zordur. Ek olarak bu çalışma, diğer uygulamalar ve devam eden ar-ge çalışmaları kentsel ulaşım akışında sürdürülebilirlik açısından iyileştirmeye katkıda bulunan teknik yeniliklerin kullanımına yol açacaktır. Bu bağlamda, bu çalışmanın ana amacı, Türkiye'deki binek araçların (hafif ticari araçlar) yakıt tüketiminin farklı alternatif senaryolarına ilişkin bir çalışma yapılması ve bunların neden olduğu çevresel etkileri belirlemek ve karşılaştırmaktır.

Bu çalışmanın yapılmasının çok önemli bir gerekçesi de ulaştırma sektörü ile ilgili yeterli çalışmaların yapılması gerekliliğidir. Bu çalışma otomotiv araçlarının çevresel etkilerinin gerçekçi bir şekilde azaltılmasını sağlayacak olan karar vericilere destek olabilecek araçlar ile ilgili bilgiler içermektedir.



BÖLÜM 2

MOTORLU TAŞITLAR VE HAVA KİRLİLİĞİ

Bazı araştırmacılar, ulaşım hizmetlerinin büyük ekonomik ve sosyal faydalarından daha çok olumsuz çevresel etkilere neden olduğunu belirtmektedir (Van Lier and Macharis 2014). Motorlu taşıtlardan salınan kirleticiler ortamda bulunma yoğunluğuna göre sağlığı etkileme potansiyeline sahiptir. Bu kirleticiler ya kaynaktan doğrudan salınmakta ya da atmosferik reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır (Romieu 1997).

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirleticileri, egzoz, yakıt deposu ve karbüratörden gelmektedir. Egzoz emisyonları motordaki yakıtın yanmasından kaynaklanmaktadır. Araç hareket ederken, çalışır konumdayken (rölanti) veya yakıt ikmali yaparken buharlaşan emisyonlar atmosfere salınmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, yakıt türü, aracın yaşı/bakım durumu, yol özellikleri, sürücünün kullanım şekli gibi birçok faktöre bağlı olarak farklılıklar göstermektedir (Flachsbart 1997). Çizelge 2.1’de motorlu taşıtlardaki emisyon kaynakları ve atmosfere salınan kirleticiler gösterilmektedir (EEA 2018b).

Çizelge 2.1 Motorlu Taşıtlarda Emisyon Kaynakları ve Hava Kirleticileri.

Emisyon Kaynağı	Kirleticiler
Egzoz emisyonu	CO ₂ , CO, UOB, NO _x , PM
Buharlaşma kayıpları	UOB
Tekerleklerden kaynaklanan (frenleme ve yoldan toz kalkması vb.) emisyonlar	PM

Sağlıkla ilgili başlıca kirleticiler arasında karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), partikül maddeler (PM) ve uçucu organik bileşikler (OUB)’dir. Kurşun ise daha önceleri motor performansını iyileştirmek için yakıtta eklenen bir kirletici idi (Flachsbart 1997). Günümüzde kullanılan kurşunsuz benzindeki oktan seviyesini arttırmak ve CO emisyonlarını azaltmak için katkı maddesi olarak metil tersiyer bütül eter kullanılmaktadır (Agency for Toxic Substances

and Disease Registry (ATSDR) 1996). Yer seviyesindeki Ozon (O₃) ise atmosferdeki uçucu organik bileşiklerin ve azot oksitlerin güneş ışığı etkisiyle gerçekleşen reaksiyonları sonucunda oluşan ikincil hava kirleticisidir (Atkinson 2000).

Dünyada birincil enerji kaynaklarının tüketilmesinde ulaştırma sektörünün payı oldukça büyüktür. Ayrıca ulaştırma sektörü sera gazı üretiminde de neredeyse eşit bir paya sahiptir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki artan ulaşım talebi de göz önünde bulundurulduğunda sera gazı etkisinin gelecek yıllarda artacağı öngörülmektedir (Otken ve Gümüşay 2010).

Motorlu taşıtların sebep olduğu emisyonlar, sera gazı etkisiyle küresel ısınmayı tetiklediği, canlı organizmalara zarar verdiği ve yanı sıra stratosferik ozon yıkımına sebep olduğu için çevre bilimleri, ekolojik toksikoloji gibi alanlarda ciddi bir şekilde üzerinde durulan, birçok araştırmanın ve çalışmanın yapıldığı önemli bir konudur (Otken ve Gümüşay 2010).

Kullanılan motorlu taşıt sayısı sürekli olarak artış göstermekte ve doğru orantılı olarak ortaya çıkan olumsuz etkilerinin de giderek arttığı bilinmektedir. Motorların yeniden dizaynı, alternatif yakıtların kullanılması (örn. Biyoyakıtlar) ve buna benzer birçok çalışma, uygulama yapılmaktadır (Otken ve Gümüşay 2010).

BÖLÜM 3

DÜNYA ENERJİSİNİN MEVCUT DURUMU

Dünya birincil enerji tüketimi 2016 yılında %1,2, 2017 yılında ise %2,2 büyümüş olup 2013'ten beri en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Kömür ve hidroelektrik dışındaki tüm yakıtlar, ortalamanın üzerindeki oranlarda artmıştır. Enerji tüketiminde doğal gaz 83 milyon ton petrol eşdeğeri (mtpe) ile en büyük artışı sağladı ve bunu yenilenebilir enerji (69 mtpe) ve petrol (65 mtpe) izledi (BP 2018).

Petrol, Afrika, Avrupa ve Amerika'da baskın yakıt olarak kalırken, doğal gaz Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) ve Orta Doğu'da hâkimdir ve her iki bölgedeki enerji karışımının yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Kömür, Asya Pasifik bölgesinde baskın bir yakıttır. 2017 yılında kömürün birincil enerji payı Kuzey Amerika, Avrupa, BDT ve Afrika'da en düşük seviyeye gerilemiştir. Kuzey Amerika'da nükleer enerji ve doğalgaz başlıca enerji kaynağı olurken Asya, petrol, kömür, yenilenebilir enerji ve hidroelektrik sektörünün önde gelen bölgesel tüketicisidir (BP 2018).

Petrol, dünyada en çok kullanılan yakıt olarak yerini korumakta ve tüketilen tüm enerjinin üçte birinden fazlasını oluşturmaktadır. 2017 yılında petrolün pazar payı, iki yıllık büyümenin ardından hafif bir düşüş göstermiştir. Kömürün pazar payı 2004'ten bu yana en düşük seviye olan %27,6'ya düşmüştür. Doğal gaz, küresel birincil enerji tüketiminin %23,4'ünü oluştururken, yenilenebilir enerji %3,6 gibi yüksek bir seviyeye ulaşmıştır (BP 2018).

Birincil enerji tüketim artışı, 2017'de ortalama %2,2 idi. Enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonları ise 2014'ten 2016'ya kadar %1,6 oranında arttı. Küresel petrol tüketimi artışı son 10 yılda ortalama %1,8 idi. Küresel ölçekte yakıt olarak birincil enerji tüketimleri incelendiğinde BP 2018 raporuna göre, petrol 4621,9 milyon ton petrol-eş ile birinci sırada olup kömür 3731,5 milyon ton petrol-eş ve doğal gaz 3156,0 milyon ton petrol-eş ile onu takip etmiştir (BP 2018).

Uluslararası Enerji Ajansı, BP, Exxon Mobil, ABD Enerji İdaresi gibi uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından, dünya birincil enerji tüketimi için petrolün ve doğal gazın uzun bir süre daha çok önemli bir paya sahip olacağını öngörülmektedir (Türkiye Petrolleri 2016).

Kanıtlanmış petrol rezervleri 2017 yılında küresel olarak 0,5 milyar varil (-0.03%) ile 1696,6 milyar varil seviyesine geriledi. Bu durum, 2017 yılında 50,2 yıllık küresel üretimin karşılanması için yeterli olacaktır. OPEC ülkeleri şu anda küresel kanıtlanmış rezervlerin %71,8'ini elinde tutmaktadır. Küresel petrol üretim ve tüketimi ile ilgili 2007 ve 2017 yıllarına ait bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir (BP 2018).

Çizelge 3.1 Küresel Petrol Üretimi ve Tüketimi.

Petrol (milyar varil)	2007	2017
Üretimi	3954,2	4387,1
Tüketimi	4167,8	4621,9

3.1 KÜRESEL PETROL REZERVLERİ

2017 yılında küresel petrol rezervi 239,3 milyar ton olarak açıklanmıştır (BP 2018). 2017 yılında üretimin %33,8'lik bölümü Orta Doğu bölümünde gerçekleşmiştir. Küresel Petrol üretim maliyetini dolayısıyla da petrol fiyatlarını etkileyen birçok faktör mevcuttur. Petrolün viskozitesi ne kadar fazlaysa üretim maliyeti de o kadar fazla olmaktadır. Bunun yanı sıra petrol kaynağının bulunduğu derinlik, yer (kara veya deniz ortamı) de üretimde maliyeti artıran önemli faktörlerdendir. Ayrıca kuzey kutup bölgesinde de olduğu gibi üretim yapılan bölgenin hava şartları ve yanı sıra bölgede petrol üretimi için yapılan teknolojik yatırımlar da üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Kısacası petrol üretiminin yapıldığı bölgenin jeolojik özellikleri başta olmak üzere gerekli teknolojik yatırımlar, iklim özellikleri ve çevresel faktörler, petrolün kalitesi ve özelliği gibi etmenler üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir (BP 2018).

3.2 KÜRESEL PETROL REZERVLERİNİN ÖMRÜ

Ekonomik olarak mevcut teknolojilerle üretilen kanıtlanmış petrol rezervlerinin, mevcut üretime bölünmesi sonucunda petrol rezerv ömrü tespit edilmektedir. Küresel çapta birçok

alanda petrol yüksek oranda tüketilse de gelişen teknolojiler ile petrol rezervlerinin sürekli arttığı görülmektedir. BP Haziran 2018 raporuna göre 2017 küresel petrol rezervi 239,3 milyar ton olup rezerv ömrü 50,2 yıl olarak belirlenmiştir. Küresel petrol rezervlerinin bölgesel dağılımına bakıldığında birinci, ikinci ve üçüncü bölgeler sırasıyla Orta Doğu (109,3 milyar ton), Orta ve Güney Amerika (51,2 milyar ton) ve Kuzey Amerika (34,2 milyar ton) olduğu belirtilmektedir.

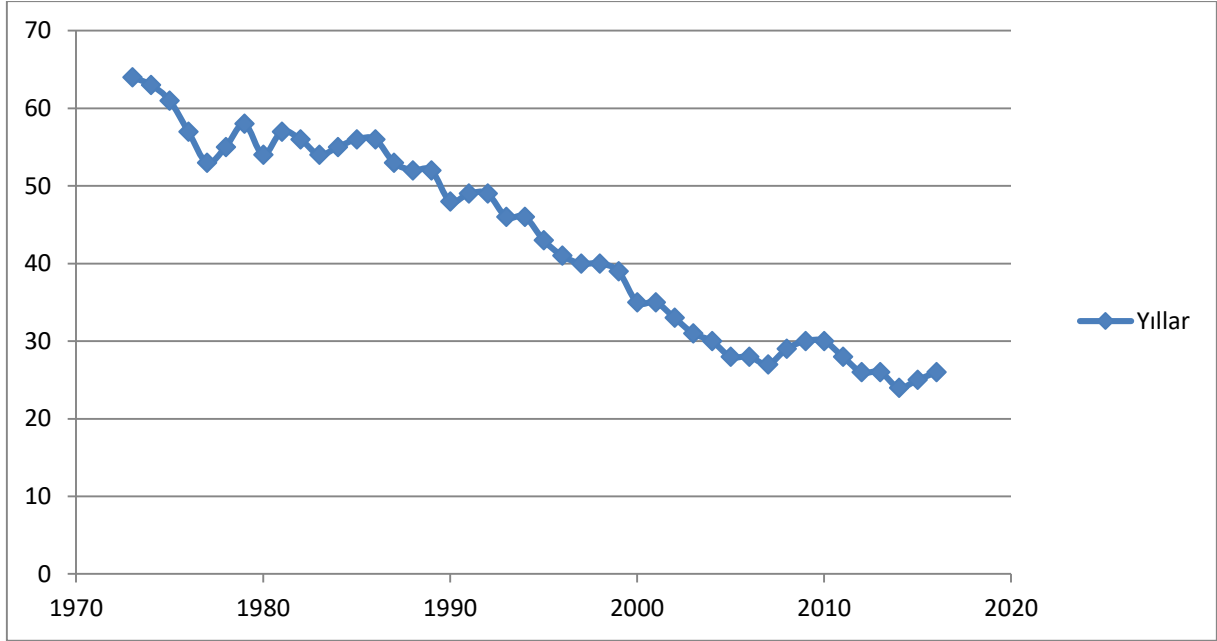
Yukarıda 50,2 yıl olarak belirtilen petrol rezerv ömrü BP Haziran 2018 raporundan alınmış olup raporun hazırlandığı zamanda kanıtlanmış rezervlerin var olan konvansiyonel teknolojiler ile ekonomik üretimi esas alınarak hesaplanmıştır. Gelişen teknolojiler (örneğin kömürden veya gazdan sıvı yakıt elde edilmesi gibi ikincil veya üçüncül yöntemler) ile çok daha ekonomik şekilde üretilebilecek rezervlerin ortaya çıkarılması ve yeni keşifler ile yeni rezervlerin devreye girmesiyle petrol rezerv ömrünün talep oranına da bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır (BP 2018).

Petrol üretimi ile ilgili her ne kadar yeni teknolojiler ve yeni rezervlerin devreye girmesi söz konusu olsa da petrol üretimi yapılabilecek sahalarda üretim maliyetlerinin bundan sonraki 10 yıl içerisinde önemli oranda artış göstereceği öngörülmektedir. Bunun başlıca nedeni ise küresel çapta kolay üretilebilir petrol kaynaklarının oldukça az olması ve petrol kaynağı keşfedilen alanların teknik açıdan oldukça yüksek yatırım gerektirmesi gibi zorlayıcı özellikleri olmasıdır (BP 2018, Türkiye Petrolleri 2016).

3.3 DIŞA BAĞIMLILIK

Türkiye maalesef tükettiği enerjiyi kendisi karşılayamamaktadır. Ülkemizin enerjide dışa bağımlılık oranının %75 seviyelerinde olduğu belirtilmektedir. Cari açığın önemli bir kısmını enerji ithalatı oluşturmaktadır. 2017 yılında Türkiye'nin yapmış olduğu 233 milyar dolarlık ithalatın, 37 milyar dolarlık kısmı enerji ithalatı kaynaklıdır. Enerjinin toplam ithalat içerisinde %15 gibi önemli bir büyüklük teşkil ettiği göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye için enerji verimliliğini arttırmak, yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmek, israftan kaçınmak, cari açığın kapatılması ve ekonomik büyüme için temel bir öneme sahiptir (Erturk ve Erdinc 2018).

Bir ülkenin dışa bağımlılığının ne kadar yüksek olduğu, öz yeterliliğinin o kadar düşük olduğunu göstermektedir. Uluslararası Enerji Ajansının en güncel istatistiksel verileri incelendiğinde Türkiye'nin öz yeterliliğinin son 10 yıldaki en düşük seviyede olduğu görülmektedir (Şekil 3.1) (IEA 2018).



Şekil 3.1 Türkiye Öz Yeterlilik.

BÖLÜM 4

ALTERNATİF YAKITLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Biyoyakıtlar, hammaddelerde ve üretim teknolojilerinde aralarında birçok fark olan dört nesilde gelişmiştir. Birinci nesil ve en yaygın olarak kullanılan biyoyakıtlar, biyodizel ve biyoetanoldür. Biyodizel üretimi için yağlı tohumların sürekli parçalanması esasına dayalı yeni bir teknik geliştiren J. Marousek tarafından da vurgulandığı gibi biyoyakıtlar için hammadde üretiminde teknolojik gelişmeler bulunmaktadır. Çalışma prensibi, az miktarda gaz kullanarak kabuğundan ayrılmış yağlı tohumların ezilerek gaz haline getirilmesinden oluşmaktadır. Daha sonra su plazmasının genişlemesini takip eden sualtı yüksek voltajlı deşarjlar tarafından harici olarak üretilen basınç dalgalarına maruz bırakılmaktadır (Maroušek 2014).

İkinci nesil biyoyakıtlar için lignoselülozik biyokütle, ana hammadde olarak tanımlanmaktadır. Potansiyel hammaddeler ise otsu ve odunsu bitkiler, tarım ve orman kalıntıları, belediye ve endüstriyel katı atıklardır. Bu teknolojinin ana avantajı, lignoselülozik biyokütlenin tarım arazilerinin kullanılmasını gerektirmemesidir (Liew et al. 2014). Üçüncü ve dördüncü nesil biyoyakıt ise esas olarak alglerden elde edilir. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, yüksek lipid içeriğine ve optimum büyüme koşullarına sahip alg türlerinin ideal kombinasyonunun araştırılmasına odaklanmıştır (Dutta et al. 2014).

4.1 BİYODİZEL

Yenilenebilir ve çoğunlukla yerli kaynaklardan üretilen biyodizel, daha sürdürülebilir bir enerji kaynağını temsil eder ve bu nedenle ulaşım için enerji gereksinimlerinin sağlanmasında giderek daha önemli bir rol oynar. Bu nedenle 2000'li yılların başında daha fazla araştırma biyodizel motor performanslarına ve emisyonlarına odaklanmaktadır (Xue et al. 2011).

Birçok ülke biyodizel karışımli yakıtları, fosil yakıt kullanımının ulaşım amacıyla büyümesini yavaşlatmak için kullanmaktadır. Türkiye’de ise 16.06.2017 tarihli 30098 numaralı Resmi Gazete’de yayımlanan ve 01.01.2018 tarihinde yürürlüğe giren Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliği’nin 5. Maddesi’nde “Dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolun ünıteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en az %0,5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biodizelin harmanlanmış olması zorunludur.” ibaresi yer almaktadır.

Biyodizel yakıtların kullanımını arttıka, biyodizel karışımlarının araç emisyonları üzerindeki etkisini anlayabilmemiz kritik önemdedir, böylece hava kalitesinin ne yönde etkileneceğini daha iyi anlayabiliriz (Anderson 2011).

Biyodizel (yağ asidi metil esterleri, FAME) genellikle bir bitkisel yağın metanol ve bir potasyum hidroksit katalizörü ile reaksiyona girdiği transesterifikasyon olarak bilinen kimyasal bir işleme bitkisel yağlardan ve hayvansal yağlardan türetilir. Ek olarak biyodizel, serbest yağlı asitlerin düşük moleköl ağırlıklı alkollerle esterleştirilmesiyle üretilir. Hammadde, yağ tohumu ekinlerinden, kızartma yağından veya hayvansal yağlardan elde edilenler olabileceği gibi bitkisel yağ da hammadde olabilir. Soya çoğunlukla ABD’de, kolza ve ayçiçeği de Avrupa’da kullanılmaktadır. Diğer hammaddeler arasında hindistan cevizi ve hurma yağı da bulunmaktadır (Kousoulidou et al. 2008).

Biyodizelin hammaddesi bölgeye göre değişebileceğinden, farklı kaynakların çeşitli yağlı asit profillerinin biyodizel yakıtın özelliklerini nasıl etkileyebileceğini bilmek önemlidir (Knothe and Steidley 2005).

Bir yağlı ester molekölünün fiziksel ve yakıt özelliklerini etkileyen yapısal özellikler genel olarak, zincir uzunluğu, doymamışlık derecesi ve zincirin dallanmasıdır. Yağ asidi profilinden etkilenen biyodizelin önemli yakıt özellikleri ve çeşitli yağlı esterlerin yapısal özellikleri, yanma ve egzoz emisyonları ile ilişkili setan (CN) sayısı, yanma ısısı, soğuk akış, oksidatif kararlılık, viskozite ve kayganlıktır. Bu nedenle, tüm yakıtın özelliklerini iyileştirmek için belirli yağ esterlerini yakıtta istenen özellikler ile zenginleştirmeye çalışmak makul görünmektedir (Kousoulidou et al. 2008).

Dizel ve biyodizel arasındaki en önemli bileşim farkı oksijen içeriğidir. Biyodizel, enerji yoğunluğunu azaltan %10-12 oksijen içerir (Graboski and McCormick 1998). Genel olarak, oksijen içeriği dışında biyodizel, petrol bazlı dizelden farklı olarak şu özelliklere sahiptir: Kükürt içeriği yoktur, aromatik içeriği yoktur, polisiklik aromatik hidrokarbonlar yoktur, daha yüksek setan değerine ve düşük ısıtma değerine sahiptir, daha iyi yağlama, daha yüksek viskozite, daha yüksek parlama noktası, biyobozunabilirlik özelliği vardır, toksisitesi yoktur (Kousoulidou et al. 2008).

Dizelde ise oksijen seviyesi %0,6'dan daha düşüktür. Literatürün çoğunda biyodizelin yüksek oksijen içeriği nedeniyle NO_x seviyelerinin arttırdığı bildirilmiştir (Chattopadhyay ve Sen et al. 2013). Birkaç araştırmacı, biyodizel yakıtla bağlanmış oksijenin NO_x emisyonlarını arttırdığı fikrini reddeden bir sonuca ulaşmışlardır (Lapuerta et al. 2005.) An ve diğ.'nin gözlemleri, B100 kullanımında daha düşük silindir içi basınç ve ısı tahliye oranı ile NO_x konsantrasyonunda düşüş olduğunu göstermiştir (An et al. 2013).

Biyodizel yakıttaki yüksek oksijen içeriği nedeniyle kirletici madde içindeki NO_x emisyonu artmaktadır. Yakıt özelliklerinin yanı sıra, hız ve yük gibi motor parametreleri de NO_x emisyonlarını etkilemektedir. Shirneshan et al. (2012)'de NO_x konsantrasyonunun motor yükündeki artışla arttığını göstermiştir. Biyodizel karışimli yakıt, test edilen tüm motor yüklerinde dizelden daha yüksek NO_x göstermiştir ve bu eğilim daha yüksek yüklerde daha belirgin olmuştur (Shirneshan et al. 2012). Raheman et al. (2014) NO_x konsantrasyonlarının motor yükündeki artışla arttığını belirtmişlerdir. Motor devirleri ayrıca NO_x'i etkilemede hayati bir rol oynar (Raheman and Kumari 2014). Düşük devirde, yanma gazlarının kalma süresinin arttığı ve daha yüksek NO_x emisyonu oluştuğu bulunmuştur. Bu normalde tam yükte ve düşük motor devrinde olmaktadır. Bu nedenle NO_x emisyonlarının motor devriyle ters orantılı olduğu söylenebilir (Ban-Weiss et al. 2007).

NO_x emisyonunun yakıt yoğunluğundaki artışla da arttığı görülmektedir. NO_x emisyonları ve yoğunluk arasındaki doğrudan korelasyonu gösteren araştırmalar mevcuttur. Bunun yanı sıra setan (CN) sayısındaki artışla da NO_x emisyonlarının arttığı belirlenmiştir (Singh et al. 2016).

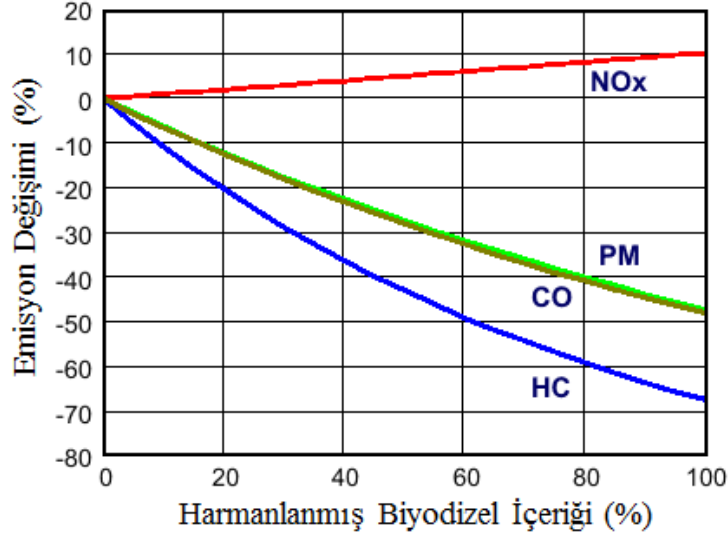
Biyodizel kullanımının NO_x emisyonlarına etkisi incelendiğinde umut verici bir tablo ile karşılaşmak maalesef mümkün görünmemektedir. Saf biyodizel kullanımı, hem binek otomobillerden hem de ağır hizmet araçlarından kaynaklanan NO_x emisyonlarının artmasına

yol açmaktadır (Kousoulidou et al. 2008). Bu, esas olarak, daha yüksek ateşleme gecikmesine ve dolayısıyla yanma ilerlemesine ve daha yüksek yanma sıcaklığına / basıncına yol açan yüksek CN sayısının bir etkisidir. Biyodizelin doymamış karakteri ve oksijen içeriği ayrıca yüksek alev sıcaklığına ve alev cephesinde oksijen varlığına yol açar ve bu da yüksek NO_x'e yol açabilmektedir. Ek olarak, yüksek oksijen içeriği, daha fazla yakıt enjektör edilmesi, enerji kaybını dengelemek için daha erken enjeksiyon ve yine daha yüksek sıcaklıkta yanma anlamına gelmektedir (Kousoulidou et al. 2008).

NO_x emisyonlarının aksine, biyodizel kullanımı ile PM, HC ve CO emisyonlarında önemli oranda azalma sağlanabilmektedir (Xue et al. 2011).

Daha az kurum oluşumu, biyodizelin azaltılmış PM emisyonları ve biyodizelin doğal kayganlığı ile tutarlıdır. Çalışmaların çoğu dizel ile karşılaştırıldığında biyodizel için PM emisyonlarının önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Biyodizel, dizel ile karşılaştırıldığında daha yüksek oksijen içeriği ve daha düşük karbon-hidrojen oranı nedeniyle biyodizel kullanımında CO emisyonlarının azaldığı yaygın olarak kabul edilmektedir. Genel olarak, dizel yerine biyodizel yakıt kullanıldığında HC emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Biyodizelde CO₂ emisyonu, CO₂'nin yaşam döngüsü değerlendirmesi açısından büyük ölçüde azalmaktadır. Araştırmaların çoğu, biyodizel için aromatik ve poliaromatik bileşik emisyonlarının dizel göre azaldığını göstermektedir (Xue et al. 2011).

Yakıttaki biyodizel oranlarına göre NO_x, PM, CO ve HC emisyonlarının değişimi Şekil 2'de gösterilmektedir (Meshram et al. 2013). EPA 2002'de, çeşitli biyodizel karışımlarının emisyonlarını geleneksel dizel ile karşılaştıran bir rapor hazırlamıştır. B100 (%100 biyodizel) için %67 daha az hidrokarbon, %48 daha az karbon monoksit, %47 daha az partikül madde, %80 daha az poliaromatik hidrokarbon ve %10 daha fazla NO_x ürettiğini bulmuşlardır (Meshram et al. 2013). Biyodizel karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi Şekil 4.1'de verilmiştir (Meshram et al. 2013).



Şekil 4.1 Biyodizel Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisi.

Ayrıca biyodizel, karbon yatağını ve anahtar motor parçalarının aşınmasını azaltmayı sağlamaktadır. Bu nedenle, biyodizelin petrol dizeli yerine düşük içerikli karışımları, hava kirliliğini kontrol etmede, motor gücü ve ekonomiden önemli ölçüde ödün vermeden kıt kaynaklar üzerindeki baskının azaltılmasına yardımcı olabilmektedir (Xue et al. 2011).

4.2 BİYOETANOL

Biyodizel gibi biyoetanol de sıvı biyoyakıttır. Nişasta bitkilerinden (mısır, buğday ve manyok), şeker bitkilerinden (pancar ve kamış) ve selüloz bitkilerinden yapılmaktadır. Biyoetanol üretiminde ilk olarak bir hammadde mahsulünü mayalanabilir şekerler haline dönüştürmek için enzim amilazları kullanılmaktadır. Daha sonra mayaya şekerleri alkol ve karbon dioksit fermente etmek için maya eklenmekte ve sıvı fraksiyon etanol üretmek üzere damıtılmaktadır (Kousoulidou et al. 2008).

Biyoetanol için hammaddelerin mevcudiyeti mevsime ve coğrafi bölgelere göre değişebilmektedir. Bu nedenle biyoetanol üretmek için kullanılan ürün seçimi, geçerli toprak ve iklim koşullarına bağlıdır. Örneğin Brezilya'da şeker kamışı çok yüksek şeker içeriği ve yakıt verimi nedeniyle tercih edilen besleme malzemesidir. Kuzey Amerika'da, 50'den fazla üretim tesisi mısır gibi nişasta ürünlerinden yakıt etanolü üretmektedir. Çoğu Avrupa ülkesinde etanol şeker pancarı ve tahıl kullanılarak üretilmektedir. Bununla birlikte hammadde fiyatlarının da oldukça değişken olduğu ve bunun biyoetanolün üretim maliyetlerini etkileyebileceği unutulmamalıdır (Kousoulidou et al. 2008).

Biyoetanol farklı şekilde yakıt olarak kullanılabilir: Benzinle bir karışım olarak (% 5 - 85 arasında) kullanılabilir. Tüm benzinli motorlarda %5'lik bir karışım olarak kullanılmaktadır, düşük bir orandaki alkol-benzin karışımı (E10 “gasohol” olarak da bilinen %10'luk etanoldur) etanol doğrudan veya motorda çok az modifikasyon yapılarak kullanılabilir. Bununla birlikte, yüksek E85 karışımları araçta birkaç değişiklik gerektirmektedir. Uygun şekilde modifiye edilmiş motorlara sahip araçlarda benzin için doğrudan bir yedek olarak kullanılabilir. Dizel motorlarda dizel yakıt karışımı olarak da bilinen “E-dizel” yakıt karışımları olarak kullanılabilir. Dizel motorlarda biyodizel ile harman olarak (“BE-dizel” yakıt karışımı olarak da bilinir) kullanılabilir. Etanolün araç yakıtı olarak uygunluğu, yüksek performanslı bir yarış motorunda yakıt olarak kullanılmasıyla kanıtlanmıştır (Le Mans'ta kullanılmıştır) (Kousoulidou et al. 2008).

Genel olarak, çoğu çalışma, etanol-benzin, etanol-dizel ve etanol-biyodizel karışımları için PM emisyonları ile ilgili düşüşleri göstermektedir. Buji ateşlemeli motorlar üzerindeki etkisi oldukça değişken olmakla birlikte, PM emisyonları dizel motorlara kıyasla çok daha azdır. E10 etanol-dizel karışımları ile ilgili olarak, motor kategorisi, sürüş koşulları, setan sayısı vs. ne olursa olsun binek otomobillere ilişkin PM emisyonlarının ortalama azalması %5'ten %67'ye kadar değişmektedir (Kousoulidou et al. 2008). Bununla birlikte, ağır vasıta taşıtlarında E10 etanol-dizel karışımlarının kullanılmasının %23 - %44 mertebesinde daha önemli azalmalar ile sonuçlanması umut vericidir. Buna ek olarak, setan sayısının değişken olduğu durumlarda, dizel yakıtı ile uyumlu olan setan sayısını artırarak E10 karışımları ile beslenen binek otomobillerde yapılan deneylerde PM emisyonlarının %25 - %29 oranında azaldığı görülmüştür (Kousoulidou et al. 2008).

E10'a kadar olan etanol-benzin karışımından elde edilen ana sonuç, tüm verilere dayanarak NO_x emisyonları ile ilgili önemli bir değişikliğin görülmemesidir. Bazı çalışmalar E10 karışımlarının genellikle benzin ile kıyaslandığında daha yüksek NO_x emisyonuna neden olduğunu göstermektedir (Hsieh et al. 2002). Bazı çalışmalarda emisyonların kısmen azaldığı, bazılarında da kısmen arttığı ve bazılarında ise belirgin bir şekilde azaldığı belirtilmiştir (He et al. 2003, Knapp et al. 1998). Örneğin E20 etanol-benzin karışımları ile ilgili olarak, %-17 ile %+79 arasında değişen NO_x emisyonları elde edilmiştir (Kousoulidou et al. 2008). Buna karşın De Serves (2005), E85 karışımlarına kadar farklı sürüş çevrimlerinde üç Euro 4 esnek aracı test etmiş olup E85 karışımı kullanıldığında tüm araçlarda önemli ölçüde NO_x azalması (%-70'e kadar) tespit etmiştir. Bu durum yeni teknoloji araçları ve İsveç'te yaygın olarak

kullanılan bir karışımla ilgili olduğundan bu bulgunun evrensel bir karaktere sahip olup olmadığını araştırmak için ek testlerle tekrarlanması gerektiği bildirilmiştir.

Çalışmaların çoğunda Etanol-dizel karışımlarının NO_x emisyonlarının artmasına yol açtığı bildirilmiştir. Bununla birlikte çalışmanın E10 sonuçları %-49 seviyesindeki önemli bir düşüş ile %51 seviyesinde önemli bir artış aralığını belirtmektedir (Kousoulidou et al. 2008).

4.3 İKİNCİ JENERASYON BİYOYAKITLAR

İkinci nesil biyoyakıtlar biyokütle-sıvı teknolojilerinden türetilmiştir. Tipik örnekler Bio-DME (Biyo-Dimetil-Eter), biyometanol, karışık alkoller (çoğunlukla etanol, propanol ve bütanol karışımı, bazı pentanol, hekzanol, heptanol ve oktanol) ve Fischer-Tropsch dizel veya BTL'dir (Biyokütleden sıvılara). Bütün bu yakıtlar biyokütlenin gazlaştırılmasıyla üretilen sentez gazından türetilmektedir. Bununla birlikte enerji santrallerinde ve gaz-sıvı süreçlerinde çok büyük ölçeklerde yapılan kömür veya doğalgazdan daha kolay üretilmektedir. Bu nedenle, benzer yakıtlar hem biyo hem de biyo olmayan besleme stoklarından üretilmektedir. Fischer-Tropsch biyodizelinin, çok düşük aromatik içerik ve eser kükürt içeren çok yüksek kalitede olması beklenmektedir. Buna ek olarak, ikinci nesil biyoyakıtlar, ilk nesil biyoyakıtlara kıyasla daha az oksijen içerir ve bu nedenle ikinci nesil biyoyakıtlardan gelen egzoz emisyonları, birinci nesil biyodizele kıyasla daha düşüktür. Ayrıca, biyoetanolden üretilen ikinci nesil biyoyakıtların, kimyasal bileşimde farklılık göstermemeleri nedeniyle birinci nesil biyoetanole kıyasla, egzoz emisyonları ile ilgili sapmaları göstermeleri beklenmemektedir (Kousoulidou et al. 2008).

RethinkX'in 2017'nin Mayıs ayında yayınladığı "Ulaştırmanın Bozulması ve İtten Yanmalı Araç ve Petrol Endüstrilerinin Çöküşü 2020 - 2030" sektör raporunda, bireysel araç sahibi olmak yerine servis şeklinde ulaşım (Transport-as-a-Service (TaaS)) sağlanmaya başlanmasının sosyal ve ekonomik faydaları belirtilmiştir. Bu sistem bir çeşit elektrikli araç filosu olup günümüzdeki araçlara kıyasla 10 kat daha ucuz maliyetle daha hızlı sürüş ve çok daha yüksek güvenlik sağlayacak bir hizmet olarak sunulabilecektir. Ayrıca bu filolarda her türlü tüketici ihtiyacını karşılayacak boyut ve konfigürasyonlarda çok çeşitli araç tipleri olacak ve 2030 yılına kadar bu sistemin ABD'de yapılan yolculukların %95'ini kapsayacağını söylemek mümkün. Ekonomik faydalarını rakamsal olarak ifade etmek gerekirse ortalama bir Amerikan ailesi, ulaşım maliyetlerinde yılda 5.600 dolardan fazla tasarruf sağlayacak.

TaaS'ın karayolu taşımacılığında küresel bir rekabeti tetiklemesi de muhtemeldir. Servis şeklinde ulaşım olmasa bile, Otonom Elektrikli Araç (A-EV) yarışındaki teknoloji şirketleri, batarya üreticileri ve diğer kilit roldekiler bir dizi ekonomik ve sosyal teşvikle motive olmaktadır. ABD'deki ve diğer yerlerdeki politika yapımcılar, yeni mobilite sistemlere geçişi kolaylaştırmak için akıllı politikalar geliştirmeye başlamıştır. TaaS'tan kaynaklanan olumlu yerel ve küresel çevresel faydalar olacaktır ancak bu da yeni bir altyapı ihtiyacını ortaya çıkaracaktır.

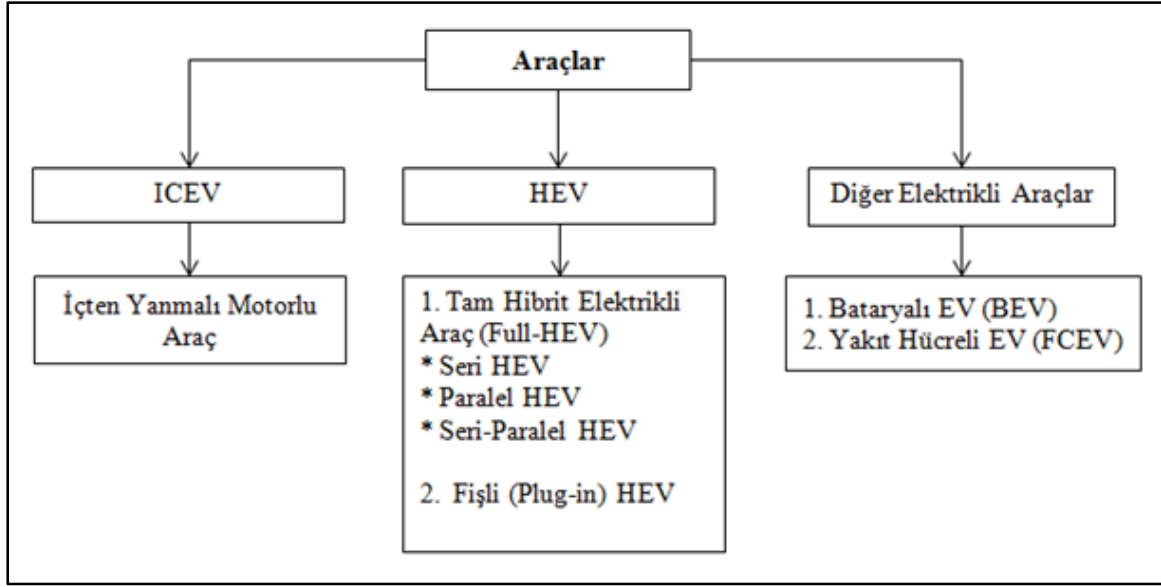
Yapılan çalışmalar hafif hizmet araçlarından kaynaklanan CO₂ emisyonları %90 oranında düşeceğini göstermektedir. Ancak A-EV'leri şarj etmek elektrik talebini artıracaktır. Tahminlere göre, TaaS kapsamında ihtiyaç duyulan A-EV filosunun 2030'da yılda 733 milyar kWh elektrik kullanacağını göstermektedir. Bu da toplam elektrik talebinde %18'lik bir artış olacağı anlamına gelmektedir. A-EV'ler karayolu taşımacılığı enerji talebini %80 azaltacaktır. Elektrik talebinin %18 artarken, toplam enerji talebinin %80 oranında azalacağı not edilmelidir. Bunun nedeni, A-EV'lerin ICE araçlarından çok daha enerji verimli olmalarıdır. A-EV'lerin üretim sırasında ICE'lerden daha fazla sera gazı salgılayacaklarına dair çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Ancak bu, üretim emisyonlarının araç ömürleri boyunca mil başına uygulandığında geçerli değildir. A-EV mil başına CO₂ emisyonları ICE'lerden çok daha düşüktür.

Egzoz emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliğinin, özellikle şehirlerde şiddetli bir etkisi olup insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri vardır. Yeni ulaşım sistemi yerel hava kalitesini ve halk sağlığını iyileştirecektir. A-EV'lerin benimsenmesi nedeniyle daha küçük bir filo ve daha verimli sürüş ile tıkanıklığı azaltırken yakıt yanmasından kaynaklanan yerel kirliliğin de önüne geçilmiş olacak ve bu elektrikli filo kirliliği tamamen ortadan kaldıracaktır. Böylece hava kirliliğinden kaynaklanan ölümler azalacaktır. Ek olarak A-EV'ler insan sürücülerden daha güvenli olacak ve trafik kazalarında düşüş sağlayacaktır. Rapora göre A-EV'lere geçmenin kaynak verimliliği ve malzeme kullanımı üzerinde olumlu etkileri olacaktır (Arbib ve Seba 2017).

BÖLÜM 5

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Ulaştırma sektöründe sürdürülebilirlik üzerine birçok araştırmacı aynı noktada buluşmaktadır: Elektrikli araçlar. Martínez-Lao ve ark.'nın (2017) araştırmasına göre EV'lerin kullanılmasının, ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliğini sağlamakta önemli bir yeri vardır. Elektrikli araçların teşvik edilmesi ve yaygınlaşması, otomobil sektörünün sürdürülebilirliğini sağlayan bir alternatiftir (Martínez-Lao et al. 2017). Elektrikli araçlar, birincil güç kaynağı olarak elektrik motoru kullanan araçlardır. EV'ler şarj edilebilir pillerde depolanan elektrik enerjisini kullanırlar. Literatürde EV'ler çok farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Ancak bu çalışmada üretim aşamasına geçen, geliştirilen ve piyasada en çok kullanılan EV tipleri göz önüne alınarak yapılan sınıflandırma Şekil 5.1'de gösterilmiştir (Rind et al. 2017). EV'lerin en temel özelliği egzoz emisyonlarının olmaması veya düşük olmasıdır. EV'ler, sınırlı enerji depolama kapasitesi nedeniyle motorlu araçlara kıyasla nispeten daha kısa sürüş mesafelerine sahiptir. ICEV'ler ve EV'lerin kısa bir karşılaştırması Çizelge 5.1'de gösterilmektedir (Vidyanandan 2018). EV'ler özellikle sessiz sürüş ve düşük emisyon gibi özellikleriyle ICEV'lere göre daha çok öne çıkmaktadır. Özellikle, elektriğin yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi durumunda yaşam döngüsü analizlerinde sera gazı emisyonları ve hava kalitesine olan etkiler çok daha düşük çıkmaktadır. Bu nedenle de doğal kaynakların daha az tüketilmesi ve iklim değişikliği ile mücadele için EV'ler en çok üzerinde durulması gereken alternatif ulaşım türlerinden biridir (Vidyanandan 2018).



Şekil 5.1 Araçların Sınıflandırılması.

EV'lerin şarj edilmesi için kullanılan elektrik enerjisinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması gerektiği araştırmacıların neredeyse tamamı tarafından kabul edilmektedir. Xiaomin Li ve diğ., yenilenebilir enerjilerdeki %1 artışın, EV taleplerinde yaklaşık %2-6 oranında artış sağladığını belirtmektedir (Li et al. 2017). EV pilleri yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik ile şarj edilebiliyorsa, emisyonlar EV'lerin tüm yaşam döngüleri için önemli ölçüde azaltılabilir (Dias et al. 2014). Brezilya'da yapılan bir araştırmaya göre Brezilya filusunda EV sayısındaki artışın neden olduğu elektrik enerjisi talebi çevre dostu ve olumlu şekilde karşılanabilmektedir (De Souza et al. 2018). Brezilya, ICE'lerde yakıt olarak şeker kamışı etanol kullanımı nedeniyle yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji matrisine sahiptir (Silva Lora et al. 2011). Elektrik üretiminde düşük karbon salınımı sağlayabilen bir ülkede EV'ler için yapılan yaşam döngüsü analizi CO₂ emisyonlarında düşüş sağlanabildiğini belirlemiştir (Doucette and McCulloch 2011, Ensslen et al. 2017).

Çizelge 5.1 ICEV'ler ile EV'lerin Karşılaştırılması.

Kriterler	İçten Yanmalı Motorlu Araçlar (ICEV)	Elektrikli Araçlar (EV)
Güç aktarma organı	ICEV motoru	Elektrik motoru
Enerji seviyesi	Yüksek özgül yakıt enerjisi	Düşük pil seviyesi
Güç yoğunluğu	Yüksek	Düşük
Sera gazı emisyonu	Var	Yok (BEV), Düşük (HEV)
Egzoz emisyonu	Var	Yok (BEV), Düşük (HEV)
Menzil	> 300 mil / tam dolu depo	< 100 mil / tam şarjlı batarya
Dolum/Şarj süresi	Kısa (<5 dakika)	Uzun (0,5 - 8 saat)
Yakıt deposu/Batarya	Daha az yer kaplar	Çok fazla yer kaplar
Yakıt/Batarya ağırlığı	Çok az	Çok yüksek
Bakım maliyetleri	Daha yüksek	Daha düşük
Fren enerjisi	Geri kazanamaz	Geri kazanabilir (HEV)
İşletme maliyeti	Yüksek	Düşük
Motor verimi	~ % 30	~ % 80
Vites	Karmaşık dişli sistemine ihtiyaç var	Sadece bir vitese ihtiyaç var
Gürültü	Yüksek	Sessiz
Altyapı	Gelişmiş	Şarj altyapı eksikliği
Tork	Maksimum tork sağlamak için biraz hız toplamanız gerekir	Motor çalıştıktan hemen sonra anında maksimum tork üretir
Enerji kaynağı	Sadece hidrokarbon kullanır	Birçok kaynaktan üretilen elektriği kullanabilir

5.1 HİBRİT ARAÇLAR (HEV)

Bir HEV, sürüş gücü sağlamak için iki farklı güç kaynağını birleştiren hibrit araç türüdür. Tipik olarak, HEV'ler standart bir içten yanmalı motor (ICE) ve bir elektrik motoruna bağlı bir pil takımı ile donatılmıştır (Hannan et al. 2014). Akünün ve elektrik motoru sisteminin mevcudiyeti ya geleneksel bir ICE aracından daha iyi araç yakıt ekonomisi veya daha iyi performans elde etmeyi amaçlar. Bu temelde, düşük verimli ICE'nin batarya gibi daha yüksek verimli bir güç kaynağıyla birlikte kullanılması nedeniyle elde edilir. Şu anda, otomotiv pazarında çeşitli HEV tipleri bulunmaktadır. Elektrik motorunun maksimum gücü ile güç aktarma sisteminin maksimum gücü arasındaki oran hibridizasyon oranı olarak adlandırılır. Hibridizasyon oranı ne kadar yüksek ise elektrik motorunun kullanım oranı o kadar yüksektir (Hamut et al. 2014). Hibridizasyon oranı düşük ise akaryakıt fazla miktarda kullanılmaktadır. (Poullikkas 2015, Vidyanandan 2018).

5.1.3 Seri HEV

Seri HEV'ler basit bir güç akış mekanizmasına sahiptir (Chan et al. 2010). Aracı sürmek için gereken toplam tork, yalnızca çekiş motoru tarafından sağlanır. Bununla birlikte, ICE aküyü şarj etmek için kullanılır ve genellikle düşük yakıt tüketimi ile en uygun verimlilik noktasında çalıştırılır. ICE, akünün şarj durumuna göre açılır / kapanır ve akünün şarjını %65-75 arasında tutar (Emadi et al. 2006). Seri HEV'ler saf elektrik ve saf motor modu, hibrit mod, rejeneratif fren modu, motor çekiş ve akü şarj modu ve hibrit akü şarj modu gibi farklı modlarda çalıştırılabilir. Enerji, iki kez motor jeneratöründen güç dönüştürücüsüne ve ayrıca çekiş motoruna dönüştürüldüğünde, bu yapılandırmada önemli miktarda enerji kaybı olur (Ehsani et al. 2015). Jeneratör kullanımı, sistemin maliyetinin yanı sıra ağırlığı da arttırmaktadır (Ehsani et al. 2005). Seri HEV'ler, askeri taşıtlar, otobüsler ve lokomotifler gibi ağır ticari taşıtlarda kullanılır (Ehsani et al. 2007) çünkü hacimli motor / jeneratör sistemi büyük taşıtlarda kolayca yerleştirilebilir. Debriyaj ve redüksiyon dişlisinin olmaması, güç aktarma sistemi tasarımında basitleştirme sağlar. Bu yapıyla kısa yolculuklar ve şehir içi sürüş için uygundur (Chan et al. 2004). Daha küçük ICE boyutu sadece jeneratörü çalıştırır ancak daha büyük akü paketi ve çekiş motoru ebadı bu konfigürasyonu paralel HEV'den daha pahalı hale getirir (Ehsani et al. 2005).

5.1.2 Paralel HEV

Bu yapılandırmada, hem motor hem de çekiş motoru, güç aktarımını tekerleklere yönlendirmek için paralel olarak bağlanır. Düşük hızda EV motorunun çalışması tercih edilirken yüksek hızlarda ise sadece ICE çalışır (Rind et al. 2017). Paralel sistem, daha iyi performans elde etmek için daha küçük boyuttaki ICE ve elektrik motorunu kullanır ve genel sistem uyumu ve etkinliğini sağlar (Chan et al. 2010, Ehsani et al. 2007). Hem elektrik motoru hem de ICE üzerinden farklı çalışma modları etkinleştirilebilir. Daha az enerji dönüşümü vardır ve bu nedenle seri konfigürasyonlara kıyasla daha düşük enerji kaybı vardır (Delprat et al. 2001). Bu konfigürasyon kompakt özelliklerinden dolayı Honda Insight, Honda Civic ve Ford Escape gibi küçük araçlarda kullanılmıştır (Ehsani et al. 2007).

5.1.3 Seri-Paralel HEV

Bu konfigürasyon, hem seri hem de paralel hibrit sistemin özelliklerine sahiptir. Bu konfigürasyonun iki farklı sınıflandırması daha vardır: elektrik ağırlıklı ve motor ağırlıklı

(Emadi et al. 2006). Daha verimli devirlere sahip olmak için daha küçük boyutlu ve yüksek verimli bir motor kullanılabilir. Ayrıca, ek elektrik jeneratörü ve planet dişlilerin kullanılması nedeniyle pahalıdır. Buna rağmen birçok otomobil üreticisi bu konfigürasyonu, araçları için daha iyi dinamik performans ve yüksek seyir hızı elde etmek için kullanmaktadırlar (Chen et al. 2009, Ehsani et al. 2007). Bu tasarım, hızlı ve yavaş sürüşte iki farklı güç kaynağını (elektrik motoru ve ICE motoru) kullanma esnekliğine sahip olup daha iyi yakıt ekonomisi ve daha düşük emisyon salınımı sağlayabilir (Rind et al. 2017).

5.2 FİŞLİ (PLUG-İN) HEV

Fişli HEV'ler, 4 kW-saat veya daha fazla bir pil depolama sistemine, pili harici bir kaynaktan şarj etmenin ve elektrik modunda en az 16 km sürüş yapabilme özelliğine sahip HEV'ler olarak tanımlanmaktadır (Pollet et al. 2012). Verimlilik açısından, HEV tipleri arasında en verimli olanı Fişli HEV'lerdir. Fişli HEV'ler, bataryayı, ana şarj modunun olduğu HEV'lerde olduğu gibi uzatmak için ICE'yi kullanmaz. Bunun yerine, bu tür araçlarda, aracı standart bir elektrik prizine takarak elektrik şebekesi tarafından tam olarak şarj edilebilen bir pil takımı bulunur. Ek olarak, rejeneratif frenleme ile şarj alternatifi Fişli HEV'lerin bir özelliğidir. Özellikle sera gazı emisyonları konusunda, Fişli HEV'lerin en büyük avantajlarından biri, aracı beslemek için kullanılan elektriğin, hidroelektrik, güneş veya rüzgâr gibi sıfır emisyonlu yenilenebilir enerji kaynaklarından veya herhangi bir temiz (çevreci) enerji kaynağı kombinasyonundan temin edilmesidir. Böyle bir durumda, Fişli HEV'lerin sera gazı emisyonları diğer HEV'lere kıyasla çok daha düşük olacaktır (Galus et al. 2010). 2017 yılında yapılan bir çalışmaya göre Fişli HEV yeşil güç üretim profillerine göre sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, Fişli HEV'lerin çevresel faydalarından tam olarak yararlanabilmeleri için, piyasaya çıkmaları, sıfır emisyonlu elektrik üretim teknolojileri ile birlikte kullanılması gerekmektedir (Requia et al. 2017). Çeşitli çalışmalar, elektrik şebekesinden şarj edildiğinde, Fişli HEV'lerin tüm yakıt çevrimi boyunca geleneksel ICE araçlarına ve HEV'lerine göre daha az CO₂ ve diğer kirleticileri yayabileceklerini ortaya koymuştur (Davies and Kurani 2013). Bu nedenle, Fişli HEV'ler şebekenin elektriğinin temiz kaynaktan elde edilmesi şartıyla, birçok bölgede ulaştırma sektörünün emisyon etkisini azaltabilir (Denholm et al. 2013).

5.3 BATARYALI ELEKTRİKLİ ARAÇLAR (BEV)

Bataryalı elektrikli araçlara, bataryada bulunan enerjiyi kullanan elektrik motoru güç verir (Poullikkas et al. 2015). Bu konfigürasyonlar BEV'ler ve yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV) için benzerdir (Rind et al. 2017). BEV'lerde fosil yakıt tüketimi ve kullanım aşamasında herhangi bir egzoz emisyonu yoktur (Zhang and Yao 2015). Elektrikli araçlardaki en son yenilik, tekerlek içi yapılandırma (Rind et al. 2017, Vidyanandan 2018). Bu tasarımda, her bir tekerleğe ayrı motorlar (tekerlek içi motorlar olarak bilinir) monte edilir. Motorun ve güç elektroniğinin tekerlek aksamına monte edilmesi verimliliği artırabilmekte, yerden tasarruf sağlayabilmekte ve tasarımcılara gövde tasarımında daha fazla esneklik sağlamaktadır. Herhangi bir karmaşık şanzımana veya tahrik miline ihtiyaç duyulmadan her bir tekerlekte tahrik torkunu ve frenleme kuvvetini bağımsız olarak düzenlemek mümkündür. Bu tekerleklerin rejeneratif frenleme kabiliyeti (yaklaşık %85) çok yüksektir (Vidyanandan 2018). Bu yapılandırma, sadece araç bileşenlerinin sayısını, şanzımandaki enerji kaybını, bakımı ve ağırlığı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda genel sistem güvenilirliğini ve verimliliğini de artırır (Fan et al. 2014). Bu tekerlek içi motor sistemi, yüksek tork ve düşük hızlı uygulamalar için kullanılır (Rahman et al. 2006). Bugün otomotiv pazarında çeşitli BEV'ler mevcuttur. En yeni üretilen BEV'ler en son teknolojiye sahip Li-ion pil takımlarını kullanır ve bu nedenle geliştirilmiş performansa sahiptir. Tipik bir BEV yaklaşık 120–390 km menzile ve en fazla 200 km/saat hıza sahiptir (Poullikkas 2015).

ICEV'ler ve BEV'ler arasındaki benzerlik ICEV'lerin akaryakıt istasyonlarına bağımlı olmaları gibi BEV'lerin de bir elektrik kaynağına bağlanmak zorunda olmalarıdır (Vidyanandan 2018). Bataryanın şarjı, Fişli HEV'lere benzer şekilde standart ev elektrik prizlerinde veya şarj istasyonlarında yapılabilir. HEV'ler ve Fişli HEV'lerde olduğu gibi, BEV'ler de geleneksel ICE araçlarına kıyasla ulaştırma sektörünün zararlı sera gazı emisyonlarında önemli bir azalma sağlama potansiyeline sahiptir. Bu durumda, BEV'lerin kullanılmasıyla sağlanan emisyon azaltma seviyesi Fişli HEV'lerden potansiyel olarak çok daha yüksektir (Tseng et al. 2013). Ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliği açısından alternatif teknolojiler arasında, BEV'ler genellikle ümit vaat eden bir seçenek olarak düşünülmektedir (Hao et al. 2017).

5.4 YAKIT HÜCRELİ ELEKTRİKLİ ARAÇLAR (FCEV)

Yakıt hücreleri, temelde elektroliz sistemiyle çalışan cihazlardır. Bir yakıt hücresi, hidrojenin kimyasal enerjisini, elektrik enerjisine ve ısıya dönüştüren elektrokimyasal bir cihazdır. Yakıt hücresel elektrikli araçlar (FCEV'ler) elektrikli taşımacılık endüstrisinde uzun vadeli bir gelecek potansiyeline sahiptir. Uygulanabilirliği ve işletme performansı, teknoloji geliştiricileri tarafından araştırılmaktadır. FCEV'ler yıllarca süren araştırmalardan sonra EV ve HEV neslinin devamıdır. Bu teknolojiler aynı özellikleri paylaşsa da enerji kaynakları birbirinden farklıdır (Tanç et al. 2018).

Ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliği açısından en umut verici seçeneklerden biri de hidrojenin yakıt olarak kullanılmasıdır. Hidrojen ile çalışan araçlar (yakıt hücresel elektrikli araçlar, FCEV'ler) her ne kadar yüksek yakıt maliyeti ve hidrojen altyapısının olmaması bu araçların dezavantajı olarak görülse de hızla gelişen bir pazara sahiptir ve araştırmalara göre azımsanmayacak ölçüde potansiyel alıcısı bulunmaktadır. Bunun en önemli nedeni ise FCEV'lerin geleneksel taşıtların performansına benzer performans göstermeye başlamış olmasıdır. Buna iyi bir örnek, 2014 yılında Toyota tarafından üretimi başlatılan ve yaklaşık 650 km menzile sahip, maksimum 175 km/saat hıza çıkabilen ve 3 dakikadan daha kısa bir sürede tam tank yakıt ikmali yapan Toyota FCEV Mirai'dir (Brey et al. 2018).

BEV'ler ve FCEV'lerin konfigürasyonları benzerdir. Avantajları arasında, geliştirilmiş araç gücü özelliği, tekerlek içi motor özelliği (Rind et al. 2017, Vidyanandan 2018), daha iyi dinamik performans ile yüksek seyir hızı, daha iyi yakıt ekonomisi ve sıfır emisyon özellikleri bulunmaktadır. Dezavantajları ise, pahalı bir sistem olup karmaşık bir tasarıma sahip olmasıdır (Rind et al. 2017).



BÖLÜM 6

LİTERATÜR TARAMASI

Ulaştırma sektörü, yüksek oranda fosil yakıt tüketimine sebep olmakta ve dolayısıyla olumsuz çevresel etkileri bulunmaktadır. İklim değişikliği ile mücadele ve fosil kaynakların potansiyel azlığı nedeniyle ulaştırma sektöründe sürdürülebilir çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hedefe ulaşmanın ümit verici bir yolu, bir yandan enerjinin daha rasyonel bir şekilde kullanılmasını ve diğer yandan da yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanmasını gerektiren sürdürülebilir enerjinin istihdam edilmesidir (Peura 2013). Bu açıdan, bataryalı elektrikli araçlar (BEV), fişli (plug-in) elektrikli araçlar (PHEV), hibrid elektrikli araçlar (HEV), esnek yakıtlı araçlar (FFV) veya biyoyakıtlı araçlar gibi yenilikçi teknolojilerin kullanılmasıyla fosil yakıtlara olan bağımlılığının azaltılmasının, ulaştırma sektörünün daha sürdürülebilir olmasına yönelik umut verici bir adım olduğu görülmektedir (Nanaki and Koroneos 2013).

Martínez-Lao et al., (2017) araştırmasına göre EV'lerin kullanılmasının, ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliğini sağlamakta önemli bir yeri vardır. Ancak küresel taşımacılık sektörünün %90'ından fazlası petrole dayanmaktadır (Van Vliet et al. 2011). Ulaşım sektörü petrolün tüketilmesinde büyük bir paya sahip ve dünya enerjisinin en hızlı büyüyen tüketicisidir (Amjad et al. 2010). Petrole olan bağımlılığı, ulaştırma sektörünü sürdürülemez bir rotaya oturtmuştur (Martínez-Lao et al. 2017).

Ulaştırma, ekonominin tüm kilit taşları olan malların ve hizmetlerin transferini ve insanların işlerini yapmasını sağlayarak, küresel üretkenliği destekleyen, sonuç olarak ekonomik büyüme için anahtar bir yoldur. Bu nedenle ulaşım ihtiyacını, ulaşımdan kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltma ihtiyacıyla bağdaştırmak önemlidir (Heidrich et al. 2017). İklim değişikliğinin getirebileceği zorlukları (ve fırsatları) ele almak için şehirlere ve sürdürülebilir ulaştırma stratejilerine yoğunlaşmaya acil bir ihtiyaç vardır.

Enerji sürdürülebilirliği tüm dünyanın karşı karşıya olduğu büyük bir sorundur. Xiaomin Li et al. (2017) yenilenebilir enerjilerdeki %1 artışın, EV taleplerinde yaklaşık %2-6 oranında artış sağladığını belirtmektedir. Ayrıca yıllık ortalama dünya enerji tüketiminin önümüzdeki yirmi üç yılda yaklaşık %40 artacağını öngörmüş olup günümüzde, ulaştırma sektörleri küresel enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarının yaklaşık %23'üne katkıda bulunduğunu belirtmiştir. Bunun yanı sıra enerji verimliliğinin artırılması, toplam enerji tüketimini azaltabilir ve EV'leri (elektrikli araçlar) kullanmak, emisyonları yerel olarak azaltabilir sonucuna varmıştır (Li et al. 2017). EV pilleri yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik ile şarj edilebiliyorsa, emisyonlar EV'lerin tüm yaşam döngüleri için önemli ölçüde azaltılabilir (Dias et al. 2014, Hennings et al. 2013, McLaren et al. 2016).

Elektrikli araçların şarj edilmeleri için ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir kaynaklarından elde edilmesi çok önemlidir. Brezilya'da yapılan bir araştırmaya göre Brezilya filosunda EV sayısındaki artışın neden olduğu elektrik enerjisi talebi çevre dostu ve olumlu şekilde karşılanabilmektedir. Çünkü Brezilya'da 2016 yılında elektrik ihtiyacının %84,5'i yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir (%71 hidroelektrik, %7 biyokütle, %6 rüzgâr enerjisi ve %0,5 güneş enerjisi) (De Souza et al. 2018). Buna karşılık dünyanın geri kalanında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik, 2016'da sadece %23,65 idi (Almeida et al. 2018). Ayrıca, sıvı yakıtların kullanımı göz önüne alındığında Brezilya, ICE'lerde yakıt olarak şeker kamışı etanol kullanımı nedeniyle dünyanın geri kalanından daha yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji matrisine sahiptir. Şeker kamışı etanoldeki pozitif enerji dengesi nedeniyle çevresel sürdürülebilirliği teşvik etme potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda, şeker kamışı etanole karşılık gelen ikame edilmiş fosil yakıtı (benzin) ile kıyaslandığında, sera gazı emisyonlarının %80'inden fazlasını azaltmak için önemli bir potansiyele sahiptir (Silva Lora et al. 2011).

Esnek Yakıtlı Araçlar (FFV'ler) 2003 yılında Brezilya'da piyasaya sürülmüştür ve piyasaya sürüldüklerinden bu yana ticari başarı elde etmişlerdir. Sonraki yıllarda, ortalama etanol fiyatlarının benzine kıyasla çok daha az olduğundan konu önem kazanmıştır. Günümüzde, benzin-etanol karışımının artışı %25 - 27 arasındadır ve tüketiciler, FFV'lerini doldurmak için %100 etanol (E100) kullanabilmektedir. FFV'ler bugün Brezilya filosunda satılan yeni araçların %90'ından fazlasını temsil etmektedir ve tüketici talebi nedeniyle bu araçlar ülkenin tüm hafif araç filosunun yaklaşık yarısını oluşturmaktadır (Sozino et al. 2018).

Bugün dünya nüfusunun %54'ü kentsel alanlarda yaşamakta olup bu oranın 2050 yılına kadar %66'ya ulaşacağı öngörülmektedir. Genel olarak kentsel alanlar ve özellikle de kentler yenilikçilik, güç ve refahın merkezidir ve sosyo-teknik geçişleri şekillendirebilir (Hodson and Marvin 2010). Ancak kentsel alanlar aynı zamanda CO₂ emisyonlarının %70'inden sorumludur (Heidrich et al. 2017). Bu nedenle sosyo-teknik geçişler (konvansiyonel araçlar yerine EV ve biyoyakıtlı araçlar kullanılması gibi) çevre ve insan sağlığına sağlayacağı katkılar nedeniyle önemlidir.

Mazur et al. (2015) İngiltere ve Almanya'daki politika hedefleri konusundaki mevcut durumu, düşük emisyonlu araçların hızlı bir şekilde tanıtılması ve yayılması ve aynı zamanda otomotiv endüstrisinin geliştirilmesi ve korunması ile sera gazı emisyonlarının azaltılabileceğini göstermektedir (Mazur et al. 2015).

Kieckhäfer et al., (2016) tarafından yapılan bir çalışmada elektrikli araçların piyasaya yayılımında üretici ve tüketicilerin durumu analiz edilmiştir. Buna göre elektrikli araçlar, iyimser senaryoya göre 2030'da satışların %30,6'sına ulaşacak olup kötümser senaryoda ise %5,3'üne ulaşabilmektedir. Elektrikli araçların pazar gelişiminin desteklenmesi ve devlet sübvansiyonu ile iyimser senaryoya yaklaşma ihtimalinin artacağı düşünülmektedir. Genel olarak tüketiciler, elektrikli araç kullanmayı bir kez tecrübe ettiklerinde memnun kalmakta ve tekrar içten yanmalı motorlu araçlara dönmeyi düşünmemektedir. Böylelikle, elektrikli araç sahipleri, diğer tüketicilere olumlu sözler iletmekte ve bu da ek satışlara neden olmaktadır. Çalışmada birçok senaryo üzerinde durulmuştur ve bunların çoğunluğu fosil yakıt tüketimi ile ilgili olup 2010 yılına kıyasla 2030 yılında %13 - 14 arasında bir yakıt tasarrufu sağlayacağı ve bunun da yılda yaklaşık 5,8 milyar litre fosil yakıt tasarrufu anlamına geldiği belirtilmektedir (Kieckhäfer et al. 2017).

Birçok araştırma elektrikli araçların kullanımının hızla arttığını ve gelecekte de otomotiv piyasasında önemli bir yer edineceğini söylemektedir. Martínez-Lao ve ark.'na göre (2017) kısa bir süre içerisinde, dünya otomobil üreticileri tarafından bir milyon elektrikli araç üretilmiş, pazarlanmış ve satılmış olup bu yeni düşük karbonlu ileri teknolojilere de bir milyon sürücü alışmıştır (Martínez-Lao et al. 2017). 2010'dan bu yana, BEV ve PHEV'ler de dâhil toplam EV sayısı hızla artmıştır. Elektrikli araçlarla ulaşım, sürücüler tarafından benimsenmiştir (Dijk et al. 2013).

2015'teki EV'lerin İngiltere pazar payı %1'in biraz üzerindeydi. İngiltere'nin dekarbonizasyon hedeflerini karşılaması için İklim Değişikliği Komitesi (CCC), ultra düşük emisyonlu araçların 2030 yılına kadar %60'lık bir pazar payına ulaşmasını öngörmektedir (Heidrich et al. 2017). Bu pazar paylarına ulaşmak için önemli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bir dizi çalışma EV alımını artırabilecek olan teşvik ve politika gerekliliklerini araştırmıştır (Bohnsack et al. 2014). Ancak yerel politikaların veya stratejilerin EV kullanımı ve destekleyici altyapısı üzerinde nasıl bir etkisi olup olmadığı çok az bilinmektedir. Yerel iklim değişikliği stratejileri, EV alımında ve kamu ücretlendirme altyapısının sağlanmasında önemli bir etki yaratacağı düşünülmektedir (Heidrich et al. 2017).

Şehirler EV'lerin alımını aktif olarak teşvik etmeye, EV'lerin ergonomik kullanımı için gerekli altyapıyı geliştirmeye ve sürücülerin bu araçları satın almasını engelleyen faktörlerden (bu faktörler doğrudan EV'lerle ilişkili olsun ya da olmasın) bazılarını ortadan kaldırmaya (ya da en azından azaltmaya) başlamalıdır. Bir şehrin iklim değişikliğinin azaltılması stratejisinde EV'ye özgü bir politika varsa o zaman bu şehirdeki EV'lerin sayısında (ya da kullanımında) bir artışa yol açması hususunda başarılı olacağı sonucuna varılmıştır (Heidrich et al. 2017).

Elektrikli araçlar için ilave güç üretimi (yenilenebilir bir kaynaktan) ve altyapı gereksinimleri bir kısıtlama olarak vurgulanmıştır (Oxley et al. 2012). Mazur et al. (2015) tarafından, çevresel faydaların nicelleştirilmesi için ilave araştırma yapılması gerektiği ve potansiyel yerel geçiş politikalarının hükümet hedefleriyle tutarlı olması gerektiği sonucuna varılmıştır (Mazur et al. 2015).

Elektrikli araçlar ile ilgili en büyük sınırlamalardan biri, içten yanmalı taşıtlara kıyasla özerklik eksikliğidir. Elektrikli araçların piyasaya önemli ölçüde nüfuz etmesi, ancak kullanımları bireylerin hareketlilik örüntüleriyle uyumluysa mümkündür (Pasaoglu et al. 2012). Bu nedenle, sürülen mesafenin akülerin şarj edilme aralığı ile uyumlu olması veya park düzenlerinin yeniden şarj etmeyi sağlaması gerekmektedir (Martínez-Lao et al. 2017).

Dünya çapında birçok şehirde yapılan çalışmalar, elektrikli araçların geniş çaplı alımını desteklemek için iklim değişikliğinin azaltılması stratejilerini ve diğer politika önlemlerini gerekli ve faydalı olduğunu göstermiştir (Heidrich et al. 2017). Hükümetler, otomobil/batarya marka isimlerine bakılmaksızın, şarj istasyonlarını standartlaştırmak için yeni yerel yönetmelikler ve düzenlemeler oluşturmalıdır (Li et al. 2017).

Araştırmalara göre en çok iki neden EV taleplerinde artışa yol açacaktır: 1. Çevre bilinci olan tüketiciler yenilenebilir enerji ile EV kullanmak istemektedirler. Bir anketin gösterdiği gibi, eğer elektrik yenilenebilir kaynaklardan geliyorsa, EV taleplerinde %23'lük bir artış olacaktır (Axsen and Kurani 2013). Yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla elektrik enerjisi üretilmesiyle, EV'lerin daha fazla talep edileceği varsayılmaktadır. 2. Pilin şarj ve deşarj özellikleri elektrik maliyeti hesaplarıyla eşleşiyorsa, EV kullanım maliyetleri daha da azaltılabiliyorsa, ekonomik teşviklerle EV sahipleri ucuz elektrik fiyatları ile araçlarını şarj etme imkanına sahip olabiliyorsa EV taleplerinde ciddi bir artış olacaktır (Li et al. 2017).

Moon-Koo Kim et al., (2018) yapmış olduğu çalışmada, Kore'de EV'lere verilen değer ve EV'lerin benimsenmesinde çevresel özelliklerin ve devlet desteğinin ılımlı etkisini belirlemişlerdir. Kore'de 285 sürücüden toplanan anket verilerini kullanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Operasyonel uygulamalar ile EV'lerin ekonomik yararı, EV'lerin benimsenmesinde güçlü bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. EV'lerin çevre dostu olması ve sürüş keyfi de olumlu sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda, devlet aracılığıyla mali teşviklerin ve mali olmayan politikaların doğrudan EV'lerin benimsenmesini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur (Kim et al. 2018). Bazı araştırmalar çevresel meselenin doğrudan EV tercihini ya da benimsenmeyi etkilediğini ortaya koymuştur. Birçok çalışmada da belirtildiği gibi, ücret riskinin EV değer algısında güçlü bir negatif faktör olduğu bulunmuştur. Elektrikli araçların benimsenmesini zorlaştıran bir diğer faktör ise araç satın alma ve pil değiştirme masrafları olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda hangi mekanizmanın etkili piyasa yayılımı sağlayabileceğini anlamak için çalışmalar yapılması gereklidir. Devlet desteklerinin önceki çalışmalarda önemli bir kolaylaştırıcı etkisi olduğu bulunmuştur (Kim et al. 2018).

Chandra et al., (2010), vergi iadelerinin Kanada'daki hibrid elektrikli araçların (HEV) satış üzerindeki etkisini incelemekte ve vergi indirimlerinin HEV'lerin pazar payını artırabileceği sonucunu ortaya koymaktadır (Chandra et al 2010). Bir çalışmada ise tüketicilerin ABD'de elektrikli bir araç satın alıp almama kararı ile ilgili olası sosyo-tekniik engelleri tanımlamaktadır. Tüketicilerin yeni teknolojilere direnme eğiliminin en büyük engel olduğu ve teknoloji meraklıları olan insanların EV'lerin performansını, geleneksel araçlardan daha iyi olduğu sürece satın alacağı sonucuna varmışlardır (Lin and Tan 2017).

Yuan et al., (2015) Çin'in EV'ler için destekleyici politikalarını ve karşılaşılan zorlukları analiz etmektedir. Politikaların kapsamı, sanayi politikaları, kalkınma planları tanıtım

projeleri, mali sübvansiyonlar ve vergi teşvikleri konularının büyük öneme sahip olduğu belirtilmektedir. Karşılaşılan zorluklar ise teknolojik, endüstriyel ve toplumsaldır. Ayrıca çalışmada şarj istasyonları gibi altyapı çalışmalarının hızlandırılması ve yenilenebilir enerji tarafından üretilen elektriğin EV'lerin çevre dostu oluşunu çok daha iyi hale getirecek şekilde artırılması önerilmektedir (Xueliang Yuan et al. 2015).

Birçok ülkede EV'nin mevcut piyasa alımı hala düşüktür (IEA 2018). Hızlı bir şekilde gelişmekte olan bu konu hakkında daha çok disiplinler arası araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Jochem et al. 2018).

Wu et al., (2015) Çin'deki BEV araçlarının toplam maliyetini tüketici perspektifinden incelemiştir. Sonuçlar, BEV'in toplam maliyetinin sürüş mesafesi ve araç sınıfından yüksek düzeyde etkilendiğini göstermiştir. Uzun sürüş mesafesi durumunda, BEV'ler tüm araç sınıfları arasında içten yanmalı motorlu araçlardan çok daha az maliyetlidir sonucuna varılmıştır (Wu et al. 2015). Zhao et al. (2015) de benzer bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonuçları, hükümetten sağlanan sübvansiyonlarla bile BEV'lerin yaşam döngüsü maliyetinin, benzer içten yanmalı motorlu araçlardan yaklaşık %40 daha yüksek olduğunu göstermiştir (Zhao et al. 2015).

Literatür genelinde hâlihazırda toplam BEV maliyetinin geleneksel araçlardan daha yüksek olduğuna inanılmaktadır. Ancak uzun vadede elektrikli araçların içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla çok daha ekonomik olacağı da kabul edilmektedir.

Ulaşım için yakıt kullanımını ve yerel hava kirliliğini azaltmak için EV'ler kesinlikle ICEV'lerden daha üstündür. EV'lerin piyasaya yayılımının artması ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliğinin önüne geçilmesi, sera gazı emisyonlarının ve enerji tüketiminin azalması için oldukça önemlidir (Moriarty and Wang 2017). Elektrik maliyetlerinin, araç-km başına akaryakıt maliyetlerinden çok daha düşük olduğu göz önüne alındığında EV'ler, Avrupa'da daha düşük işletme maliyetlerini sağlayacaktır. Üretilen elektriğin fosil yakıtlar yerine alternatif kaynaklardan sağlanması EV'lere geçişi kolaylaştıracaktır (Moriarty and Wang 2017).

Otomobillerden ve hafif ticari araçlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması için potansiyel bir strateji, mevcut araçların elektrikli olan eşdeğeri ile değiştirilmesi ve filonun elektrikleştirilmesidir. Bu alandaki araştırmalar, daha az karbon yoğunluğa sahip bir elektrik

şebekesine sahip olan bir ülkede yani temiz enerji üretimi yapan bir ülkede CO₂ emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermiştir (Doucette and McCulloch 2011, Ensslen et al. 2017).

Çeşitli araç alternatifleri arasında, bataryalı elektrikli araçlar (BEV) ve şarjlı hibrid elektrikli araçlar (PHEV'ler), sera gazı emisyonları ve enerji tüketimi açısından içten yanmalı motorlu araçlardan daha iyi seçenekler olarak düşünülmektedir. Ancak pratikte, bu araç seçeneklerinden birine karar vermek, bölgesel sürüş profilleri ve kullanılan elektriğin kaynakları gibi zamansal, mekânsal ve teknik farklılıklar nedeniyle o kadar da kolay değildir (Onat vd. 2015). Buna karşın biyoyakıtlar ve doğal gaz gibi düşük karbonlu elektrik kaynaklarından gelen elektriği kullanan BEV'ler, yaşam döngüsü açısından daha sürdürülebilirdir (Hawkins et al. 2012).

Teixeira ve Sodre'nin (2018) çalışmasına göre Brezilya araç filosunun %5'inin yerine EV'lerin gelmesi enerji tüketiminin 26,65 GWh/gün (9,73 TWh/yıl) artacağını belirtmektedir. Buna ek olarak eğer Brezilya filosunun tamamı (%100'ü) EV olsaydı elektrik talebindeki artış %19,40 olacaktı ki buna eşdeğer elektrik tüketimi 533 GWh/gün (194,55 TWh/yıl) olacaktır (De Souza et al. 2018).

Çin'in ithal petrole olan yüksek derecedeki bağımlılığı, enerji kaynağı güvenliği ve Çin ekonomisine ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Petrol arz güvenliğini garantilemenin bir yolu olarak Çin, ulaşım sektöründe petrol kullanımının en aza indirilmesini bir hedef olarak belirlemiştir. Bu nedenle, ulaştırma sektöründe petrol tüketimi ikame edilebilirse, Çin'de enerji güvenliği sorunu daha az olacaktır. Yeni enerji araçlarının ortaya çıkışı ikameyi mümkün kılmaktadır (Lin and Tan 2017). Karayolu sektöründeki petrol ürünleri tüketiminin ulaşım sektörüne oranı yaklaşık %70 olup, bu durum karayolu sektörünün tüm ulaşım sektörünün enerji tüketiminde hayati bir rol oynadığını göstermektedir (Lin and Xie 2013).

Hofmann et al. (2016), içten yanmalı motorlu araçların yerine elektrikli araçların kullanılmasında, elektrik üretim sektörünün enerji yapısını değiştirmemesi durumunda ulusal toplam CO₂ emisyonlarının değişmeyeceğini kanıtlamaktadır (Hofmann et al. 2016).

Teixeira ve Sodre'nin 2016 yılında yapmış olduğu çalışma, motorlu araçların elektrikli araçlarla değiştirilmesinin CO₂ emisyonları ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini

değerlendirmektedir. AVL Cruise yazılımının yardımı ile bir taksi filosunun değiştirilmesi için vaka çalışması yapılmıştır. Simülasyon, 15 yıllık bir süre boyunca toplam veya kısmi filo değişimi üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolar, elektriğin alternatif kaynaklardan veya fosil yakıtlardan üretildiği koşullar göz önüne alınarak belirlenen CO₂ emisyon faktörlerine dayanmaktadır. Simülasyonlar, elektrikli araçların elektrik enerjisi tüketiminin içten yanmalı motorlu araçların yakıt tüketiminden yaklaşık dört kat daha düşük olduğunu göstermektedir. Çalışma tamamlandığında, en olumsuz senaryoyu göz önünde bulundurarak elektrikli araçların içten yanmalı motorlu araç filosuna göre daha az CO₂ emisyonu üreteceği düşünülmektedir. Bu araştırmanın ekonomik çıktısı ise yıllar içinde elektrikli araçların bugünkü değerinin -taşıtlar alımından sonraki ilk yıl hariç olmak üzere- konvansiyonel araçlardan daha düşük olduğunu göstermektedir (Teixeira and Sodré 2016).

Mevcut konvansiyonel araçların elektrikli olan eşdeğeri ile değiştirilmesi ve filonun elektrikleştirilmesinin CO₂ emisyonlarında önemli oranda azalma sağlamaktadır. Bunun yanı sıra EV'lerin çevresel etkilerinin geniş perspektifte analizinin yapılabilmesi için "Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi" (Life Cycle Assessment - LCA) çalışmaları da dikkate alınmalıdır (Hawkins et al. 2012, Heidrich et al. 2017). EV'nin tam yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasına göre EV kullanımının faydalarının daha önce hesaplanandan daha yüksek olabileceğini göstermiştir (Duarte et al. 2016).

Çek Cumhuriyeti ve Polonya'daki EV'lerin yaşam döngüsü değerlendirmesi 2015 (mevcut durum) ve 2050 (yenilenebilir enerjinin daha çok kullanıldığı senaryo) yılları için yapılmış olup çevresel etkileri kıyaslanmıştır. EV kaynaklı sera gazı emisyonu miktarlarının ve fosil yakıt tüketiminin içten yanmalı motorlara kıyasla daha düşük olduğu belirtilmiştir. Ancak çalışma sonucunda karasal ekosistemlerdeki asidifikasyon, tatlı sulardaki ötrofikasyon, insan sağlığına toksik etkiler ve partikül madde oluşumu gibi çevresel etkiler, EV'ler ile kıyaslandığında içten yanmalı motorlu araçlarda daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber EV'lerin yenilenebilir enerji ile birlikte kullanılması durumunda çevresel etkilerinin azaldığı belirtilmiştir (Burchart-Korol et al. 2018). Benzer olarak Ma ve arkadaşları, Kaliforniya ve İngiltere şebekeleri için tam yaşam döngüsü esasına göre EV'ler ve ICEV'lerden oluşan sera gazı emisyonlarını karşılaştırmıştır. EV performansının düşük hızlı şehir içi sürüş koşullarında iyi sonuçlar verdiğini ve taşıtlar üretiminde sera gazı emisyonlarının büyük ölçüde batarya üretimi nedeniyle ICEV üretiminden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır (Ma et al. 2012). Aynı şekilde Weeberb et al., (2017) sekiz Kanada şehrinde

(Vancouver, St John's, Charlottetown, Halifax, Montreal, Toronto, Regina ve Calgary) bir yaşam döngüsü analizi kullanarak PHEV'lerin CO₂ emisyonlarını değerlendirmiştir. Çalışma sonuçları, CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltmak için PHEV'lerin üretim ve kullanım süreçlerinde yenilenebilir enerji seçenekleriyle entegre edilmesi gerektiğini tekrarlamıştır. Çalışmada, yenilenebilir enerji ile üretilen elektriğin kullanımıyla çok büyük oranda CO₂ emisyonu tasarrufu gerçekleşeceği belirtilmektedir (Requia et al. 2017).

Ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliği açısından alternatif teknolojiler arasında, BEV'ler genellikle ümit vaat eden bir seçenek olarak düşünülmektedir (Hao et al. 2017). BEV'lerde fosil yakıt tüketimi ve kullanım aşamasında herhangi bir emisyon yoktur (Zhang and Yao 2015). Çin 2020 yılına kadar 5 milyon adet kümülatif BEV satışına yönelik iddialı bir hedef belirlemiştir ve bu da Çin'de BEV pazarı için büyük bir büyüme potansiyeli anlamına gelmektedir (Hao et al. 2017). Çin'de yapılan birçok çalışma BEV'lerin Çin'de sera gazı emisyonlarını azalttığı sonucuna varmıştır. Öyle ki Ou et al. (2010) Çin'in kömürden elde edilen elektrik kullanılsa bile BEV'lerin geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla yaşam döngüsü analizindeki sera gazı emisyonlarını azaltabildiği sonucuna varmıştır (Ou, Yan and Zhang 2010). Bir başka çalışmada da Çin'deki çeşitli bölgesel enerji şebekelerinde BEV'lerin CO₂ emisyonlarını karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, BEV'lerin 2009 yılında sera gazı emisyonlarını ulusal düzeyde %17,1 azalttığını göstermiştir (Zhou et al. 2013). Başka bir çalışmada ise Çin'de BEV'lerin sera gazı emisyonlarını azaltmadaki potansiyeli ile ilgili tahmini çalışma yapmıştır. Yaşam döngüsü perspektifinden BEV'lerin Çin'de sera gazı emisyonlarını %56 azaltabildiği sonucuna varmışlardır (Hao et al. 2017). Buna karşın, başka bir çalışma ise BEV'lerin sera gazı emisyonlarını arttıracığı sonucuna varmıştır. Çalışmaya göre Çin'de içten yanmalı motor ve BEV'lerin bir yaşam döngüsü değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, BEV'ler geleneksel araçlarla karşılaştırıldığında 2009 yılında sera gazı emisyonlarını %16,5 oranında artırmaktadır. 2020'de, BEV'lerin sera gazı emisyonlarını %11,3 oranında arttıracığını tahmin etmişlerdir (Wang et al. 2013). Bununla birlikte, sera gazı emisyonlarının azaltılmasının değerlendirilmesi ekonomik açıdan dengelenmelidir. BEV'ler daha temiz bir elektrik şebekesi ile sera gazı emisyonlarını azaltabilecek olsa da nispeten klasik araçlardan daha yüksek yatırım maliyetine sahiptir. Sera gazı emisyonunun azaltılmasında çok sayıda teknoloji olduğu için, BEV'in en ekonomik teknoloji yolu olup olmadığı konusunda şüpheler devam etmektedir (Rezvani et al. 2016).

Tam Elektrikli Araçların sadece akülerin yardımıyla çalışması nedeniyle akülerin sürekli olarak yeniden şarj edilmesi gerekmektedir. Bunun için gerekli olan elektrik enerjisinin daha fazla sera gazı emisyonuna sebep olan konvansiyonel santrallerden üretilmesi elektrikli araçların kullanım amacına tam anlamıyla ters düşen bir durumdur. Yapılan bir çalışmada, bu sorunun üstesinden gelmek ve EV'lerin batarya bağımlılığını azaltarak menzilini uzatmak için hem yenilenebilir kaynaklara (rüzgâr ve güneş) sahip olan hem de EV'lerdeki aküleri araç seyir halindeyken şarj eden yeni bir şarj etme mekanizması önermiştir (Chellaswamy and Ramesh 2017). Bu mekanizma aracın üzerine monte edilen bir rüzgâr kanalı ve güneş panelinden oluşmakta olup daha detaylı bilgiye Chellaswamy ve Ramesh'in çalışmasından ulaşmak mümkündür. Bu araçlar, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak ve böylece sera gazı emisyonunu ve diğer kirleticilerin miktarını azaltmak için kullanılmaktadır.

Genel olarak, endüstriyel devrimin ve insanların iklim sistemini açıkça etkilediğinden, CO₂ gibi küresel sera gazı konsantrasyonlarının, insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak belirgin bir şekilde arttığı kabul edilmektedir. 1970 ve 2004 yılları arasındaki antropojenik sera gazı emisyonlarındaki en büyük artışın nedeni temel olarak enerji tedariki, endüstriyel faaliyetler ve ulaştırma sektörüne bağlanmıştır. Özellikle taşımacılık, büyük ölçüde fosil yakıtlara dayanmakta ve küresel düzeyde enerji kaynaklı sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır (Heidrich et al. 2017).

İngiltere'de İklim Değişikliği Yasası (İklim Değişikliği Yasası ve Parlamento Etkinlikleri (AoP) 2008), 2050 yılına ait net karbon hesabının Kyoto seviyesinden (1990 yılı emisyon miktarı) en az %80 daha az olmasını sağlamak için ülkeye bir görev ve sorumluluk yüklemiştir. Yasa, karbon yönetimini geliştirmeyi ve İngiltere'nin düşük karbon ekonomisine geçişine yardımcı olmayı hedeflemektedir. Ülkenin toplam sera gazı emisyonu, 2013 yılında 1990 seviyelerine göre %29 daha düşük iken taşımacılık sektöründen kaynaklanan emisyonlar 2013 yılında 1990 seviyelerine kıyasla neredeyse sabit kalmıştır. Ulaştırma sektöründeki emisyon azaltımlarının genel azaltma hedeflerini karşılamak için gerekli olduğu ve emisyonların büyük bir kısmının içten yanmalı motorlu araçlardan geldiği için, iklim değişikliğinin azaltılması stratejileri, karayolu taşımacılığı için ultra düşük karbonlu araçların alımını desteklemektedir (Heidrich et al. 2017).

Taşımacılık sektöründeki artan petrol tüketimi ile birlikte otomobil emisyonları çoğu ortamda kirliliği daha da kötüleştirmiştir. Otomobil emisyonları arasında fotokimyasal sise (yer

seviyesi ozonu) neden olabilen uçucu organik bileşikler, azot oksitler (NOx) ve karbon monoksit (CO) bulunmaktadır. Los Angeles ve Tokyo'da 1940'lardan beri fotokimyasal sis kazaları birçok can kaybına ve ekonomik zarara neden olmuştur. Daha da kötüsü, otomobil emisyonlarının, yer seviyesindeki bulanıklığın ve pusun kaynaklarından biri olan tipik olarak ince askıda kalmış partiküllere neden olduğu kanıtlanmıştır. Puslu hava, akciğer hastalıkları, şehirlerdeki trafik sıkışıklıkları ve ekonomik kayıp gibi çok ciddi sonuçlara yol açabilmektedir. Neyse ki, EV'ler, geleneksel yakıtlı otomobillerin yaptığı gibi zararlı emisyonlar yaymaz ve kirlilik sorununu çözmek için yeni bir seçenek sunmaktadır. CO₂ emisyonlarını kontrol etmek için iklim politikaları ile incelendiğinde EV'ler bu açıdan etkili olabilmektedir (Lin and Tan 2017).

Lin et al. (2017) araştırmasına göre, BEV'nin enerji kullanım verimliliği içten yanmalı motorlu araçların iki katıdır ve en fazla geleneksel olanların emisyonlarının yarısını yayarlar (B. Lin and Tan 2017). Kısacası, EV'ler şehirlerdeki hava kalitesini iyileştirmede önemli bir rol oynayabilmektedir.

Tang et al (2013) Her otomobilin toplam enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını değerlendirdikleri çalışmada Çin'deki EV'lerin uzun vadede çevre dostu olacağı ancak kısa vadede sınırlı bir etkiye sahip olacağı sonucuna varmışlardır (Tang et al. 2013).

EV'lerin, genellikle karayolu yolcu taşımacılığı başta olmak üzere, küresel ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını ve enerji tüketimini azaltmak için önemli bir araç olduğu düşünülmektedir (Moriarty and Wang 2017).

BEV ve HEV'leri içermek için kullanılan elektrikli araçlar, bu sorunları çözmeye önemli bir araç olarak kabul edilmektedir. Ek olarak, kentsel hava kirliliğini iyileştirmeye yardımcı oldukları görülmektedir (Moriarty and Wang 2017). Requía ve diğ.'nin (2017) yapmış olduğu çalışmaya göre Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEV) yeşil güç üretim profillerine göre sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeline sahiptir (Requía et al. 2017).

Lluc Canals Casals et al. (2016) EV'lerin ve içten yanmalı motorlu araçların küresel ısınma potansiyelini karşılaştırma yaparak değerlendirmiştir. Bu çalışma Avrupa'da birçok ülkede EV'lerin yaygın kullanımının uygunluğunu ele alırken yeni bir yaklaşım olduğunu da ortaya koymaktadır (Canals Casals et al. 2016).

Hawkins et al. (2012) Avrupa genelinde desteklenen EV'lerin, küresel ısınma potansiyelinde (GWP), içten yanmalı motorlu araçlara oranla %10-24 oranında bir düşüş sağladığını ve 150.000 km'lik bir kullanım ömrüne sahip olduğunu göstermektedir. Çalışma sonuçlarına göre literatür ile benzer olarak hem elektrik hem de ulaştırma sektörü tarafından üretilen net sera gazı emisyonlarında düşüş sağlamak için altyapının iyileştirilmesi ve yenilenebilir payın artırılması EV'nin yaygınlaştırılmasından önce gelmelidir (Hawkins et al. 2012).

EV'ler için LCA yapıldığında diğer çevresel kazanımların küresel ısınma potansiyelinin ötesine geçtiğini bilmek gerekmektedir. Ulaşımın elektrikleştirilmesinden fosil yakıtlara daha az bağımlılık gibi başka faydalar ortaya çıkmaktadır. Kentsel alanlardaki hava kirliliğine dair çevre bilincinin artması insan sağlığı üzerinde önemli sonuçlar doğurmaktadır. Sonuçta yenilenebilirliğin payı ile EV arasındaki bağlantı açıktır ve bu nedenle EV yaygınlaşmasını teşvik etmeden önce enerji üretim sektörünün sürdürülebilirliği önemlidir (Canals Casals et al. 2016). Mevcut çalışmalardaki farklı sonuçlara rağmen BEV'lerin daha temiz elektrik üretimi altında sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeline sahip olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Hao et al. 2017).

Genel olarak sonuç, EV'lerin enerji ve sera gazı faydalarının genellikle varsayıldığından daha az olduğudur. Sadece elektrik ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarının egemen olması durumunda, EV üstünlüğünü kesin olarak iddia etmek mümkün olacaktır (Moriarty and Wang 2017).

Trost et al. (2017) tarafından muhtemel bir senaryo analizine dayanarak, araç filosunu, nihai enerji talebini ve karbon dioksit emisyonlarını 2050 yılına kadar belirlemek için Almanya'da bireysel motorlu araç trafiği için araç filosu gelişmelerini araştırmıştır. Çalışmaya göre kısa ve orta vadede içten yanmalı motorlu araçlar, verimlilik ve doğal gazın otomotiv yakıtı olarak kullanılmasının bir sonucu olarak filoya hâkim olacaktır. Elektrikli "güç aktarma organlarının" gelişimi başlangıçta hibrit araçları işaret ederken uzun vadede bataryalı elektrikli araçlar (BEV) filo yapısına hâkim olacaktır (Trost et al. 2017).

BÖLÜM 7

YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ (LCA)

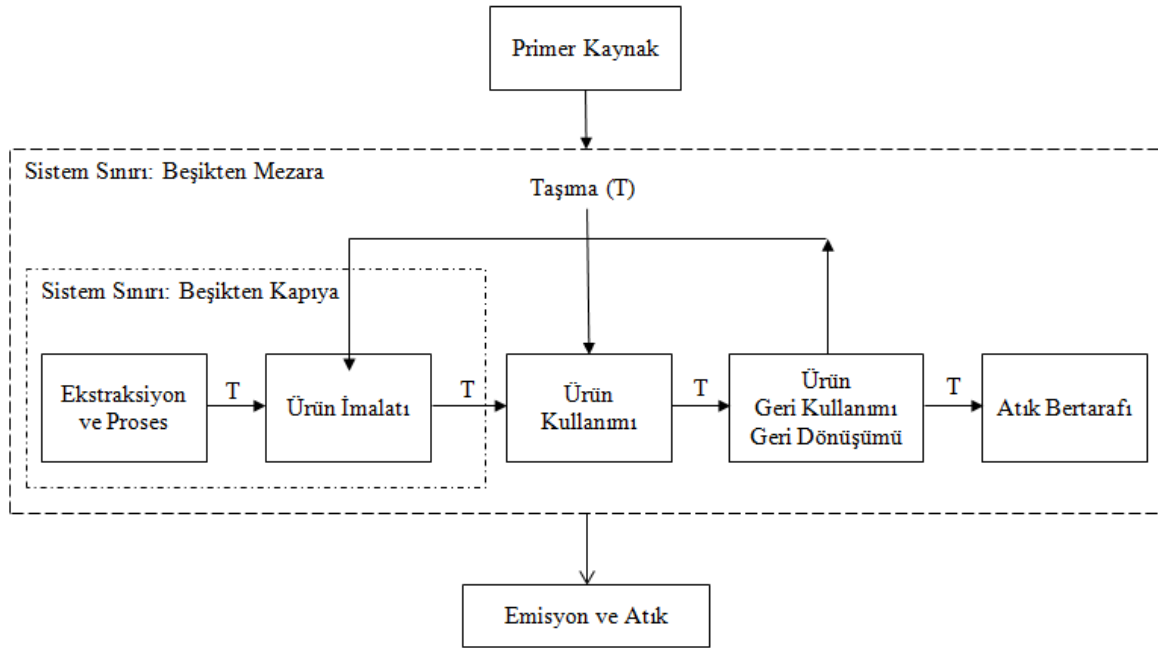
Tüketici ürünlerinin çevresel etkilerinin incelenmesi, 1960'lı ve 1970'li yıllara dayanan bir geçmişe sahiptir. Giderek, bir ürünün ya da birkaç alternatif ürünün yaşam döngüsünü ele almanın önemi böylece 1980'lerde ve 1990'larda sorun haline gelmiştir. Böylece Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assessment - LCA) fikri ortaya çıkmıştır (Demirer 2017).

LCA, bir ürünün, işlemin veya etkinliğin beşikten mezara kadar çevresel etkilerinin tanımlanmasını, nicelleştirilmesini ya da hammaddelerin ve atıkların nihai bertarafa çıkarılmasını sağlayan bir çevresel yönetim aracıdır. LCA, bazı endüstriyel sektörlerde (örneğin, enerji) 20 yılı aşkın süredir kullanılmasına rağmen, 1990'ların başından bu yana daha önemli bir yer ve metodolojik gelişme elde etmiştir. Yaygın kullanımı, özellikle yaşam döngüsü düşüncesinin, AB Eko-Yönetim ve Denetim Programları (EMAS) (EC 1993), ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemleri (ÇYS) (ISO 1996) ve Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) ile ilgili AB Direktifi (EC 1996) dâhil olmak üzere, çeşitli çevresel yönetim standartları ve yasama eylemlerinin de eklenmesiyle desteklenmiştir. Bugün, LCA iyi kurulmuş bir araçtır. Endüstri, araştırma ve politika yapımında çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Azapagic 2008). Bu çalışmada LCA'nın yenilenebilir temelli sistemlere dayalı olan çevresel sürdürülebilirlik aracı olarak kullanımı üzerinde durulmaktadır.

7.1 LCA METODOLOJİSİ

LCA metodolojisi ISO 14040–14043 standartları ile standartlaştırılmıştır (ISO 1997, 1998a, 1998b, 1998c). ISO 14040 (ISO, 1997) tarafından tanımlandığı gibi, LCA bir ürünün yaşam döngüsü boyunca girdilerin, çıktıkların ve potansiyel çevresel etkilerinin, hammaddelerin üretim, kullanım ve atık bertarafı yoluyla elde edilmesi, derlenmesi ve değerlendirilmesidir (beşikten mezara). Şekil 4, bir ürünün LCA'sında normal olarak kabul edilen yaşam döngüsü aşamalarını göstermektedir. Standart sadece ürünlere atıfta bulunmasına rağmen, LCA ayrıca

süreçlerin ve teknolojilerin, hizmetlerin veya faaliyetlerin çevresel etkilerini hesaplamak için de kullanılabilir (Azapagic 2008).



Şekil 7.1 Bir Ürünün Yaşam Döngüsündeki Aşamaları (Azapagic 2008).

ISO 14040'a göre (ISO, 1997), LCA metodolojisi aşağıdaki dört aşamayı içermektedir:

- Amaç ve kapsam tanımı (ISO 14041 tarafından tanımlanan),
- Envanter analizi (ISO 14041 tarafından tanımlanan),
- Etki değerlendirmesi (ISO 14042 tarafından tanımlanan), ve
- Yorum (ISO 14043 tarafından tanımlanan).

7.1.1 Amaç ve Kapsam Tanımı

Bir LCA'nın yürütülmesi süreci ve sonuçları büyük ölçüde bir çalışmanın amacı ve kapsamı ile belirlenir. Her LCA'da veriler ve sistem sınırları farklı olabilir. Bu nedenle bunların çalışmanın amacına uygun olarak tanımlanması önemlidir. Tam LCA çalışmalarında, sistem sınırı, hammaddelerin nihai bertarafa, yani beşikten mezara çıkarılmasından yaşam döngüsündeki tüm aşamaları kapsayacak şekilde çizilir. Bu, Şekil 7.1'de tasvir edilmiştir. Ancak, bazı durumlarda, çalışmanın kapsamı, yaşam döngüsündeki tüm aşamaları içermesinin uygun veya mümkün olmayan farklı bir yaklaşım gerektirecektir. Bu genellikle çok farklı kullanımları olan hammaddeler ve ürünlerin üretim aşamasından sonra sayısız yaşam döngüsünün takip edilmesi gereken durumlardır ki bu mümkün değildir. Bu tür çalışmaların

kapsamı hammaddeden fabrika kapısına kadar olan bir ürünü takip edebilir. Bunun anlamı “beşikten kapıya” kadar değerlendirmedir (bkz. Şekil 7.1) (Azapagic 2008).

LCA'nın en önemli unsurlarından biri fonksiyonel birimdir. Fonksiyonel birim, sistemin sunduğu ürünlerin veya servislerin çıktılarının niceliksel bir ölçüsünü temsil eder. Karşılaştırmalı LCA çalışmalarında, alternatif sistemlerin, eşdeğer bir fonksiyon, yani fonksiyonel ünite bazında karşılaştırılması çok önemlidir. Bu aşama ayrıca zamana, coğrafi konuma ve kapsanan teknolojilere göre veri kalitesinin değerlendirilmesini de içermelidir. Tamlık, temsiliyet, tutarlılık ve tekrar üretilebilirlik, verilerin kalitesini değerlendirmek için kullanılan kriterlerden bazılarıdır. Son olarak, çalışmanın varsayımları ve kısıtlamaları da bu aşamada açıkça belirtilmelidir. Ek veri ve bilgiler mevcut olduğunda, bir LCA uygulaması sürecinde amaç ve kapsam sürekli gözden geçirilir ve iyileştirilir (Azapagic 2008).

7.1.2 Envanter Analizi

Yaşam döngüsü envanteri (LCI) analizi, çalışmanın amaçlarını karşılamak için gerekli olan çevresel yüklerin toplanmasını içerir. Çevresel etkiler, sistemde kullanılan malzemeler ve enerji, havaya yayılan emisyonlar, sıvı atık maddeler ve çevreye boşaltılan katı atıklarla tanımlanır. Daha fazla detay ISO 14041'de (ISO 1998a) bulunabilir. Amaç ve kapsam tanım aşamasındaki bir ön sistem tanımının ardından, LCI aşamasında veri gereksinimlerini tanımlamak için sistem ayrıntılı olarak belirtilir. Sistem, bazı tanımlanmış işlevleri yerine getiren, maddi ve enerjisel olarak bağlı işlemlerin (örneğin, bir üretim süreci) bir toplamı olarak tanımlanmaktadır. Detaylı sistem karakterizasyonu, birbiriyle bağlantılı bir dizi alt sisteme ayrılmasını içerir.

İncelenen sistem birden fazla işlevsel çıktı üretiyorsa, sistemden kaynaklanan çevresel yükler bu çıktılar arasında paylaşılmalıdır. Bu, örneğin ortak ürün, yeniden kullanım ve geri dönüşüm sistemleri için geçerlidir, LCA'da bu sistemler çok fonksiyonlu sistemler olarak bilinir. Paylaştırma, çok işlevli bir sistemin her bir işlevine yalnızca işlevini oluşturan çevresel yüklerin atanması işlemidir. ISO 14041 (1998a), tahsisatla başa çıkmak için üç yöntem önerir:

- Mümkünse, verilen sürecin farklı alt işlemlere ayrıştırılması veya sistemin genişletilmesi,

- Paylaştırmadan kaçınmanın mümkün olmaması durumunda, paylaşırma sorunu, fonksiyonel birimler arasındaki temel fiziksel ilişkileri yansıtan sistem modellemesi kullanılarak çözümlenmelidir,
- Fiziksel ilişkilerin kurulamadığı durumlarda, işlevsel çıktılarının ekonomik değeri de dâhil olmak üzere diğer ilişkiler kullanılabilir.

Kullanılan paylaşırma metodu genellikle LCA çalışmasının sonuçlarını etkileyecektir. Bu nedenle uygun bir paylaşırma yönteminin belirlenmesi çok önemlidir. Paylaşırma yönteminin sonuçlara etkisini belirlemek için farklı paylaşırma yöntemlerinin kullanılmasının mümkün olduğu durumlarda duyarlılık analizi yapılmalıdır. Paylaşırma hakkında daha fazla tartışma Azapagic ve Clift (1999)'de yer almaktadır (Azapagic 2008).

7.1.3 Etki değerlendirilmesi

Yaşam döngüsü etki değerlendirilmesi (LCIA) üçüncü LCA aşamasıdır ve temel amacı, LCI'da belirtilen çevresel yükleri ilgili potansiyel çevresel etkilere (veya kategori göstergelerine) çevirmektir. Aşağıdaki üç zorunlu adımda gerçekleştirilir (ISO 1998b):

- I. Etki kategorisi, kategori göstergeleri ve LCIA modelleri,
- II. Sınıflandırma,
- III. Karakterizasyon.

Etki kategorilerinin, kategori göstergelerinin ve LCIA modellerinin seçimi, LCA çalışmasının amacı ve kapsamı ile tutarlı olmalı ve incelenmekte olan sistemin çevresel sorunlarını yansıtmalıdır. Sınıflandırma, çevresel yüklerin insan ve ekolojik sağlık üzerindeki etkilerini ve kaynakların tükenmesinin derecesini belirtmek için daha az sayıda çevresel etki kategorisinde toplanmasını içerir.

Bu aşamada ayrıca isteğe bağlı üç adım daha eklenir:

- 1 normalleştirme,
- 2 gruplama,
- 3 etkilerin ağırlıklandırılması.

Etkiler, belirli bir alandaki ve belirli bir zaman dilimindeki emisyonlara veya ekstraksiyonlara göre normalleştirilebilir. Bu, bir faaliyetin bölgesel veya küresel çevresel etkilere ne ölçüde katkıda bulunduğunun değerlendirilmesine yardımcı olabilir. Ancak hem bölgesel hem de küresel ölçekte birçok etki için güvenilir veri bulunmamasından dolayı normalleşme sonuçları dikkatli bir şekilde yorumlanmalıdır (Azapagic 2008).

Gruplandırma, kalitatif veya yarı kantitatif sıralama ve / veya etkilerin sıralanmasını içerir ve bunların etkilerine göre geniş bir etki kategorileri sıralamasına veya hiyerarşisine neden olabilir. Örneğin, kategoriler yüksek önem, orta önem ve düşük öncelikli konular açısından gruplandırılabilir. Gruplandırmayı içeren bazı yöntemler sözel-tartışmacı yaklaşım ve sıralama yöntemidir (Azapagic 2008).

LCIA'daki son aşama, genellikle değerlendirme olarak adlandırılan, etkilerin ağırlıklandırılmasıdır. Etkilerine göre izafi önemlerini belirtmek için önem ağırlıklarının verilmesini içerir. Ağırlıklandırma muhtemelen metodolojinin en tartışmalı adımıdır. Çünkü temelde sosyal, politik ve etik değer seçimlerini içerir. Şu anda, çevresel etkilerin tek bir çevresel etki işlevinde nasıl toplanacağı ve hatta bu topluluğun kavramsal ve felsefi olarak geçerli olup olmadığı konusunda bir fikir birliği yoktur (Azapagic 2008).

7.1.4 Yorum

Bu aşamanın temel amacı, sonuçları analiz etmek, sonuçlara ulaşmak, sınırlamaları açıklamak ve LCI ve / veya LCIA'nın bulgularına dayanarak öneriler sunmaktır (ISO 1998c).

LCI ve LCIA'da gerçekleştirilen çevresel etkilerin nicelleştirilmesi, bu sorunlara katkıda bulunan en önemli sorunların ve yaşam döngüsü aşamalarının tanımlanmasını sağlar. Bu bilgiler daha sonra sistem iyileştirmeleri veya yenilik için bu "sıcak noktaları" hedeflemek için kullanılabilir.

Hassasiyet analizi, son sonuçlara varılmadan önce yapılmalı ve çalışmanın önerileri yapılmalıdır.

Duyarlılık analizi, veri değişkenliği, belirsizlikler ve veri boşluklarının çalışmanın nihai sonuçları üzerindeki etkilerini belirlemeye yardımcı olabilir ve çalışmanın nihai sonuçlarının güvenilirlik seviyesini gösterir.

Son olarak, çalışmanın bulguları ve sonuçları çalışmanın kullanım amacına uygun olarak rapor edilmiştir. Rapor, ISO 14040'ta (ISO 1997) detaylandırılan çalışmanın eksiksiz, şeffaf ve tarafsız bir şekilde anlatılmasını sağlamalıdır. Eğer alışma harici olarak kullanılıyorsa, bağımsız bir danışman tarafından eleştirel bir inceleme yapılmalıdır. LCA metodolojisi ile ilgili daha fazla ayrıntı ISO 14040-14043 standart serilerinde bulunabilir (ISO 1997, 1998a-c). (Azapagic 2008).

7.2 ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN GÖSTERGELERİ OLARAK LCIA ETKİ KATEGORİLERİ

Çevresel müdahaleleri ve ilgili etkileri nicelleştirme yeteneğinden dolayı, LCA doğal olarak çevresel sürdürülebilirliği değerlendirmek için bir araç olarak kullanılır. LCA'nın bu amaçlar için kullanımı iki yönlü olabilir:

Belirli bir sistem için ilgili veya önemli çevresel göstergelerin belirlenmesi (ISO 1997), sistemin iyileştirilmesi veya alternatif sistemlerle karşılaştırılması için genel çevresel sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi.

Çalışmanın amacı ve kapsamına bağlı olarak, çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri envanter veya etki değerlendirme düzeyinde tanımlanabilir. Eski tip göstergeler, çevresel yükler, yani biyotik (yenilenebilir) ve abiyotik (yenilenemeyen) kaynakların kullanımı, hava emisyonları, su deşarjları ve katı atıklarla tanımlanmaktadır. LCIA seviyesinde tanımlanan göstergelerin örnekleri arasında biyotik ve abiyotik kaynakların tükenmesi, küresel ısınma potansiyeli, yer seviyesi ozonun oluşması ve insan toksisitesi sayılabilir. Sürdürülebilirlik göstergeleri olarak çevresel yüklerin kullanımı, incelenen sistem için kütle ve enerji dengelerini gerçekleştirerek hesaplandığı için oldukça basittir (Azapagic and Perdan 2000). Bununla birlikte, çevresel etkililiğin göstergeleri olarak uygun etki kategorilerinin kullanılması çok daha karmaşıktır ve sonuçların yorumlanması daha zordur. Bu nedenle, bu bölümün geri kalanı ürünler, süreçler ve hizmetler için uygun sürdürülebilirlik göstergelerini tanımlamak için çeşitli LCIA yöntemlerinin kullanımına odaklanmaktadır.

LCIA yöntemleri iki genel gruba ayrılır:

- 1 sorun odaklı yaklaşımlar,
- 2 hasar odaklı yöntemler.

Sorun odaklı yöntemlerde çevresel yükler, neden olabilecekleri çevresel etkilere nispi katkılarına göre toplanır. Sorun odaklı yaklaşımda en sık görülen etkiler kaynak tükenmesi, küresel ısınma, ozon tabakasının incelmeye, asitlenme, ötrofikasyon, fotokimyasal oksidan oluşumu, insan toksisitesi ve ekotoksisitedir. Sorun odaklı yaklaşımların tipik örnekleri CML metodu ve EDIP metodudur (Azapagic 2008). Sorun odaklı yaklaşımlar genellikle “orta nokta” olarak adlandırılır. Çünkü LCI'nın çevresel müdahalelerini, müdahalenin noktası ile bu müdahalenin neden olduğu nihai zarar arasında orta konumda bir yerde bağlarlar (bkz. Şekil 6.3).

Hasar odaklı yöntemler ise insan sağlığı, doğal ve insan yapımı çevreyi içeren “koruma alanlarına” çevresel müdahalelerin neden olduğu “son nokta” zararını modellemektedir. Hasar odaklı yöntemlerin tipik örnekleri, EPS 2000 (Azapagic 2008) ve Eco-Indicator 99'dur (Goedkoop and Spriensma 2001). Yeni önerilen IMPACT 2002+ yöntemi (Olivier Joliet et al. 2003), sorun ve hasara yönelik yaklaşımları ortak bir çerçevede birbirine bağlamaya çalışmaktadır.

Aşağıdaki bölümler en yaygın kullanılan üç LCIA yöntemine kısa bir genel bakış sunmaktadır: CML 2 Baseline, EPS 2000 ve Eco-gösterge 99.

İlgili (veya önemli) göstergeleri tanımlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel sürdürülebilirliğini, yenilenebilir olmayan kaynaklardan üretilen enerjiyle karşılaştırmak için nasıl kullanılabileceğini göstermek için basit bir örnek kullanılır.

7.2.1 CML 2 Baseline Method

Bu yöntemde, Guinée ve diğ. (2001), çevresel yükler, çevre sorununa nispi katkılarına veya potansiyel olarak neden olabilecekleri etkilerine göre toplanmaktadır. Orta nokta kategorileri olarak tanımlanan bazı etkiler dâhil edilmiştir (bkz. Şekil 6.3): Bunlar, abiyotik kaynakların tükenmesi, arazi kullanımının etkileri, iklim değişikliği (küresel ısınma), stratosferik ozon

azalması, asitlendirme, ötrofikasyon, fotokimyasal oksidan oluşumu (fotokimyasal sis), insan toksisitesi, eko-toksisite (tatlı su, denizel ve karasal).

7.2.2 EPS 2000 Method (Çevresel Öncelik Stratejileri (EPS) 2000)

EPS 2000 yöntemi temel olarak ürün geliştirme aracı olarak geliştirilmiştir ancak çevresel bildirimler, satın alma kararları veya çevre muhasebesi için harici olarak kullanılabilir (Steen 1999). Bu yöntemde “koruma alanları” olarak şunlar göz önünde bulundurulur: insan sağlığı, ekosistem üretim kapasitesi, abiyotik stok kaynakları, biyolojik çeşitlilik, kültürel ve eğlence değerleri.

7.2.3 Eco-gösterge 99

Bu yöntem, Şekil 6.6'da gösterildiği gibi “orta nokta” ve “son nokta” etki kategorilerini birbirine bağlar. EPS 2000'e benzer şekilde, asıl kullanım amacı ürün tasarımı için bir araçtır. Eco-Indicator 99'da üç koruma alanı veya hasar tipi göz önünde bulundurulur:

- İşlev kaybına uyarlanmış yaşam yılı (DALY) ile ifade edilen insan sağlığına zarar,
- Ekosistem kalitesinde, potansiyel olarak kaybolan kısım ile ifade edilen hasar (PDF, belirli bir süre boyunca belirli bir alanda bitki türlerinin yüzdesi olarak ifade edilir),
- Gelecekteki düşük dereceli cevherleri çıkarmak için ek enerji gereksinimi olarak ifade edilen mineral ve fosil kaynaklarına verilen zarar (MJ).

BÖLÜM 8

MATERYAL VE METOT

8.1 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ - AMAÇ VE KAPSAM

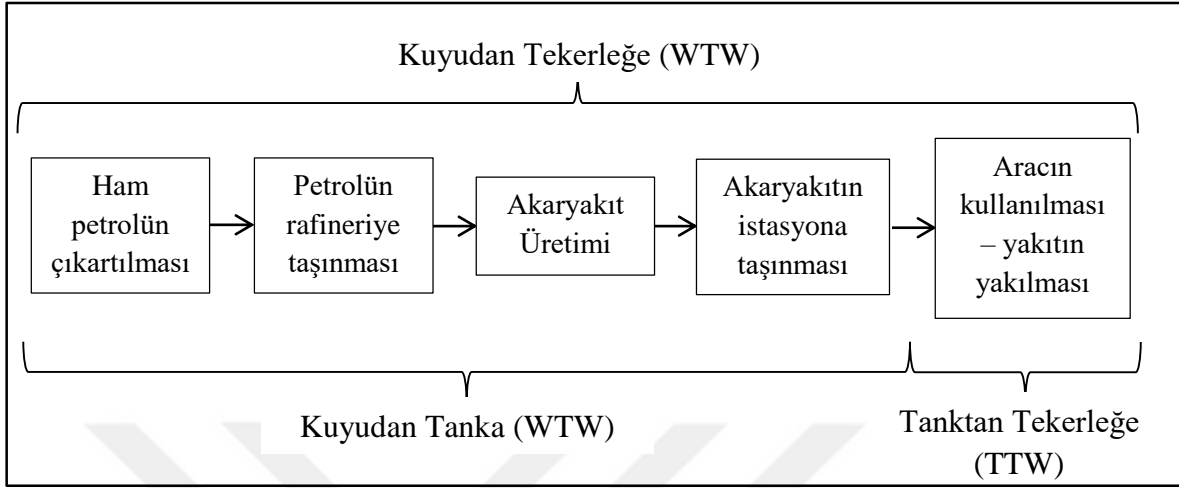
Literatüre göre, mevcut konvansiyonel araçların elektrikli olan eşdeğeri ile değiştirilmesi ve filonun elektrikleştirilmesi CO₂ emisyonlarında önemli oranda azalma sağlamaktadır (Canals Casals et al. 2016, Doucette and McCulloch, 2011, Ensslen et al. 2017). Bunun yanı sıra EV'lerin çevresel etkilerinin geniş perspektifte analizinin yapılabilmesi için “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)” çalışmaları büyük önem taşımaktadır. LCA, birçok alanda olduğu gibi EV'lerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi çalışmalarında da araştırmacılar tarafından sıklıkla başvurulan ve çevresel belirsizliklerin nicelleştirilmesinde büyük fayda sağlayan çok önemli bir değerlendirme çalışmasıdır.

Sürdürülebilir kalkınmaya doğru bir adım atmak, çevre ile insan ilişkilerini anlamak ve yönetmek, bütünsel bir yaşam döngüsü analizi gerektirir. LCA, çeşitli faaliyetlerin çevresel sonuçlarının tam bir değerlendirmesini yapabilen ve bütünsel yaklaşımı destekleyerek somut sonuçlar elde edilmesini sağlayabilen bir araçtır (Azapagic 2008).

LCA, hammadde temini, üretim, kullanım ve kullanım dışı bırakma aşamalarını dikkate alarak, bir aracın yaşam döngüsüyle doğrudan ve dolaylı olarak ilgili çevresel yönlerin değerlendirilmesini ve çevresel yüklerin tanımlanmasını sağlar (Burchart-Korol et al. 2018, Demirer 2017). Bir LCA'nın temel elemanları, kullanılan hammaddeler, kullanılan enerji ve çevreye salınan emisyonlarla ilgili potansiyel çevresel yüklerin belirlenmesi ve nicel değerlendirmesidir (Burchart-Korol et al. 2018).

Son yıllarda, otomotiv endüstrisinde işletmeler giderek daha fazla yakıt temini ve kullanım ömrü analizi üzerinde durmaktadırlar. Bu da enerji tüketiminden, yakıt üretimi ve tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının değerlendirilmesini sağlamaktadır

(Jochem et al. 2018). Beşikten mezara (WTW) metodu iki fazda yakıt analizi yapılmasını gerektirir (Şekil 8.1): Kuyudan Tanka (WTT) ve Tanktan Tekere (TTW) (Burchart-Korol et al. 2018, Onat, Kucukvar ve Afshar 2019).



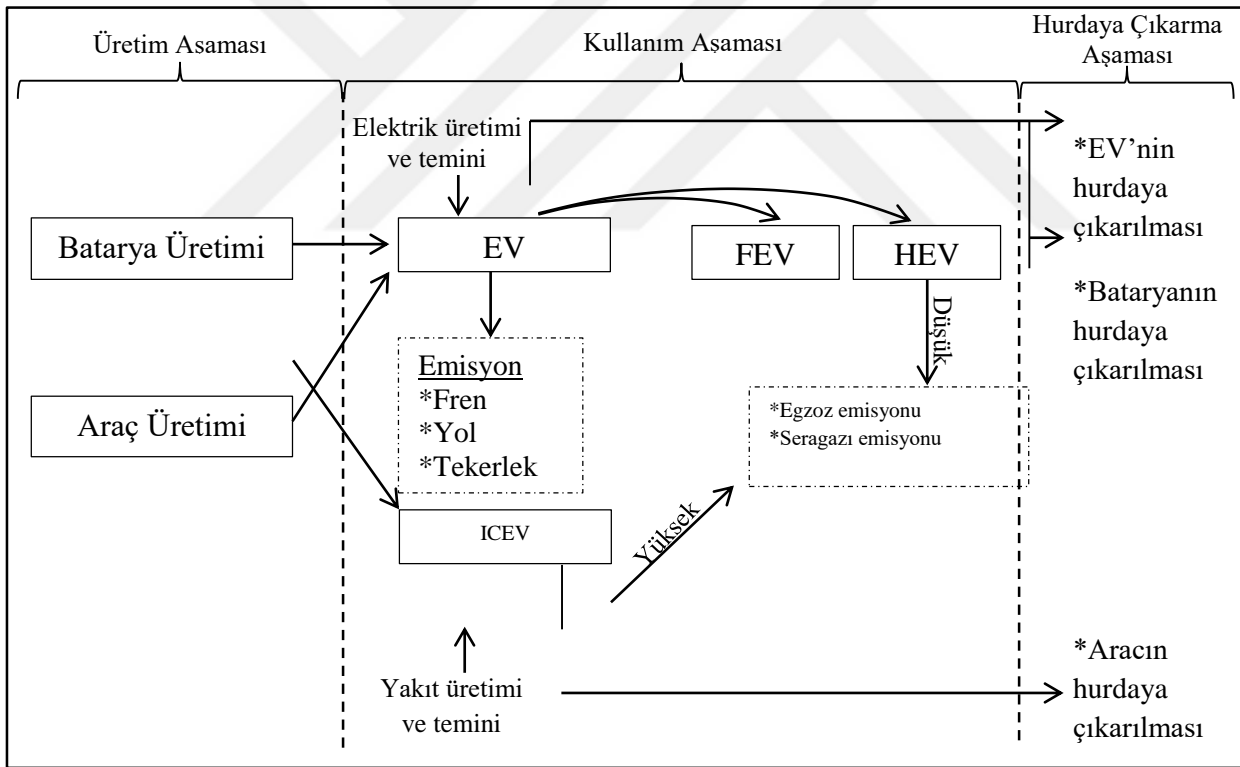
Şekil 8.1 Kuyudan Tekerleğe Analizindeki Aşamalar

Bu çalışmada, LCA'nın çevresel sürdürülebilirlik aracı olarak kullanımı üzerinde durulmaktadır. LCA ile, ICEV yerine EV kullanılmasıyla, küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, partikül madde oluşumu, yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları, karasal asidifikasyon, fosil kaynak tükenmesi ele alınmış olup enerji ihtiyacının fosil kaynaklardan veya yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması ile EV'lerin çevresel sürdürülebilirliğinin özetlenmesi ve gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, ICEV yerine EV kullanılması ile ilgili senaryolar belirlenerek hesaplamalar bunlar üzerinden yapılmıştır. Türkiye'deki mevcut otomobillerin durumu ve emisyonları belirtilmiş olup farklı iki senaryo ile filonun elektrikleştirilmesi sonucunda yenilenebilir enerji tüketimi/ihtiyacı ve küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, partikül madde oluşumu, yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları, karasal asidifikasyon, fosil kaynak tükenmesi ile ilgili hesaplamalar yapılarak belirtilmiştir.

Burchart-Korol et al. (2018) çalışmasında kullanım aşamasının, hammadde temini, üretim ve hurdaya çıkarma aşamalarına kıyasla en fazla enerji kullanımı ve karbon salınımı olan aşama olduğunu belirtmektedir (Burchart-Korol et al. 2018). Benzer şekilde, bu çalışmada da yalnızca kullanım aşaması değerlendirilmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi ReCiPe 2016 v1.1 metoduna göre yapılmıştır.

ReCiPe 2016 v1.1 metodunda motorlu taşıtların kullanımı sırasında için en önemli etki kategorilerinin, küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, partikül madde oluşumu, yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları, karasal asidifikasyon, fosil kaynak tükenmesi olduğu belirlenmiştir ve hesaplarda bu başlıklar kullanılmıştır.

Kullanılan fonksiyonel birim, bu alandaki diğer araştırmalarda 150.000 km'dir (Burchart-Korol et al. 2018). Bu çalışmada ise bir aracın bir yılda kat ettiği mesafe (araç-km) ve km başına ortalama tükettiği yakıt bilgileri TÜİK ulaştırma istatistiklerinden (Taşıt-km istatistikleri) ve EMEP/EEA emisyon envanteri veri tabanından alınmıştır (EEA 2018a, TÜİK 2018a). Bir EV ve ICEV'in sistem sınırları Şekil 8.2'de belirtilmiştir (Burchart-Korol et al. 2018'den uyarlanmıştır). Sistem sınırları beşikten mezara çeşitli süreçleri içermektedir: araç üretimi, batarya üretimi, yakıt temini (EV'ler için elektrik, ICEV'ler için akaryakıt), araçların kullanım aşaması (araç bakımı dâhil) ve hurdaya ayırma işlemi (Burchart-Korol et al. 2018).



Şekil 8.2 Bir EV ve ICEV'e ait Sistem Sınırları.

Sonraki aşamada, girdi ve çıktı kümelerinin, yaşam döngüsünün değerlendirilmesi için gerekli tüm verilerin bir envanteri olan LCI analiz edilmiştir. Bir sonraki aşama olan LCIA, seçilen değerlendirme yöntemlerine göre çevresel etki kategorilerinin değerlerinin hesaplanmasını

kapsamakta olup fren ve yoldan kaynaklanan emisyonlar hesaplamaya dâhil edilmemiştir. Son aşamada ise elde edilen sonuçların yorumlanması yer almaktadır.

8.2 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ - ENVANTER ANALİZİ

Analizin kapsamı otomobillerin kullanım aşamasını içermektedir. Ayrıca EV'lerin çevresel etkileri ve ICEV'lerden kaynaklanan emisyonların etkilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Üretim ve hurdaya çıkartma aşamaları çalışmaya dâhil edilmemiştir. FEV'lerin kullanım aşaması boyunca elektrik tüketimi ve ICEV'lerin kullanım aşamasındaki emisyonları hesaplanmıştır.

EV'nin LCI'sı için en önemli parametrelerden biri, bataryayı şarj etmek için (mevcut elektrik şebekesinden mi yoksa yenilenebilir kaynaktan mı?) hangi tür elektrik karışımının kullanılacağına belirlenmesidir. Bu çalışmada incelenen senaryoların birinde elektriğin kömür (linyit) yakan termik santraller tarafından üretildiği varsayımı yapılmıştır. Termik santrallerde elektrik üretimi için de sadece işletme aşamasında meydana gelen emisyonlar analize dâhil edilmiştir.

Araç yaşam döngüsünün bireysel aşamaları için kullanılan temel varsayımlar ve girdi ve çıktı verileri setleri ReCiPe 2016 v1.1'den alınmıştır.

8.3 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ - ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (LCIA) aşamasında etki kategorilerinin doğru şekilde seçilmesi önemlidir. Bu nedenle orta nokta ve son nokta yöntemlerinin birbiri ile uyumluluk göstermesi gerekmektedir. Bu zorlukları ortadan kaldırmak amacıyla ReCiPe metodu geliştirilmiş olup ReCiPe hem orta nokta hem de son nokta seviyesindeki sonuçların elde edilmesini sağlayabilmekte ve orta nokta ve son nokta arasında bağlantı kurmayı sağlamaktadır (Dong and Ng 2014). Bu çalışmada orta nokta karakterizasyon faktörleri kullanılarak orta nokta skorları hesaplanmıştır.

ReCiPe'de orta nokta düzeyinde, çok çeşitli etkileri kapsayan 18 etki kategorisi tanımlanmıştır. Bu çalışma konusunun kapsamı gereği altı etki kategorisi ele alınmıştır.

Bunlar daha önceki bölümde de belirtildiği gibi, küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, partikül madde oluşumu, yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları, karasal asidifikasyon ve fosil kaynakların tükenmesidir.

8.3.1 Etki yolları ve Koruma Alanları

ReCiPe metodunda insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kıtlığı üç koruma alanı olarak seçilmiştir (Huijbregts et al. 2016). ReCiPe metodolojisinin uygulanması için aynı üç koruma alanının korunmasına yöneliktir. Bitiş noktaları üç koruma alanı ile ilgilidir (Çizelge 8.1). İnsan sağlığına ilişkin DALY'ler (işlev kaybına uyarlanmış yaşam yılları), bir hastalık veya kaza nedeniyle kaybedilen yılları veya bir kişinin engelli olduğu yılları temsil eder. Ekosistem kalitesi birimi, belirli bir zaman diliminde yerel olarak kaybedilen tür sayısıdır (tür × yıl). Kaynak tükenmesi birimi, gelecekteki mineral ve fosil kaynakların çıkarılması için ilave masrafları temsil etmektedir.

Çizelge 8.1 Son Nokta Kategorileri, Göstergeler ve Karakterizasyon Faktörleri.

Koruma Alanı	Son Nokta	Kısaltma	Açıklama	Birim
İnsan sağlığı	İnsan sağlığına zarar	HH	Engellilik nedeniyle kaybedilen yıllar	Yıl
Doğal çevre	Ekosisteme zarar	ED	Zaman ile entegre tür kaybı	Tür × yıl
Kaynak tükenmesi	Kaynakların kullanılamaz hale gelmesi	RA	Fazla maliyet	Dolar

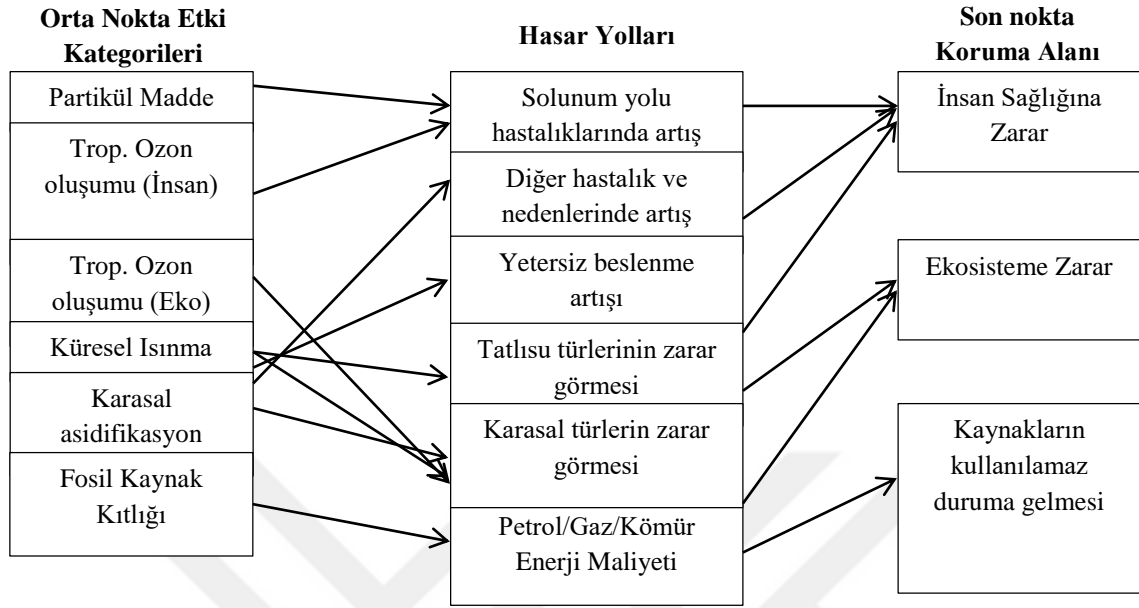
Çevresel mekanizmalar, orta noktalar ve üç koruma alanı arasındaki bağlantı Şekil 8.3'de gösterilmektedir.

8.3.2 Değerlerin Seçimi

ReCiPe 2016 v1.1'de üç bakış açısı bulunmaktadır:

1. Bireysel bakış açısı (B), kısa vadeli görüşe, tartışmasız etki türlerine ve insan adaptasyonu ile ilgili teknolojik iyimserliğe dayanmaktadır.
2. Hiyerarşik bakış açısı (H), etki mekanizmalarının olasılığı ve zaman çerçevesi ile ilgili olarak bilimsel fikir birliğine dayanmaktadır.

3. Eşitlikçi bakış açısı (E), en uzun zaman dilimi ve verilerin mevcut olduğu tüm etki yolları dikkate alınarak belirlenen en ihtiyatlı bakış açısıdır.



Şekil 8.3 ReCiPe 2016 v1.1 Metoduna Göre Çalışmanın Etki Kategorilerine Genel Bakış.

8.3.3 Orta nokta seviyesindeki karakterizasyon faktörleri

Orta nokta seviyesindeki kategoriler ve göstergeler Çizelge 8.2'de sunulmaktadır. Çizelge 8.2'de yalnızca bu çalışmaya özgü olan kategori ve göstergeler belirtilmiştir. Her kategori için göstergenin biriminde ve orta nokta karakterizasyon faktörünün (CF_m) biriminde bir fark vardır. Bunun nedeni, bir referans maddenin tanıtılmış olmasıdır, böylece karakterizasyon faktörü, referans maddeninkine göre bir maddenin miktarının gücünü ifade eden boyutsuz bir sayıdır.

Orta Nokta Skorlarının Hesaplanması

$$S_m^{orta\ nokta} = \sum_i (CF_{m,i}^{orta\ nokta} \times u_i) \quad (8.1)$$

$CF_{m,i}^{orta\ nokta}$: m kategorisi için i maddesinin orta nokta karakterizasyon faktörü

u_i : Fonksiyonel birim başına salınan veya tüketilen i maddesi miktarı

$S_m^{orta\ nokta}$: m kategorisi için orta nokta skoru (Jolliet et al. 2016).

Çizelge 8.2 Orta Nokta Kategorileri ve Göstergeleri.

Etki Kategorisi	Gösterge	Birim	Orta nokta karakterizasyon faktörü CFm	Kısaltma	Birim
İklim değişikliği	Radyasyon akısının yükselmesi	$W \times \text{yıl}/m^2$	Küresel ısınma potansiyeli	GWP	havaya kg CO ₂
Ozon incelmesi	Stratosferik ozon hasarı	ppt×yıl	Ozon tükenme potansiyeli	ODP	havaya kg CFC-11
Partikül madde oluşumu	Solunan PM _{2.5} miktarının artması	kg	Partikül madde oluşum potansiyeli	PMFP	havaya kg PM _{2.5}
Karasal asidifikasyon	Tatlısuda fosfor artışı	$\text{yıl} \times m^2 \times \text{mol}/l$	Karasal asidifikasyon potansiyeli	TAP	havaya kg SO ₂
Fosil kaynakların tükenmesi	Yükselen ısı değer	MJ	Fosil yakıt potansiyeli	FFP	kg benzin

ReCiPe 2016 v1.1 metodundaki etki kategorileri ve üç bakış açısına göre karakterizasyon faktörleri Çizelge 8.3'te verilmiştir.

Çizelge 8.3 ReCiPe 2016 v1.1 Etki Kategorileri ve Üç Bakış Açısına Göre Karakterizasyon Faktörleri

Küresel Isınma	GWP20 (B) kg CO ₂ -eq/kg GHG	GWP100 (H) kg CO ₂ -eq/kg GHG	GWP1000 (E) kg CO ₂ -eq/kg GHG
CO ₂	1	1	1
N ₂ O	264	298	78,8
Yer seviyesi ozon oluşumu	HOFP (B) kg NO _x -eq/kg	HOFP (H) kg NO _x -eq/kg	HOFP (E) kg NO _x -eq/kg
NO _x	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
NMVOG	1,80E+01	1,80E+01	1,80E+01
Partikül Madde Oluşumu	PMFP (B)	PMFP (H)	PMFP (E)
PM _{2.5} (NO _x)	0	0,11	0,11
PM _{2.5} (PM _{2.5})	1	1	1
Yer seviyesi ozonun ekositeme zararları	EOFP (B) kg NO _x -eq/kg	EOFP (H) kg NO _x -eq/kg	EOFP (E) kg NO _x -eq/kg
NO _x	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
NMVOG	2,90E-01	2,90E-01	2,90E-01
Karasal Asidifikasyon	AP (B) kg SO ₂ -eq/kg	AP (H) kg SO ₂ -eq/kg	AP (E) kg SO ₂ -eq/kg
NO _x	3,60E-01	3,60E-01	3,60E-01
Fosil Kaynakların Tükenmesi	FFP (B) kg petrol-eq/birim kaynak	FFP (H) kg petrol-eq/birim kaynak	FFP (E) kg petrol-eq/birim kaynak
Ham Petrol (petrol-eq/kg)	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Doğal Gaz (petrol-eq/Nm ³)	8,40E-01	8,40E-01	8,40E-01
Linyit (Brown Coal) (petrol-eq/kg)	2,20E-01	2,20E-01	2,20E-01

Fosil kaynakların tükenmesi orta nokta skorunun hesaplanması için yakıt türüne göre otomobillerin km başına tükettiği yakıt miktarının bilinmesi gerekmektedir. Yakıt tüketimi ile ilgili bilgiler Çizelge 8.4'te verilmiştir (EEA 2018a).

Çizelge 8.4 Yakıt Türüne Göre Ortalama Yakıt Tüketimi.

Yakıt Türü	Ortalama Yakıt Tüketimi (g/km)
Benzin	70,0
Dizel	60,0
LPG	57,5

Fosil kaynakların tükenmesine ait orta nokta skorunun hesaplanması için son adım olarak elde edilen bir birim ham petrolden hangi oranlarda benzin, dizel ve LPG elde edildiğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu oranlar Çizelge 8.5'te belirtilmiştir. LPG'nin %55'i kuyulardan çıkartılmakta ve %45'i ise rafinerilerde ham petrolden üretilmektedir (EIA 2018).

Çizelge 8.5 Ham Petrolden Üretilen Akaryakıt Miktarları.

Fosil Kaynak	İkincil ürün	Miktarı	Yüzde (%)
42 Galon Ham Petrol	Benzin	19,53 Galon	46,5
	Dizel	12,18 Galon	29
	LPG	0,527 Galon	1,3

Buna göre, 1 ton ham petrolün rafineride işlenmesi ile 465 kg benzin, 290 kg dizel ve 13 kg LPG üretilmektedir (EIA 2018). Bununla beraber TÜİK'in açıklamış olduğu Taşıt-km İstatistikleri'ne göre bir otomobilin yılda ortalama 13.117 km yol kat etmekte olduğu kabul edilmiştir (TUİK 2018a). Ayrıca TÜİK Ulaştırma ve Haberleşme istatistiklerine göre trafiğe kayıtlı otomobil sayısı 12.398.190 adet olduğu belirtilmiştir (Çizelge 8.5) (TUİK 2018b).

Elektrikli araç üreten otomobil firmalarının saatte ortalama elektrik tüketim miktarları Çizelge 8.6'da belirtilmiştir (Altan 2018).

Çizelge 8.6 Otomobil Firmalarının Saatte Ortalama Elektrik Tüketim Miktarları.

Araç Modeli	Tüketim (kW/saat)
BMW i3	14,8
Hyundai Ioniq Electric	12,2
Jaguar i-Pace	27,5
Kia Soul Electric	13,6
Nissan Leaf	16,3
Opel Ampera-e	16,1
Renault Zoe 40	14,6
Tesla Model S 100D	20,6
Tesla Model X 100D	23,4
Volkswagen e-Golf	12,4
ORTALAMA	17,15

Senaryo 1 için FEV'lerin elektrik ihtiyacı fosil yakıtlı termik santralden karşılandığı kabulü yapılmıştır. Buna göre termik santralden kaynaklanan SO_x, NO_x, CO, CO₂, NMVOC ve PM emisyonları için tüm etki kategorilerinde orta nokta skoru hesaplanacaktır. Elde edilen sonuçlar mevcut durum için hesaplanan orta nokta skorlarına eklenerek Senaryo 1'e ait orta nokta skoru değerleri elde edilecektir.

Termik santrallerin verimi %35 (Kamath 2018) ve Türkiye'deki termik santrallerde yakılan linyit düşük kalitede olduğu için alt ısı değerleri 3000kcal/kg kabul edilmiştir (Atılğan and Azapagic 2015).

Konvansiyonel termik santrallerde yanma sırasında, pritik ve organik olarak bağlı kükürt, az miktarda kükürt trioksitin (SO₃) oluşmasıyla kükürt dioksit (SO₂) oksitlenir. SO₂/SO₃ oranı tipik olarak 40: 1 ila 80: 1'dir (Miller 2005). Bu çalışmada SO₂/SO₃ oranı 60:1 olarak kabul edilerek hesaplama yapılmıştır.

8.4 EMİSYON ENVANTERİ

Yaşam döngüsü değerlendirmesinde, envanter analizi yapılabilmesi için emisyon envanterinin hazırlanması gerekmektedir. Emisyon envanteri, belirli bir bölgeden ve belirli bir zaman aralığında tüm kaynaklardan atmosfere salınan emisyon miktarlarının listelenmesidir. Emisyon miktarı aktivite istatistiği ile emisyon faktörünün çarpımına eşittir. Birim aktivite

başına havaya salınan kirletici miktarı emisyon faktörü olarak adlandırılır (Zeydan 2008). Bu çalışmada motorlu taşıt kaynaklı emisyonların hesaplanmasında kullanılan emisyon faktörleri Avrupa Çevre Ajansı emisyon envanteri referans kitabından alınmıştır (EEA 2018a). Emisyon envanteri rehberinde belirtilen petrol, dizel ve LPG kullanan küçük, orta ve büyük boyutlu otomobillerin her biri için ayrı ayrı Euro 4, 5, 6 (2017 - 2019) ve Euro 6 (2020+) değerlerinin ortalaması alınmış ve Çizelge 8.7’de toplu olarak gösterilmiştir (EEA 2018a).

Çizelge 8.7 Emisyon Envanteri (Ortalama).

Teknolojisi	Araç Tipi	CO g/km	NMVOC g/km	NO _x g/km	N ₂ O g/km	CO ₂ g/km	PM _{2.5} g/km
Euro 4 – 98/69/EC II Euro 5 – EC 715/2007 Euro 2016 Euro 2017-2019 Euro 6 2020+	Petrol (Mini)	0,67	0,048	0,056	0,0014	0,398	0,0014
	Petrol (Small)	0,69	0,048	0,056	0,0014	0,398	0,0014
	Petrol (Medium)	0,62	0,065	0,061	0,0014	0,398	0,0014
	Petrol (Large)	0,53	0,048	0,059	0,0014	0,398	0,0014
Benzin - Ortalama		0,6275	0,05225	0,058	0,0014	0,398	0,00142
Euro 4 – 98/69/EC II Euro 5 – EC 715/2007 Euro 2016 Euro 2017-2019 Euro 6 2020+	Dizel (Small)	0,052	0,0108	0,42	0,0052	0,398	0,0076
	Dizel (Medium)	0,055	0,0092	0,42	0,0052	0,398	0,0076
	Dizel (Large)	0,055	0,0092	0,42	0,0052	0,398	0,0076
Dizel - Ortalama		0,054533	0,009733	0,42	0,052	0,398	0,0076
Euro 3 - 98/69/EC I Euro 4 - 98/69/EC II Euro 5, 6 - EC 715/2007	LPG	0,9125	0,105	0,0645	0,004	0,4145	0,0011
LPG - Ortalama		0,9125	0,105	0,0645	0,004	0,4145	0,0011

Bu çalışmada, FEV’lerin elektrik ihtiyacının fosil yakıtlı (linyit) termik santrallerden karşılandığı kabul edilmiştir. Termik santrallerde linyit kömürünün yanması sonucunda oluşacak emisyonları hesaplayabilmek için gerekli olan emisyon faktörleri ise ABD Çevre Ajansı tarafından yayınlanan EPA AP-42 veri tabanından alınmış ve Çizelge 8.8’de gösterilmiştir (EPA 2018). Bu emisyon faktörlerinin hesaplanması için kullanılan kükürt oranı (S), sabit karbon oranı (C) ve kül oranı (A) değerleri linyit kömürü için sırasıyla %1,63, %23,35 ve %38,3 olarak kabul edilmiştir (Boylu ve Karaağaçlioğlu 2018).

Çizelge 8.8 Termik Santrallere Ait Emisyon Faktörleri.

Ateşleme Sistemi	SO _x	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	PM
Pulvarize Kömür	30S (lb/ton)	6,3 (lb/ton)	0,25 (lb/ton)	72,6C (lb/ton)	0,04 (lb/ton)	5,1A (lb/ton)
	22,2 (kg/ton)	2,86 (kg/ton)	0,12 (kg/ton)	769,62 (kg/ton)	0,019 (kg/ton)	88,7 (kg/ton)

Emisyon faktörü ile aktivite istatistiğinin çarpımı emisyon miktarını vermektedir. Emisyon miktarları sabit kaynaklar için Denklem 8.2 ve hava kirliliği kontrol ekipmanının bulunması durumunda da Denklem 8.3 ile hesaplanmaktadır. Motorlu taşıt emisyonlarının hesaplanması için de Denklem 8.4 kullanılır (Zeydan 2008).

$$E = AF \times EF \quad (8.2)$$

$$E = AF \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (8.3)$$

$$E = AF \times AS \times EF \quad (8.4)$$

Burada,

E : Emisyon Miktarı

AF : Aktivite Faktörü (yakılan kömür miktarı veya araç kilometresi)

EF : Emisyon Faktörü

ER : Giderim Verimi (%)

AS : Araç Sayısı



BÖLÜM 9

BULGULAR VE TARTIŞMA

TÜİK (2018)'den alınan yakıt türüne (benzin, dizel, LPG) göre otomobil sayısı (Çizelge 1.1), bir otomobilin kat ettiği yol (13.117 km/yıl) ve EMEP/EEA'dan alınan emisyon envanteri verileri de kullanılarak bir otomobilin yılda kaç kg emisyon salınımı yaptığı hesaplanmıştır. Örnek bir hesaplama CO₂ için yapılmış olup yakıt cinsine göre yıllık emisyon miktarlarına ait tüm sonuçlar Çizelge 9.1'de verilmiştir.

Hesaplama:

Benzinli otomobil sayısı: **3.089.626 adet**

Bir otomobilin kat ettiği yol: **13.117 km/yıl**

Benzinli araçların ortalama CO₂ emisyon envanteri: **0,398 g/km**

Benzinli tüm otomobillerin yıllık kg CO₂ salınımı:

$$0,398 \frac{g}{km} \times 13.117 \frac{km}{yıl} \times 3.089.626 = 16.129.596,45 \frac{kg}{yıl} CO_2$$

Dizel otomobil sayısı: **4.568.665 adet**

Bir otomobilin kat ettiği yol: **13.117 km/yıl**

Dizel araçların ortalama CO₂ emisyon envanteri: **0,398 g/km**

Dizel tüm otomobillerin yıllık kg CO₂ salınımı:

$$0,398 \frac{g}{km} \times 13.117 \frac{km}{yıl} \times 4.568.665 = 23.851.017,16 \frac{kg}{yıl} CO_2$$

LPG'li otomobil sayısı: **4.695.717 adet**

Bir otomobilin kat ettiği yol: **13.117 km/yıl**

LPG'li araçların ortalama CO₂ emisyon envanteri: **0,4145 g/km**

LPG'li tüm otomobillerin yıllık kg CO₂ salınımı:

$$0,4145 \frac{g}{km} \times 13.117 \frac{km}{yıl} \times 4.695.717 = 25.530.596,89 \frac{kg}{yıl} CO_2$$

Buna göre tüm otomobillerin (benzin, dizel, LPG) CO₂ emisyonu toplamı: 65.511.210,51 kg/yıl olarak hesaplanmıştır. Diğer bütün emisyon miktarları için aynı işlemler yapılmış olup envanter sonuçlarının tamamı Çizelge 9.1’de verilmiştir.

Çizelge 9.1 Yakıt Cinsine Göre Yıllık Emisyon Miktarı.

Yakıt Cinsi	CO kg/yıl	NMVOC kg/yıl	NO_x kg/yıl	N₂O kg/yıl	CO₂ kg/yıl	PM_{2.5} kg/yıl
Benzin	25.430.456,71	2.117.516,12	2.350.544,21	56.737,27	16.129.596,45	57.547,81
Dizel	3.268.028,82	583.291,21	25.169.415,10	311.621,33	23.851.017,16	445.446,56
LPG	56.204.269,40	6.467.340,59	3.972.794,93	246.374,88	25.530.596,89	67.753,09
TOPLAM	84.902.754,93	9.168.147,91	31.492.754,24	614.733,48	65.511.210,51	580.747,46

Türkiye’deki otomobillerin (benzin, dizel, LPG) çevresel etki kategorileri ReCiPe 2016 v1.1 metodu ile, küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, yer seviyesi ozonun ekosisteme zararları, partikül madde oluşumu, karasal asidifikasyon ve fosil kaynakların tükenmesi olarak belirlenmiştir.

Bireysel bakış açısına (B) göre belirli etki kategorileri ile sistem orta noktada bulunan elementlerin çevresel etkilerinin bir analizi yapılmıştır.

ReCiPe 2016 v1.1 veri tabanındaki etki kategorilerinden küresel ısınma için CO₂ ve N₂O ele alınmış olup CO₂ için orta nokta skoru aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$S_m^{orta\ nokta} = \sum_i (CF_{m,i}^{orta\ nokta} \times u_i)$$

$$S_{CO_2} = 65.511.210,51 \times 1 \frac{kg\ CO_2 - eq}{kg\ GHG}$$

$$S_{CO_2} = 65.511.210,51\ kg\ CO_2 - eq$$

Bu hesaplama tüm etki kategorilerinin (küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları, partikül madde oluşumu, karasal asidifikasyon ve fosil kaynakların tükenmesi) orta nokta skoru için yapılmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 9.2’de verilmiştir.

Çizelge 9.2 Mevcut Durum Orta Nokta Skorları.

Etki Kategorisi	Orta Nokta Skoru (S)
Küresel Isınma (kg CO₂-eş)	
CO ₂	65.511.210,51
N ₂ O	162.289.639,00
Yer seviyesi ozon oluşumu (kg NO_x-eş)	
NO _x	31.492.754,24
NM _{VOC}	16.502.666,20
Partikül madde oluşumu (kg PM_{2,5}-eş)	
PM _{2,5} (salınan madde NO _x)	3.464.202,96
PM _{2,5}	580.747,46
Yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları (kg NO_x-eş)	
NO _x	31.492.754,24
NM _{VOC}	26.587.628,93
Karasal asidifikasyon (kg SO₂-eş)	
NO _x	113.373.915,26
Fosil kaynakların tükenmesi (kg petrol-eş)	
Ham Petrol	122.593.973.391,00
Kömür (Linyit)	-

Etki kategorisi olarak küresel ısınma için CO₂'nin orta nokta skoru yukarıda hesaplanmış olup N₂O'nun orta nokta skoru S_{N_2O} değeri 162.289.639 kg CO₂-eş olarak hesaplanmıştır. Yer seviyesi ozon oluşumunda NO_x ve NM_{VOC} için orta nokta skorları S_{NO_x} 31.492.754,24 kg NO_x-eş ve S_{NMVOC} 16.502.666,2 kg NO_x-eş'dir. Etki kategorilerinden PM_{2,5} (salınan madde NO_x) için bireysel bakış açısı (B) "Fm=0" olarak verilmiştir. Bu nedenle hiyerarşist (H) ve eşitlikçi (E) bakış açısı verileri kullanılarak orta nokta skoru $S_{PM_{2,5}(NO_x)}$ 3.464.202,96 kg PM_{2,5}-eş olarak hesaplanmıştır. PM_{2,5} oluşumu için orta nokta skoru $S_{PM_{2,5}}$ 580.747,46 kg PM_{2,5}-eş olarak hesaplanmıştır. Etki kategorilerinden yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları için hesaplanan NO_x ve NM_{VOC}'a ait orta nokta skoru, S_{NO_x} 31.492.754,24 kg NO_x-eş ve S_{NMVOC} 26.587.628,93 kg NO_x-eş olarak hesaplanmıştır. Karasal asidifikasyon için orta nokta skoru, S_{NO_x} 113.373.915,26 kg SO₂-eş olarak hesaplanmıştır.

Fosil kaynakların tükenmesi orta nokta skorunun hesaplanması için kullanılan yakıt miktarının bilinmesi gerekmektedir. Benzin, dizel ve LPG'li araçların km başına tüketmiş olduğu yakıt miktarı Çizelge 8.4'te verilmiştir.

Bir benzinli otomobilin yıllık yakıt tüketimi 918,19 kg benzin olarak hesaplanmıştır. Buna göre, tüm benzinli otomobillerin tüketimi ise 2.836.863.696,94 kg/yıl olarak bulunmuştur. Bir dizel otomobilin yıllık yakıt tüketimi 787,02 kg dizel yakıt olarak hesaplanmıştır. Buna göre tüm dizel otomobillerin tüketimi ise 3.595.630.728,3 kg/yıl olarak bulunmuştur. Aynı şekilde bir LPG'li otomobilin yıllık yakıt tüketimi 754,22 kg LPG olarak hesaplanmış olup tüm LPG'li otomobillerin tüketimi ise 3.541.603.675,74 kg/yıl olarak hesaplanmıştır. Yakıt türüne göre otomobillerin toplamda ne kadar yakıt tükettiğinin hesaplanması ve bu yakıtın elde edilmesi için gereken ham petrol miktarının hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

Benzin Tüketimi:

$$\frac{13.117 \text{ km} \times 70 \text{ g/km}}{1000} = 918,19 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}}$$

$$918,19 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}} \times 3.089.626 = 2.836.863.696,94 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}}$$

Benzin elde etmek için tüketilen fosil kaynak (ham petrol) miktarı:

$$2.836.863.696,94 \times \frac{100}{46,5} = 6.100.782.143,96 \text{ ton ham petrol}$$

Dizel Tüketimi:

$$\frac{13.117 \text{ km} \times 60 \text{ g/km}}{1000} = 787,02 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}} \text{ (Bir otomobilin tüketimi)}$$

$$787,02 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}} \times 4.568.665 = 3.595.630.728,3 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}} \text{ (Tüm dizel otomobillerin tüketimi)}$$

Dizel elde etmek için tüketilen fosil kaynak (ham petrol) miktarı:

$$3.595.630.728,3 \times \frac{100}{29} = 12.398.726.649,31 \text{ ton ham petrol}$$

LPG Tüketimi:

$$\frac{13.117 \text{ km} \times 57.5 \text{ g/km}}{1000} = 754,22 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}} \text{ (Bir LPG'li otomobilin tüketimi)}$$

$$754,22 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}} \times 4.695.717 = 3.541.603.675,74 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}} \text{ (Tüm LPG'li otomobillerin tüketimi)}$$

LPG elde etmek için tüketilen fosil kaynak (ham petrol) miktarı:

$$3.541.603.675,74 \times \frac{100}{1,3} = 272.431.051.980 \text{ ton ham petrol}$$

LPG'nin %45'i rafineriden elde edilirken %55'i kuyulardan çıkartılmaktadır (EIA 2018). Bu nedenle rafineriye gelmesi gereken miktar aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$272.431.051.980 \times 0,45 = 122.593.973.391$ ton ham petrol (rafineriye gelmesi gereken)
Ham petrolden üretilen akaryakıt miktarları Çizelge 8.5'te verilmiştir. Buna göre LPG üretmek için gerekli olan ham petrol miktarının aynı zamanda benzin ve dizel yakıt üretmek için de yeterli olup olmadığı aşağıda kontrol edilmiştir.

$$122.593.973.391 \times 0,465 = 57.006.197.626,82 > 6.100.782.143,96 \text{ ton}$$

$$122.593.973.391 \times 0,29 = 35.552.252.283,39 > 12.398.726.649,31 \text{ ton}$$

LPG üretmek için gerekli olan ham petrol miktarı aynı zamanda dizel ve benzin üretmek için de fazlasıyla yeterlidir. Dolayısıyla hesaplamalarda sadece LPG için gerekli olan ham petrol miktarı (122.593.973.391 ton) kullanılacaktır.

Tüketilen toplam ham petrol miktarı, benzin, dizel ve LPG elde edilmesi için tüketilen kaynak miktarının toplanması ile elde edilir. Buna göre fosil kaynakların tükenmesi için orta nokta skoru, $S_{Ham\ petrol}$ 122.593.973.391 kg petrol-eş'dir.

Senaryo 1: Otomobillerin tamamının %5'inin FEV olması ve FEV'lerin elektrik ihtiyacının kömür yakıtlı termik santrallerden karşılanması

Senaryo-1'e göre otomobillerin %5'inin FEV olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 9.3'te de belirtildiği gibi benzinli araçların 154.482'si, dizel araçların 228.434'ü, LPG'li araçların ise 234.786'sının FEV olduğu kabul edilmiştir. Buna göre toplam FEV sayısı 617.702'dir.

Çizelge 9.3 Otomobillerin %5'inin FEV Olması.

Yakıt Türü	2018 Araç Sayısı	FEV sayısı (%5)	Fosil yakıt Tüketen Araç Sayısı (%95)
Benzin	3.089.626	154.482	2.935.144
Dizel	4.568.665	228.434	4.340.231
LPG	4.695.717	234.786	4.460.931
Toplam	12.354.008	617.702	11.736.306

Otomobillerin %95'i için, bireysel bakış açısına göre belirli etki kategorileri ile sistem orta noktada bulunan elementlerin çevresel etkilerinin bir analizi yapılmıştır. ReCiPe 2016 v1.1 veri tabanındaki etki kategorileri (küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, partikül madde oluşumu, yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararı, karasal asidifikasyon, fosil kaynakların tükenmesi) için CO, NMVOC, CO₂, NO_x, N₂O, PM_{2.5} ve ham petrol ele alınmış olup mevcut durum için hesaplanan orta nokta skorlarının %95'i alınarak Senaryo 1 için sadece otomobillerden kaynaklanan emisyon miktarları elde edilmiş olup sonuçlar Çizelge 9.4'te verilmiştir.

Çizelge 9.4 Tüm otomobillerin (benzin, dizel, LPG) %95'inin emisyon miktarları.

Yakıt Cinsi	CO kg/yıl	NMVOC kg/yıl	NO _x kg/yıl	N ₂ O kg/yıl	CO ₂ kg/yıl	PM _{2.5} kg/yıl
Benzin	24.158.933,88	2.011.640,32	2.233.016,99	53.900,41	15.323.116,63	54.670,42
Dizel	3.104.627,38	554.126,65	23.910.944,35	296.040,27	22.658.466,31	423.174,23
LPG	53.394.055,93	6.143.973,56	3.774.155,19	234.056,14	24.254.067,05	64.365,44
TOPLAM	80.657.617,19	8.709.740,53	29.918.116,53	583.996,82	62.235.649,99	542.210,09

617.702 adet FEV için gerekli olan elektrik ihtiyacı kömür (linyit) yakıtlı termik santralden karşılanacak olup santralden kaynaklanan emisyonların ve fosil kaynak tüketiminin (linyit) hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle ihtiyaç duyulan elektriğin üretilmesinde gerekli olan kömür miktarı da hesaplanmalıdır.

Termik santralde 1MW elektrik üretmek için gerekli olan kömür ihtiyacı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Termik santrallerin verimi %35 (Kamath 2018) ve Linyit alt ısıl değeri 3000kcal/kg (Atilgan and Azapagic 2015) olarak kabul edilmiştir.

$$1 \text{ MW} = 1.000.000 \text{ W} = 1.000.000 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 239 \frac{\text{kcal}}{\text{s}}$$

$$\text{Gerçek Güç} = \frac{239 \frac{\text{kcal}}{\text{s}}}{0,35} = 683 \frac{\text{kcal}}{\text{s}}$$

$$\text{Gerekli Kömür Miktarı} = \frac{683 \frac{\text{kcal}}{\text{s}}}{3000 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}} = 0,228 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 7.190.208 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}} \approx 7.190,2 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}}$$

Toplam 617.702 adet FEV'in tükettiği elektrik miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$617.702 \times 13117 \frac{km}{yil} \times \frac{1}{365 \times 24} \times 17,15kw = 158903,95 KW = 15.890,383 MW$$

15.890,383 MW elektrik üretmek için gerekli kömür miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$15890,383 MW \times 7.190,2 \frac{ton}{yil} = 114.255.031,85 \frac{ton}{yil}$$

Fosil kaynakların (Linyit) tükenmesi orta nokta skorunun hesaplanması için kullanılan yakıt miktarı hesaplanmış olup 114.255.031,85 ton/yıl'dır. Buna göre etki kategorisi olarak fosil kaynakların tükenmesine ait orta nokta skorunun hesaplanması gerekmektedir. Çizelge 8.3'te linyit için belirtilen veri kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

$$S_{Linyit} = 114.255.031,85 ton \times 2,20 \frac{kg petrol - eq}{kg} \times 136 \frac{kg}{varil} \times 2,5 \frac{varil}{linyit ton}$$

$$S_{Linyit} = 85.462.763.823,8 kg petrol - eq$$

$$S_{Linyit} + S_{Ham Petrol} = 361.846.796.558,41 kg petrol - eq$$

Fosil yakıtlı termik santrallerde SO_x, NO_x ve PM emisyonları için baca gazı kontrol ekipmanları bulunmaktadır. Bu çalışmada, her üç kirletici için %98 oranında giderim verimi olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle SO_x, NO_x ve PM emisyonları için Denklem 8.3 kullanılmış olup CO, CO₂ ve NMVOC için emisyon kontrol sistemi bulunmadığı için Denklem 8.2 kullanılmıştır.

SO_x emisyon miktarı:

$$E = 114.255.031,85 \frac{ton}{yil} \times 22,2 \frac{kg}{ton} \times \left(1 - \frac{98}{100}\right) = 50.729.234,14 kg SO_x$$

NO_x emisyon miktarı:

$$E = 114.255.031,85 \frac{ton}{yil} \times 2,86 \frac{kg}{ton} \times \left(1 - \frac{98}{100}\right) = 6.535.387,83 kg NO_x$$

PM miktarı:

$$E = 114.255.031,85 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times 88,7 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times \left(1 - \frac{98}{100}\right) = 202.688.426,50 \text{ kg PM}$$

CO emisyon miktarı:

$$E = 114.255.031,85 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times 0,12 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} = 13.710.603,82 \text{ kg CO}$$

CO₂ emisyon miktarı:

$$E = 114.255.031,85 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times 769,62 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} = 87.932.957.612,40 \text{ kg CO}_2$$

NMVOC emisyon miktarı:

$$E = 114.255.031,85 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times 0,019 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} = 2.170.845,61 \text{ kg NMVOC}$$

Burada SO_x'in SO₂ ve SO₃ muhtevasını hesaplamak gerekmektedir. Konvansiyonel termik santrallerde yanma sırasında, pritik ve organik olarak bağlı olan kükürt, az miktarda kükürt dioksitin (SO₂) oksitlenmesiyle kükürt trioksit (SO₃) oluşur. SO₂/SO₃ oranı tipik olarak 40: 1 ila 80: 1'dir (Miller 2005). Bu çalışmada SO₂/SO₃ oranı 60:1 olarak kabul edilerek hesaplama yapılmıştır. Buna göre 69.946.930,5 kg SO_x'in 1.165.782,18 kg'ı SO₃ ve 68.781.148,32 kg'ı SO₂'dir.

Etki kategorisi olarak küresel ısınma için NO_x'in orta nokta skoru yukarıda hesaplanmış olup S_{NOx} değeri 1.725.342.387,12 kg CO₂-eş olarak hesaplanmıştır. Yine küresel ısınma etki kategorisinde S_{CO_2} değeri 3.765.845.849,78 kg CO₂-eş'dir. Yer seviyesi ozon oluşumu için NO_x ve NMVOC için orta nokta skorları S_{NOx} 6.535.387,83 kg NO_x-eş ve S_{NMVOC} 3.907.522,1 kg NO_x-eş'dir. Etki kategorilerinden PM_{2.5} (salınan madde NO_x) ve PM_{2.5} (salınan madde SO₂) için bireysel bakış açısı (B) "Fm=0" olarak verilmiştir. Bu nedenle hiyerarşist (H) ve eşitlikçi (E) bakış açısı verileri kullanılarak orta nokta skorları $S_{PM2.5(NOx)}$ 718.892,66 kg PM_{2.5}-eş ve $S_{PM2.5(SO_2)}$ ise 19.946.533,02 kg PM_{2.5}-eş olarak hesaplanmıştır. PM_{2.5} oluşumu için orta nokta skoru $S_{PM2.5}$ 5.301.433,48 kg PM_{2.5}-eş olarak hesaplanmıştır. Etki kategorilerinden yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları için hesaplanan NO_x ve NMVOC'a ait orta nokta skoru, S_{NOx} 6.535.387,83 kg NO_x-eş ve S_{NMVOC} 6.295.452,269 kg

NO_x-eş olarak hesaplanmıştır. Karasal asidifikasyon için orta nokta skoru, S_{NOx} 23.527.396,19 kg SO₂-eş ve S_{SO_2} ise 68.781.148,32 kg SO₂-eş olarak hesaplanmıştır.

Kömür yakıtlı termik santrallerden salınan SO₂, NO_x, PM_{2,5}, CO₂, NMVOC emisyon miktarları toplanarak Senaryo-1 için hesaplanan %95'lik emisyonlara eklenecektir. Bu da mevcut durum ile Senaryo-1 kıyaslanmasına imkân sağlayacaktır.

ReCiPe 2016 v1.1 veri tabanındaki etki kategorilerinden küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, partikül madde oluşumu, yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları, karasal asidifikasyon ve fosil kaynakların tükenmesi için orta nokta skorları mevcut durumda olduğu gibi hesaplanmış olup bunlara termik santralden kaynaklanan emisyon miktarları da eklenmiştir (Çizelge 9.5).

Çizelge 9.5 Senaryo 1 Orta Nokta Skoru.

Etki Kategorisi	Orta Nokta Skoru (S)		
	Mevcut Durumun %95'i	Termik Santralden Gelen	Toplam
Küresel Isınma (kg CO₂-eş)			
CO ₂	62.235.649,99	87.932.957.612,40	87.995.193.262,39
N ₂ O	154.175.157,05	1.725.342.387,12	1.879.517.544,17
Toplam			89.874.710.806,56
Yer seviyesi ozon oluşumu (kg NO_x-eş)			
NO _x	29.918.116,53	6.535.387,83	36.453.504,36
NMVOC	15.677.532,89	3.907.522,1	19.585.054,99
Toplam			56.038.559,35
Partikül madde oluşumu (kg PM_{2,5}-eş)			
PM _{2,5} (salınan madde NO _x)	3.290.992,82	718.892,66	4.009.885,48
PM _{2,5} (salınan madde SO ₂)	-	19.946.533,02	19.946.533,02
PM _{2,5}	551.710,09	202.688.426,50	203.240.136,59
Toplam			227.196.555,09
Yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları (kg NO_x-eş)			
NO _x	29.918.116,53	6.535.387,83	36.453.504,36
NMVOC	25.258.247,49	6.295.452,269	31.553.699,76
Toplam			68.007.204,12
Karasal asidifikasyon (kg SO₂-eş)			
NO _x	107.705.219,50	23.527.396,19	131.232.615,69
SO ₂	-	50.729.234,14	50.729.234,14
Toplam			181.961.849,83
Fosil kaynakların tükenmesi (kg petrol-eş)			
Ham Petrol	116.464.274.721,45	-	116.464.274.721,45
Kömür (Linyit)	-	251.361.070,07	251.361.070,07
Toplam			116.715.635.791,52

Çizelge 9.2 (Mevcut Durum) ve Çizelge 9.5 (Senaryo 1) incelendiğinde Senaryo 1 sonuçları, emisyonlarda mevcut duruma göre çok ciddi artışlar olduğunu göstermektedir. Bu da EV'lerin bataryalarının şarj edilmesi için fosil yakıt kullanan bir santralden faydalanılmasının istenmeyen, hatta EV'lere geçiş amacına tam anlamıyla zıt düşen bir sonuç getireceğini göstermektedir. Senaryo 1 sonuçları sadece mevcut durumdaki emisyonları arttırmakla kalmamış olup iki farklı etki kategorisinde (partikül madde (SO₂), karasal asidifikasyon) önemli miktarda SO₂ emisyonuna ve yanı sıra bir etki kategorisinde de (fosil kaynakların tükenmesi) önemli miktarda linyit tüketimine sebep olmuştur. Sonuç olarak fosil yakıt tüketen otomobillerin elektrikli eşdeğeri ile değiştirilmesi ve bu EV'lerin ihtiyaç duyduğu elektriğin yenilenebilir kaynaklar yerine fosil yakıtlı santrallerden karşılanması durumunda faydasından çok zararının olacağı görülmüştür.

Senaryo 2: Otomobillerin tamamının %5'inin FEV olması ve elektrik ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması

Mevcut durumda fosil yakıt tüketen toplam 12.354.008 aracın 617.702 (%5)'sinin FEV olması durumunda fosil yakıt tüketen 11.736.306 araç kalmaktadır (Çizelge 9.3). Bu durumda Çizelge 9.1'deki değerlerin %95'i geçerli olacaktır (Çizelge 9.4). Bunun yanı sıra 617.702 FEV'in bataryası yenilenebilir kaynaklardan karşılandığından ve herhangi bir fosil yakıt tüketmediğinden hiçbir emisyon salınımı olmayacaktır.

TÜİK'in yayınlamış olduğu "Net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı" tablosuna göre 2017 yılında üretilen toplam elektrik enerjisindeki (297.278 GWh) yenilenebilir enerjinin payı %10 olarak belirtilmiştir. Buna göre 2017 yılı için 29.727,8 GWh = 29.727.800 MWh elektrik enerjisi yenilenebilir kaynaklardan üretilmiştir (TÜİK 2017).

Bu çalışmada toplam 617.702 adet FEV'in tükettiği elektrik miktarı 15.890,383 MWh olarak hesaplanmıştır.

Türkiye'de kayıtlı 564 adet (Kurulu gücü 5095 MWe) güneş enerjisi santralinden yıllık yaklaşık 2433 GWh elektrik üretimi yapılmaktadır. Bu verilere göre 617.702 adet FEV'in tüketeceği elektrik miktarı olan 15.890,383 MWh'lik elektrik üretimi için 33,3 MW kurulu güce sahip olması gereken bir güneş enerjisi santrali yeterli olacaktır (Enerji Atlası 2019a).

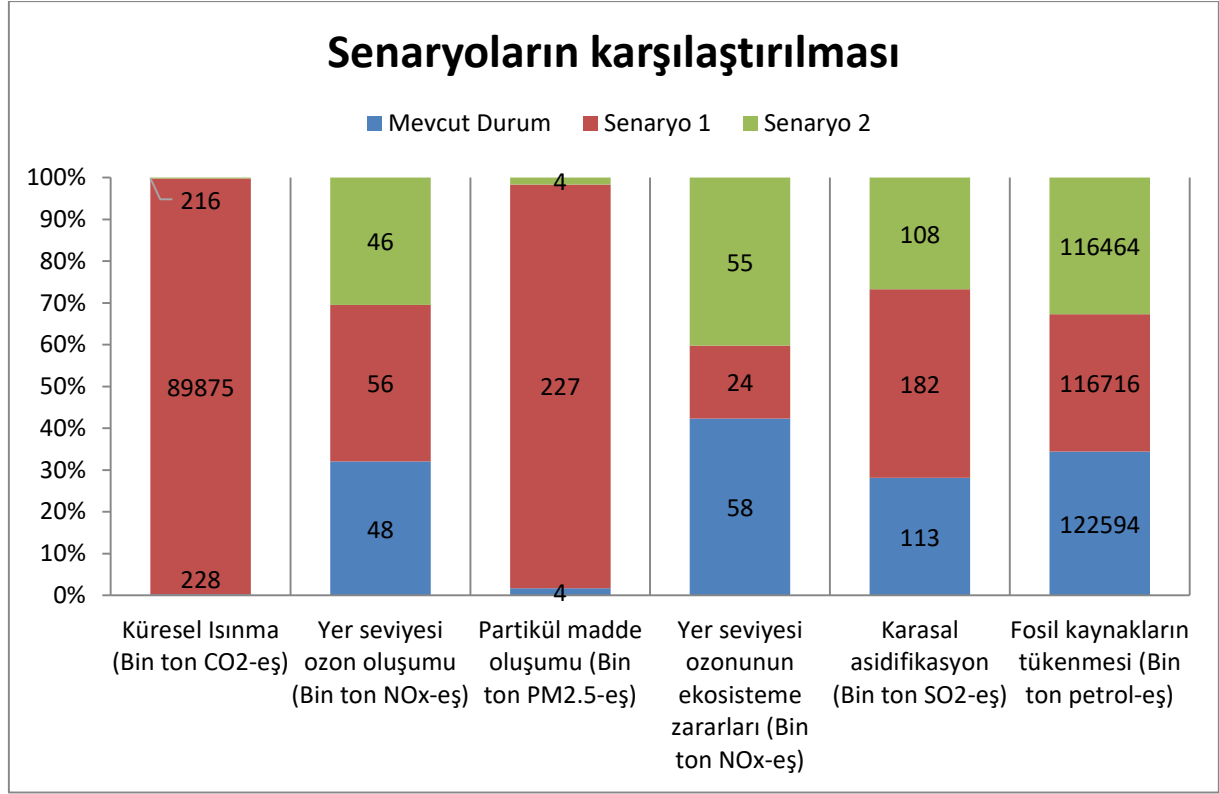
Türkiye’de kayıtlı 192 adet (Kurulu gücü 7010 MWe) rüzgâr enerji santralinden yıllık yaklaşık 17707 GWh elektrik üretimi yapılmaktadır. Bu verilere göre 617.702 adet FEV’in tüketeceği elektrik miktarı olan 15.890,383 MWh’lik elektrik üretimi için 6,3 MW kurulu güce sahip olması gereken bir rüzgar enerjisi santrali yeterli olacaktır (Enerji Atlası 2019b).

Mevcut durum, Senaryo 1 ve Senaryo 2’ye ait orta nokta skorları Çizelge 9.6’da verilmiştir.

Çizelge 9.6 Mevcut Durum, Senaryo 1 ve 2 Orta Nokta Skoru.

Etki Kategorisi		Orta Nokta Skoru (S)		
		Mevcut Durum	Senaryo 1	Senaryo 2
Küresel Isınma (kg CO ₂ -eş)	CO ₂	65.511.210,51	87.995.193.262,39	62.235.649,99
	N ₂ O	162.289.639	1.879.517.544,17	154.175.157,05
	Toplam	227.800.849,51	89.874.710.806,56	216.410.807,04
Yer seviyesi ozon oluşumu (kg NO _x -eş)	NO _x	31.492.754,24	36.453.504,36	29.918.116,53
	NM _{VOC}	16.502.666,2	19.585.054,99	15.677.532,89
	Toplam	47.995.420,44	56.038.559,35	45.595.649,42
Partikül madde oluşumu (kg PM _{2,5} -eş)	PM _{2,5} (NO _x)	3.464.202,96	4.009.885,48	3.290.992,82
	PM _{2,5} (SO ₂)	-	19.946.533,02	-
	PM _{2,5}	580.747,46	203.240.136,59	551.710,09
	Toplam	4.044.950,42	227.196.555,09	3.842.702,91
Yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları (kg NO _x -eş)	NO _x	31.492.754,24	4.009.885,48	29.918.116,53
	NM _{VOC}	26.587.628,93	19.946.533,02	25.258.247,49
	Toplam	58.080.383,17	23.956.418,5	55.176.364,02
Karasal asidifikasyon (kg SO ₂ -eş)	NO _x	113.373.915,26	131.232.615,69	107.705.219,50
	SO ₂	-	50.729.234,14	-
	Toplam	113.373.915,26	181.961.849,83	107.705.219,50
Fosil kaynakların tükenmesi (kg petrol-eş)	Ham petrol	122.593.973.391	116.464.274.721,45	116.464.274.721,45
	Kömür (Linyit)	-	251.361.070,07	-
	Toplam	122.593.973.391	116.715.635.791,52	116.464.274.721,45

Çizelge 9.6’da da görüldüğü gibi mevcut durum, Senaryo 1 ve Senaryo 2 arasındaki emisyon farkları Senaryo 2’in avantajlarını ortaya koymaktadır. Ayrıca Çizelge 9.6’da belirtilen sonuçlar, Şekil 9.1’de sütun grafiği olarak verilmiştir. Bu da Mevcut Durum, Senaryo 1 ve Senaryo 2 arasında daha açık bir kıyaslama imkânı sağlayacaktır.



Şekil 9.1 Mevcut Durum, Senaryo 1 ve Senaryo 2 Orta Nokta Skorları.

Otomobillerin %5’inin FEV olması sonucunda tüm etki kategorileri için emisyonlar %5 oranında azalmış olup fosil kaynaklardan ham petrolün ise 6.129.698.669,55 kg kullanılmasının önüne geçilerek petrol ithal eden bir ülke olarak Türkiye’nin dışa bağımlılığını önemli ölçüde azaltacaktır. Fosil yakıt tüketen otomobillerin elektrikli eşdeğeri ile değiştirilmesi ve FEV’lerin ihtiyaç duyduğu elektriğin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması, küresel ısınma, yer seviyesi ozon oluşumu, yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları, karasal asidifikasyon, partikül madde oluşumu ve bunların olumsuz etkileri azaltılarak iklim değişikliği ve hava kalitesi açısından önemli faydalar sağlayacaktır. Ancak bu durumun aksine Senaryo 1’de fosil kaynaklardan ham petrol tüketiminin azaldığı görülse de 251.361.070,07 kg petrol-eş linyit tüketimine gereksinim duyulmaktadır. Konvansiyonel araçlar yerine EV kullanılması söz konusu olduğunda, henüz piyasa yayılımı gerçekleşmeden elektrik ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanabilmesi için altyapı gereksinimi

karşılmalı ve sonrasında piyasa yayılımı ve devlet teşviki vb. uygulamalar yapılmalıdır. Bu gereksinimler karşılanmadan gerçekleşen EV sayısının artması Türkiye'deki fosil kaynak tüketen konvansiyonel termik santrallere daha fazla yük binmesi, dolayısıyla daha fazla kaynak tüketimi ve daha fazla emisyon salınımı anlamına gelmektedir.

Ulaştırma sektörünün petrole olan bağımlılığı ve buna bağlı olarak da sektörün sürdürülemez durumda olduğu birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Martínez-Lao et al. 2017). Maalesef Türkiye de ulaşımda petrole bağımlı durumdadır. Ülkemiz için petrole olan bağımlılığın anlamı enerjide dışa bağımlılıktır. Bu nedenle, ulaştırma sektöründe yapılacak olan yenilikler Türkiye'nin öz yeterlilik oranını doğrudan arttıracaktır.

Nanaki ve Koroneos'un (2013) çalışmasında da belirttiği gibi bu çalışma kapsamında yapılan araştırma ve ulaşılan sonuçlar, ulaşım sektörünün sürdürülebilirliğini sağlamak için elektrikli araçlar, esnek yakıtlı araçlar gibi yeni ve temiz teknolojilerin kullanılması sayesinde fosil yakıtlara olan bağımlılık azalacaktır (Nanaki ve Koroneos, 2013). Juan Martínez-Lao ve ark.'nın (2017) araştırmasında da benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Martínez-Lao et al. 2017).

Ulaşım bir ülkede mal ve hizmet transferinin sağlanmasından ve küresel üretkenliğin desteklenmesinden insanların işlerini yapmaları ve sosyalleşmesine kadar birçok olanak sağlayan ekonomik büyüme için kilit noktadır. Ancak Heidrich ve diğ.'nin (2017) araştırmasında söz ettiği gibi ulaşımdan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılması önemlidir (Heidrich et al. 2017). Bu nedenle iklim değişikliğinin getirebileceği zorlukları (ve fırsatları) değerlendirmek için şehirlere ve sürdürülebilir ulaştırma stratejilerine yoğunlaşmaya acil bir ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada orta nokta skoru için belirli etki kategorileri dikkate alınarak yapılan emisyon miktarı hesaplamaları sonucunda EV'lerin kullanılması sayesinde CO₂ emisyonu da dahil olmak üzere CO, NO_x, PM, NMVOC emisyonlarının azaltılmasının mümkün olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Li ve diğ. (2017) de çalışmasında EV kullanımının emisyonları yerel olarak azaltılabileceğini belirtmiş olup EV'lerin enerji verimliliği sağlayarak toplam enerji ve kaynak tüketimini de sınırlandırabileceği sonucuna varmıştır (Li et al. 2017).

Bu çalışmada ulaşılan en önemli sonuçlardan biri ise az sayıda da olsa EV'lerin çalışması için ihtiyaç duyulan elektriğin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması durumunda emisyon

miktarları ve kaynak tüketiminde büyük fark yaratması olmuştur. Bulgular bölümünde mevcut durum, Senaryo 1 ve 2 ile ilgili emisyon hesaplamaları yapılmış olup orta nokta skorları hesaplanmıştır. Farklı durumlar için hesaplanan bu emisyon miktarları Çizelge 9.6'da verilmiştir. Mevcut durum ve senaryolar arasındaki fark açıkça görülmekte olup EV'lerin enerji ihtiyacının fosil yakıtlardan karşılanması durumunda (Senaryo 1) etki kategorilerinden fosil kaynakların tükenmesi ile ilgili sonuçlar oldukça dikkat çekicidir. Çünkü beklenenin aksine EV'lere geçiş yapılmasına rağmen elektrik ihtiyacı fosil yakıtlı (linyit kömürü) termik santralden karşılandığında, santralde fazladan 15.890,383 MW elektrik üretim yükü anlamına gelmekte ve bu da fazladan 85.462.763.823,8 kg petrol-eşdeğeri linyit tüketilmesi demektir. Sonuç olarak otomobillerin %5'inin FEV olması ile sağlanmak istenen emisyon ve fosil kaynak tüketiminin azaltılması gibi faydalar sağlanamamış olup aksine daha fazla fosil kaynak tüketilmiştir. Bu da ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliğinin sağlanması hedefine ters düşmektedir. Birçok araştırmacı çalışmalarında EV bataryaları yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik ile şarj edilebilirse EV'lerin yaşam döngülerinin tüm aşamalarında emisyonların önemli ölçüde azaltılabildiğini belirtmiştir (Dias et al. 2014, Hennings et al. 2013, McLaren et al. 2016). Aynı şekilde Brezilya'da yapılan bir araştırmaya göre, Brezilya filusunda EV sayısındaki artışın neden olduğu elektrik enerjisi talebi çevre dostu ve olumlu şekilde karşılanabilmektedir. Çünkü Brezilya yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji matrisine sahiptir (De Souza et al. 2018).

Dünyada ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonların ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması yalnızca EV'ler ile değil esnek yakıtlı araçlarla (FFV) da sağlanabilmektedir. ABD ve Avrupa ülkelerinde önemli sayıda araç FFV'dir. Genel olarak soya, kolza, ayçiçeği, şeker kamışı, hindistan cevizi ve hurma yağı FFV'lerde yakıt olarak yalnız başına veya çeşitli oranlarda yakıtı karıştırılarak kullanılmaktadır (Kousoulidou et al. 2008, Sozinho et al. 2018). Alternatif yakıtlar kısıtlı kaynakların üzerindeki baskıyı azaltmak gibi avantajlara sahip olmakla beraber dezavantajları da bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda alternatif yakıtların kullanılmasıyla emisyonların kısmen azaldığı, bazılarında da kısmen arttığı ve bazılarında ise belirgin bir şekilde azaldığı belirtilmiştir (He et al. 2003, Knapp et al. 1998). Ayrıca biyoyakıtların elde edilmesinde kullanılan hammaddelerin bölgesel ve iklimsel olarak farklılık göstermesi de önemli bir husustur. Knothe and Steidley (2005)'in de belirttiği gibi bölgeye göre farklılık gösteren biyoyakıt hammaddelerinin yakıtın özelliklerini nasıl etkileyebileceğini bilmek önemlidir (Knothe and Steidley 2005). Lora et al. (2011)'e göre şeker kamışı etanole karşılık gelen fosil yakıt (benzin) ile ikame edilmesi, sera gazı emisyonlarının %80'inden

fazlasını azaltmak için yeterli olabilmektedir (Silva Lora et al. 2011). Aynı zamanda alternatif yakıt fiyatlarının benzine kıyasla çok daha ucuz olması da tercih sebebidir (Sozinho et al. 2018). Ancak artan nüfus ile birlikte genel olarak iklime göre verimliliği ve çeşitliliği değiştiğinden ulaşım sektörünün geleceğine yön verecek seçenekler arasında görünmemektedir. Türkiye'nin bugüne kadar biyoyakıtlar ile ilgili önemli bir hedefi, yatırımı veya yaptırımı bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan araştırma ve literatür taraması sonucunda dünyanın biyoyakıtlardan ziyade EV'lere ve devamında daha da geliştirilerek otonom sistemlere yönelmektedir ki bu alanda büyük yatırımların ve projelerin yapıldığını söylemek mümkündür (Arbib and Seba 2017).

Mazur et al. (2015) İngiltere ve Almanya'da düşük emisyonlu araçların hızlı bir şekilde tanıtılması, yayılması ve otomotiv endüstrisinin geliştirilmesinin mevcut politikalar ile mümkün olabileceğini ve böylece sera gazı emisyonlarının azaltılabileceğini göstermektedir (Mazur et al. 2015). Benzer şekilde Kieckhafer et al. (2016) devlet sübvansiyonu ile EV'lerin Pazar payının artabileceğini ortaya koymuştur (Kieckhäfer et al. 2017). TÜİK 2019 istatistikleri Türkiye'de trafiğe kayıtlı elektrikli araç sayısında az da olsa artış olduğunu göstermektedir. EV'ler ile ilgili Türkiye'de herhangi bir devlet teşviki, hedefi veya uygulaması olmamasına rağmen EV alımında artış eğilimi olması, bunların çevre konusunda hassas ve bilinçli tüketici ve sürücüler tarafından alındığını düşündürmektedir. Öyle ki ülkemizde öncelikle EV'lerin kullanılabilmesi için gerekli altyapı sisteminin oluşturulması (şarj istasyonları vb.), EV'lerin yenilenebilir kaynaklardan şarj edilmesinin sağlanması, devlet hedefleri, politikaları ve teşvikiyle EV'lerin Türkiye pazarında çok önemli bir yere sahip olacağını söylemek mümkündür. Bu da yerel ölçekte emisyonları azaltmakla kalmaz fosil kaynak (petrol) tüketiminin en aza indirilerek dışa bağımlılığımızı azaltacak önemli bir ilerleme olacaktır. Li et al. (2017) çalışması buna bir kanıt olarak gösterilebilir (Li et al. 2017).

Bu çalışmada ise Türkiye'deki otomobillerin mevcut durumu ve iki farklı senaryo ele alınmış olup önce emisyon envanteri ardından da yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmıştır. Senaryo 1'de mevcut duruma göre ham petrol tüketimi 14.546.528.038,66 kg petrol-eş azaltılmış olup linyit tüketimi ise 85.462.763.823,8 kg petrol-eş artmıştır. Dolayısıyla Senaryo 1 istenilen faydayı sağlayamamış olup fosil kaynak tüketiminin artmasına sebep olmuştur. Senaryo 2'de ise tüm emisyon faktörleri (CO₂, NMVOC, PM_{2.5}, NO_x ve N₂O) %5 oranında azaltılmış olup mevcut durumda 122.593.973.391 kg petrol-eş olan ham petrol tüketimi

6.129.698.669,55 kg petrol-eş azaltılmıştır. Bu da ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliğinin sağlanmasında Senaryo 2’de olduğu gibi EV bataryalarının yenilenebilir kaynaklardan sağlanan elektrik ile şarj edilmesinin gerekli olduğunu göstermiş olup ülkemizin öz yeterliliğini arttırarak hava kalitesinin iyileştirilmesini sağlayan umut verici bir sonuçtur.

Birçok araştırmaya göre elektrikli araçların kullanımının hızla arttığını ve gelecekte de otomotiv piyasasında önemli bir yer edinecektir. Juan Martínez-Lao ve ark.’na göre zaten çok kısa bir süre içerisinde 1 milyon EV üretilip satılmış ve bu yeni düşük karbonlu ileri teknolojiler otomotiv sektöründe önemli bir yere sahip olmuştur (Martínez-Lao et al. 2017). Aynı şekilde 2010'dan bu yana EV sayısı hızla artmış ve EV’ler ile ulaşım, sürücüler tarafından benimsenmiştir (Dijk et al. 2013).

EV kullanımının artması ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bir dizi çalışma EV alımını artıracak olan teşvik ve politika gerekliliklerini araştırmıştır (Bohnsack et al. 2014, Gardner et al. 2013, Guzay Pasaoglu et al. 2014) ve araştırmaların çoğu EV pazar payının artmasında devlet politika ve hedeflerinin etkili olduğunu belirtmektedir (Chandra et al. 2010, Egbue and Long, 2012, Heidrich et al. 2017, Kim et al. 2018, Guzay Pasaoglu et al. 2014).

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar ile Türkiye’de bu uygulamaların yapılması ve böylece ulaştırma sektörünün daha sürdürülebilir olması mümkündür. Bu nedenle daha temiz, çevre dostu ve öz yeterliliği yüksek bir noktaya erişmek için devlet olarak daha belirgin hedeflerin belirlenmesi ve hayata geçirilmesi gerekmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta Mazur ve diğ. (2015) nin de belirttiği gibi yerel geçiş politikalarının hükümet hedefleriyle tutarlı olması gerekliliğidir (Mazur et al. 2015). Başka bir çalışmada ise hükümetlerin şarj istasyonlarını standartlaştırmak için yeni yerel yönetmelikler ve düzenlemeler oluşturması gerektiğini vurgulamıştır (Li et al. 2017).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan biri de diğer birçok çalışmada da olduğu gibi EV’lerin ilave bir güç üretimi (yenilenebilir kaynaktan) ve altyapı gereksiniminin olmasıdır. Bunlar Oxley et al. (2012) çalışmasında bir kısıtlama olarak vurgulanmıştır (Oxley et al. 2012). Yuan et al. (2015) de EV’ler için altyapı çalışmalarının ve yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektriğin arttırılmasını önermektedir. Bu da EV’lere geçişi kolaylaştıracaktır (Xueliang Yuan et al. 2015).

EV'ler ile ilgili önyargılardan biri ise maliyettir. BEV'ler daha temiz bir elektrik şebekesi ile sera gazı emisyonlarını azaltabilecek olsa da, nispeten klasik araçlardan daha yüksek yatırım maliyetine sahiptir. Sera gazı emisyonunun azaltılmasında çok sayıda teknoloji olduğu için, BEV'in en ekonomik teknoloji yolu olup olmadığı konusunda şüpheler devam etmektedir (Rezvani et al. 2015, Ruan et al. 2016). Wu et al. (2015) yaptığı çalışmada uzun sürüş mesafesinde BEV'lerin tüm ICEV'lerden çok daha az maliyetli olduğunu belirtmektedir (Wu et al. 2015). Buna karşın Zhao et al. (2015) benzer bir araştırma yaparak BEV'lere ait yaşam döngüsü maliyetinin ICEV'lere göre %40 daha fazla olacağını belirtmekte olup tamamen farklı bir sonuca ulaşmışlardır (Zhao et al. 2015). EV maliyetleri ile ilgili her ne kadar farklı sonuçlar olsa da literatür genelinde uzun vadede EV'lerin ICEV'lere kıyasla yeni gelişen teknolojiler de göz önünde bulundurularak çok daha ekonomik olacağı kabul edilmektedir. Bir çalışmada ise Avrupa elektrik maliyetlerinin araç-km başına düşen akaryakıt maliyetlerinden çok düşük olduğu ve EV'lerin düşük işletme maliyetlerini sağlayabileceği belirtilmektedir (Moriarty and Wang 2017). Gelişmekte olan ve son zamanlarda daha da hız kazanan bu konuda çok daha fazla disiplinlerarası araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç vardır (Jochem et al. 2018).

Elektrikli araçların tüketiciler tarafından benimsenmesi ve satın alınması, şarj istasyonlarının kullanılabilirliği ve EV'nin ekonomik değerlemesi hâlihazırda iyi bir aşamadadır. Ancak EV hakkındaki bilgi hala çok sınırlıdır ve toplumda hala birçok önyargı vardır. Bu nedenle, EV ile ilgili tüm bilimsel yaklaşımlar politika yapıcılara ve kamuya yaygın bir şekilde aktarılmalıdır.

Hofmann et al. (2016) ICEV'lerin yerine EV'lerin kullanılmasında elektrik üretim sektörü yapısının çevre dostu bir yapıda olmaması durumunda ulusal CO₂ emisyonlarının değişmeyeceğini belirtmektedir (Lin and Tan 2017). Heidrich et al. (2017) de yaptıkları çalışmada aynı sonuca ulaşmıştır. Bu çalışmada ise elektrik enerjisinin sağlandığı kaynağın fosil olması durumunda CO₂'nin yanı sıra CO, NMVOC, PM, N₂O, SO₂ emisyonlarının da değişmemekten ziyade ciddi oranlarda artacağı belirlenmiştir. Benzer olarak Teixeira ve Sodre (2016) bir yazılım ile taksi filosunun EV olarak değiştirilmesi için vaka çalışması yapmıştır. Çalışmadaki senaryolar, elektriğin alternatif kaynaklardan veya fosil yakıtlardan üretildiği koşullar göz önüne alınarak belirlenen CO₂ emisyon faktörlerine dayanmaktadır. Sonuçlar, EV'lerin elektrik enerjisi tüketiminin ICEV'lerin yakıt tüketiminden yaklaşık dört kat daha düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca en olumsuz senaryoda dahi EV'lerin

ICEV'lere göre çok daha az CO₂ emisyonu üreteceği belirtilmektedir. Maliyet konusunda ise EV'lerin daha ekonomik olacağı sonucuna varılmıştır (Teixeira and Sodré 2016).

Yenilenebilir kaynaklardan gelen elektrik ile EV bataryalarının şarj edilmesi sağlandığında CO₂ emisyonlarının önemli oranda azaldığını belirleyen Doucette ve McCulloch (2011) ve Ensslen et al. (2017) göre otomobillerden kaynaklanan hava kirliliğinin azaltılmasının mevcut konvansiyonel araçların elektrikli eşdeğeri ile değiştirilmesi ile mümkün olabileceğini belirtmektedir (Doucette ve McCulloch, 2011, Ensslen et al. 2017). Moriarty et al.'nın da (2017) araştırmasında belirttiği gibi bu çalışmada da ulaşılan sonuç benzer olup yerel hava kirliliğinin azaltılmasında EV'lerin ICEV'lerden çok daha üstün olduğunu söylemek mümkündür (Moriarty and Wang 2017). Bunun yanı sıra düşük karbonlu (doğal gaz, biyoyakıt vb.) veya yenilenebilir kaynaklardan (rüzgar, güneş vb.) gelen elektriği kullanan BEV'ler yaşam döngüsü değerlendirmesine göre daha sürdürülebilirdir (Hawkins et al. 2012).

Bilindiği gibi bu çalışmada mevcut durum, Senaryo 1 ve 2 üzerinden değerlendirme yapılmış olup EV'lere gelen elektriğin, fosil kaynaklardan veya yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesinin yarattığı emisyon ve kaynak tüketimi farkı ortaya koyulmuştur.

Benzer şekilde Teixeira ve Sodre'nin (2018) çalışmasında da Brezilya'daki otomobillerin %5 ve %100'ünün EV olmasının yaratacağı elektrik yükü üzerinde durulmuş olup hava kalitesini olumsuz yönde etkileyen emisyonların engellenmesi için bunun çevre dostu bir şekilde karşılanması gerektiği ve Brezilya'da bunun mümkün olduğu belirtilmiştir (Teixeira ve Sodré, 2016).

Lin et al. (2017) çalışmasında Çin'in petrole olan yüksek derecedeki bağımlılığının ekonomik açıdan ciddi bir tehdit oluşturduğunu ve bu nedenle Çin'in ulaşım sektöründe petrole olan bağımlılığının en aza indirilmesini hedef olarak belirlediğini belirtmektedir. Bu sayede Çin'de enerji güvenliği sorununun azalacağını da ifade etmektedir (Lin and Tan 2017).

Bu çalışmada daha çok petrole dayalı olan ulaşım sektörünün sebep olduğu emisyonlar ve kaynak tüketiminin azaltılması gerektiği ve bunun da EV'ler ile sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Aynı şekilde Moriarty ve ark.'nın (2017) çalışmasında da EV'lerin karayolu yolcu taşımacılığı başta olmak üzere, küresel ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını ve

enerji tüketimini azaltmak için önemli bir araç olduğu belirtilmiştir (Moriarty and Wang 2017).

Bir araştırmada BEV ve HEV'leri ulaşım sektöründen kaynaklanan sorunları çözmenin önemli bir aracı olarak kabul edilmektedir. Ek olarak, kentsel hava kirliliğini iyileştirmeye yardımcı oldukları da belirtilmiştir (Onat vd. 2015). Benzer şekilde Requía ve diğ. (2017)'nin yapmış olduğu çalışmaya göre Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEV) yeşil güç üretim profillerine göre sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeline sahiptir (Requia et al. 2017).

Karayolu sektörü tüm ulaşım sektöründeki enerji tüketiminde hayati bir rol oynamaktadır (Lin and Xie 2013). Türkiye'de de ulaşım sektörünün belkemiğini petrolün oluşturduğunu ve petrolde dışa bağımlı bir ülke olduğumuzu düşünürsek enerji güvenliği sorununun Türkiye için de çok büyük olduğu görülecektir. Bu nedenle bir an önce ülke olarak önlem almamız gerekmektedir. Çin'de de uygulanan, ülkenin kalkınması ve gelişmesi için çok önemli bir adım olan, petrolün en çok kullanıldığı ulaşım sektöründe petrole olan bağımlılığın azaltılması hedefinin uygulanması, ülkemizin enerji güvenliğini büyük oranda sağlayarak öz yeterliliğini artırması için ciddi bir adım olacaktır.

EV'ler ile ilgili daha belirgin sonuçların elde edilmesi noktasında LCA çalışmaları da büyük önem taşımaktadır. Bu konuda araştırmacılar tarafından farklı sonuçlar elde edilmiştir. EV'nin tam yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasına göre EV'nin daha önce hesaplanandan daha yüksek faydalarının olabileceğini göstermiştir (Duarte et al. 2016).

Çek Cumhuriyeti ve Polonya'da yapılan çalışmada EV kaynaklı sera gazı emisyonu miktarlarının ve fosil yakıt tüketiminin ICEV'lere kıyasla daha düşük olduğu belirtilmiştir. Ancak EV'ler için kullanılan elektrik fosil kaynaklardan karşılanırsa, karasal ekosistemlerdeki asidifikasyon, tatlı sulardaki ötrofikasyon, insan sağlığına toksik etkiler ve partikül madde oluşumu gibi çevresel etkiler, ICEV'lerde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak EV'ler yenilenebilir enerji ile birlikte kullanılırsa çevresel etkilerinin azaldığı belirtilmiştir (Burchart-Korol et al. 2018). Bu çalışmada da aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Ma ve ark.'nın (2012) Kaliforniya ve İngiltere'de yapmış olduğu LCA çalışmasında EV'ler ve ICEV'lerin sebep olduğu sera gazı emisyonlarını karşılaştırmıştır. EV'lerin düşük hızlı şehir içi sürüş koşullarında iyi sonuçlar verdiğini ve sera gazı emisyonlarının büyük ölçüde batarya üretimi

sırasında meydana geldiğini ve ICEV üretiminden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır (Ma et al. 2012).

Aynı şekilde Requia et al. (2017) sekiz Kanada şehrinde (Vancouver et al.) bir yaşam döngüsü analizi kullanarak PHEV'lerin CO₂ emisyonlarını değerlendirmiştir. Çalışma sonuçları, bu çalışmanın sonuçlarıyla uyumlu olarak, CO₂ emisyonlarını azaltmak için PHEV'lerin üretim ve kullanım süreçlerinde yenilenebilir enerji seçenekleriyle entegre edilmesi gerektiğini tekrarlamıştır (Requia et al. 2017).

Ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliği açısından alternatif teknolojiler arasında, BEV'lerin gelecek için önemli bir seçenek olduğu düşünülmektedir (Yuan et al. 2015). Çin 2020 yılına kadar 5 milyon adet kümülatif BEV satışına yönelik iddialı bir hedef belirlemiştir ve bu da Çin'de BEV pazarı için büyük bir büyüme potansiyeli anlamına gelmektedir (Hao et al. 2017). Şaşırtıcı bir sonuca ulaşan Ou ve diğ. (2010) kömürden elde edilen elektrik kullanılsa bile BEV'lerin ICEV'lere kıyasla yaşam döngüsü analizindeki sera gazı emisyonlarını azaltabildiğini belirtmektedir (Ou et al. 2010). Dünyanın çeşitli ülkelerinde yapılan birçok çalışma gibi Çin'de yapılan birçok çalışma da BEV'lerin Çin'de sera gazı emisyonlarını azalttığı sonucuna varmıştır. Zhou et al. (2013) BEV'lerin 2009 yılında sera gazı emisyonlarını ulusal düzeyde %17,1 azalttığını göstermiştir (Zhou et al. 2013). Shi ve diğ. (2013)' nin LCA çalışmasına göre ise BEV'lerin Çin'de sera gazı emisyonlarını %56 azaltabildiği sonucuna varmışlardır (Hao et al. 2017).

Hawkins et al. (2012) Avrupa genelinde desteklenen EV'lerin, küresel ısınma potansiyelinde (GWP), içten yanmalı motorlu araçlara oranla %10-24 oranında bir düşüş sağladığını göstermektedir (Hawkins et al. 2012).

Bu çalışmada ise etki kategorilerinden küresel ısınma için CO₂ ve N₂O için küresel ısınma potansiyeli (GWP 20) hesaplanmıştır. Buna göre mevcut durum için elde edilen küresel ısınma potansiyeli, EV'lerin fosil yakıtlı termik santralden elde edilen elektrikle şarj edilmesi durumunda (Senaryo 1) ciddi oranda artmıştır. Ancak EV'lerin yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik ile şarj edilmesi durumunda ise (Senaryo 2) geçiş yapılan EV oranında azaltılması sağlanmıştır.

Moriarty et al. (2017) çalışmasında literatür ile benzer olarak EV'lere geçiş ile sera gazı emisyonlarında düşüş sağlamak için altyapının iyileştirilmesi ve yenilenebilir payın artırılması EV'nin yaygınlaştırılmasından önce gelmesi gerektiğini belirtmektedir (Moriarty and Wang 2017). Canals Casals et al. (2016) göre ise EV'ler için LCA yapıldığında diğer çevresel kazanımların küresel ısınma potansiyelinin ötesine geçtiğini bilmek gerekmektedir. Ulaşımın elektrikleştirilmesinden fosil yakıtlara daha az bağımlılık gibi başka faydalar ortaya çıkmaktadır. Kentsel alanlardaki hava kirliliğine dair çevre bilincinin artması insan sağlığı üzerinde önemli sonuçlar doğurmaktadır. Sonuçta yenilenebilirliğin payı ile EV arasındaki bağlantı açıktır ve bu nedenle EV yaygınlaşmasını teşvik etmeden önce enerji üretim sektörünün sürdürülebilirliği önemlidir (Canals Casals et al. 2016).

Sadece elektrik ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarının etkinliğinin sağlanması durumunda, EV üstünlüğünü kesin olarak iddia etmek mümkün olacaktır (Moriarty and Wang 2017).



BÖLÜM 9

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye’de mevcut durumdaki araç sayısı, kullanılan yakıt türleri, yakıt tüketimleri belirtilmiş olup buna bağlı olarak ortaya çıkan kirletici emisyonlar ve kaynak tüketimi (ham petrol) hesaplanmıştır. Buna ek olarak, araç filosunun belirli bir bölümünün (%5) elektrikli araçlar ile değiştirilmesi ve bu araçlar için ihtiyaç duyulan elektriğin iki farklı kaynaktan üretilmesi (fosil ve yenilenebilir) durumu için yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmış olup buna göre orta nokta skorları hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde belirlenen 6 farklı etki kategorisi değerleri mevcut durum, Senaryo 1 ve Senaryo 2 için rakamsal olarak belirlenmiştir. Senaryo 1, otomobil filosunun %5’inin FEV olması ve ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin fosil (kömür) yakıtlı termik santralden karşılanması ve Senaryo 2 ise otomobil filosunun %5’inin FEV olması ve ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması durumudur.

Senaryo 1 için yapılan hesaplamalar sonucunda, Senaryo 1’de araçların %5’inin FEV olması ile elde edilen toplam küresel ısınma değeri, mevcut durum için elde edilen toplam küresel ısınma değerinden 89.646.909.957,05 kg CO₂-eş daha fazla idi. Aynı şekilde Senaryo 1 için toplam yer seviyesi ozon oluşumu ise mevcut duruma göre 8.043.138,91 kg-NO_x-eş daha fazla olup partikül madde oluşumu için de 223.151.604,67 kg PM_{2.5}-eş daha fazla idi. Termik santrallerde PM_{2.5} giderim verimi yüksek olmasına rağmen kömürün yakılmasıyla ortaya çıkan fazla miktarda kül Senaryo 1 PM değerlerinin daha fazla olmasına sebep olmuştur. Ayrıca mevcut durumda SO₂ emisyonu olmaması dolayısıyla atmosferde ikincil aerosol oluşumu (PM_{2.5}) yokken Senaryo 1’de kömür yakılmasından kaynaklı SO₂ emisyonuna bağlı olarak 19.946.533,02 kg PM_{2.5}-eş meydana gelmektedir. Karasal asidifikasyon (NO_x, SO₂) değeri ise mevcut duruma göre 68.587.934,57 kg SO₂-eş daha fazla idi. Fosil kaynakların tükenmesinde ise her ne kadar filonun bir bölümünün FEV olması ile ham petrol tüketimi 6.129.698.669,55 kg petrol-eş kadar azaltılmış olsa da termik santrale gelen fazladan 15.890,383 MW elektrik yükü ile fazladan 251.361.070,07 kg petrol-eş linyit tüketilmesine

sebepe olmuştur. Buna rağmen fosil kaynak tüketimi toplamda 5.878.337.599,48 kg petrol-eş azaltılmıştır. Yer seviyesi ozonunun ekosisteme zararları (NO_x, NMVOC) ise Senaryo 1’de mevcut duruma göre 34.123.964,67 kg NO_x-eş azaltılmıştır. Bunun nedeni ise termik santraldeki NO_x giderim veriminin yüksek olmasıdır.

Senaryo 2 için yapılan hesaplamalar sonucunda, tüm etki kategorilerinde mevcut duruma göre %5 oranında azalma sağlanmaktadır. Bunun nedeni Senaryo 1’de filonun FEV olan bölümünün elektrik ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasıdır.

Sonuç olarak Türkiye’deki araç filosunun %5’inin FEV olması ile sağlanmak istenen kirletici emisyonların ve fosil kaynak tüketiminin azaltılması gibi faydalar sağlanamamış olup aksine daha fazla fosil kaynak tüketilmiştir. Ayrıca kirletici emisyonlar ile hava kalitesi olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu da ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliğinin sağlanması hedefine ters düşmektedir. Buna karşın Senaryo 2 için yapılan hesaplama sonuçları umut vericidir. Daha az emisyon ve daha az fosil kaynak tüketimi ile Senaryo 2’nin avantajları açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)** (1996) Satcher D. (Ed.) *Toxicological profile for Methyl tert-butyl ether (MTBE)*. U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, 268.
- Almeida J R U C, Fagundes De Almeida, Torres E L and Freires F G M** (2018) Economic value of underground natural gas storage for the Brazilian power sector. *Energy Policy*, 121: 488–497
- Altan O** (2018) Elektriklilerin gerçek yüzü. Adres: <http://hurriyetoto.hurriyet.com.tr/haber/elektriklilerin-gercek-yuzu-5b55e0915379ff30204a7bc2>
- Amjad S, Neelakrishnan S and Rudramoorthy R** (2010). Review of design considerations and technological challenges for successful development and deployment of plug-in hybrid electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3):1104–1110
- An H, Yang W M, Maghbouli A, Li J, Chou S K and Chua K J** (2013) Performance, combustion and emission characteristics of biodiesel derived from waste cooking oils. *Applied Energy*, 112: 493–499
- Anderson L G** (2011) Effects of Biodiesel Fuels Use on Vehicle Emissions. In World Renewable Energy Congress 2011 (3545–3652) Linköping.
- Araújo K, Mahajan D, Kerr R and Silva M da** (2017) Global Biofuels at the Crossroads: An Overview of Technical, Policy, and Investment Complexities in the Sustainability of Biofuel Development. *Agriculture*, 7(4):32
- Arbib J and Seba T** (2017) A RethinkX Sector Disruption Report. *Rethinking Transportation 2020-2030*. Adres: <https://www.rethinkx.com/>
- Atilgan B and Azapagic A** (2015) Life cycle environmental impacts of electricity from fossil fuels in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 106: 555–564
- Atkinson R** (2000) Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmospheric Environment*, 34: 2063–2101
- Axsen J and Kurani K S** (2013) Connecting plug-in vehicles with green electricity through consumer demand. *Environmental Research Letters*, 8: 1 - 11
- Azapagic A** (2008) Life Cycle Assessment as an Environmental Sustainability Tool. In J. Dewulf ve H. Van Langenhove (Ed.), *Renewables-Based Technology: Sustainability Assessment*. 87–110.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ban-Weiss G A, Chen J Y, Buchholz B A and Dibble R W** (2007) A numerical investigation into the anomalous slight NO_x increase when burning biodiesel, A new (old) theory. *Fuel Processing Technology*, 88(7): 659–667
- Bauer C, Hofer J, Althaus H J, Del Duce A and Simons A** (2015) The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life Cycle Assessment based on a novel scenario analysis framework. *Applied Energy*, 157: 871–883
- Bohnsack R, Pinkse J and Kolk A** (2014) Business models for sustainable technologies: Exploring business model evolution in the case of electric vehicles. *Research Policy*, 43(2): 284–300
- Boylu F ve Karağaçlıoğlu İ E** (2018) Kömür Bileşenlerinin Kalorifik Değer Üzerindeki Etkisi Üzerine Değerlendirme. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 39(3): 221–236
- BP** (2018) BP Statistical Review of World Energy. *Statistical Review of World Energy*, ISBN: 0300-3604, 53.
- Brey J J, Carazo A F and Brey R** (2018) Exploring the marketability of fuel cell electric vehicles in terms of infrastructure and hydrogen costs in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8: 2893–2899
- Burchart-Korol D, Jursova S, Folęga P, Korol J, Pustejovska P and Blaut A** (2018) Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic. *Journal of Cleaner Production*, 202: 476–487
- Canals Casals L, Martinez-Laserna E, Amante García B and Nieto N** (2016) Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO₂ emissions reduction. *Journal of Cleaner Production*, 127: 425–437
- Cecere G, Corrocher N and Guerzoni M** (2018) Price or performance? A probabilistic choice analysis of the intention to buy electric vehicles in European countries. *Energy Policy*, 118: 19–32
- Chan C C** (2004) The State of the Art of Electric Vehicles. *Journal of Asian Electric Vehicles*, 2(2): 579–600
- Chan C C, Bouscayrol A and Chen K** (2010) Electric, Hybrid and Fuel-Cell Vehicles : Architectures and Modeling, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(2): 589–598
- Chandra A, Gulati S and Kandlikar M** (2010) Green drivers or free riders? An analysis of tax rebates for hybrid vehicles. *Journal of Environmental Economics and Management*, 60(2): 78–93

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Chattopadhyay S and Sen R** (2013) Fuel properties, Engine performance and environmental benefits of biodiesel produced by a green process. *Applied Energy*, 105: 319–326
- Chellaswamy C and Ramesh R** (2017) Future renewable energy option for recharging full electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76: 824–838
- Chen K, Bouscayrol A, Berthon A, Delarue P, Hissel D and Trigui R** (2009) Global Modeling of Different Vehicles. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 10: 80–89
- Davies J, and Kurani K S** (2013) Moving from assumption to observation: Implications for energy and emissions impacts of plug-in hybrid electric vehicles. *Energy Policy*, 62: 550–560
- De Souza L L P, Lora E E S, Palacio J C E, Rocha M H, Renó M L G and Venturini O J** (2018). Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 203: 444–468
- Delprat S, Lauber, J, Guerra T M and Rimaux J** (2004) Control of a parallel hybrid powertrain: Optimal control. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 53(3): 872–881
- Demirer G N** (Ed.) (2017) *Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları - Yaşam Döngüsü Analizi*. Baskı no: 1, 40.
- Denholm P, Kuss M and Margolis R M** (2013) Co-benefits of large scale plug-in hybrid electric vehicle and solar PV deployment. *Journal of Power Sources*, 236: 350–356
- Dias M V X, Haddad J, Horta Nogueira L, Costa Bortoni E da Passos da Cruz R A, Akira Yamachita R and Goncalves J L** (2014) The impact on electricity demand and emissions due to the introduction of electric cars in the São Paulo power system. *Energy Policy*, 65: 298–304
- Dijk M, Orsato R J and Kemp R** (2013) The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*, 52: 135–145
- Dong Y H and Ng S T** (2014) Comparing the midpoint and endpoint approaches based on ReCiPe - A study of commercial buildings in Hong Kong. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19: 1409–1423
- Doucette R T and McCulloch M D** (2011) Modeling the CO₂ emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries. *Energy Policy*, 39(2): 803–811

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Duarte G O, Gonçalves G A and Farias T L** (2016) Analysis of fuel consumption and pollutant emissions of regulated and alternative driving cycles based on real-world measurements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44: 43–54
- Dutta K, Daverey A and Lin J G** (2014) Evolution retrospective for alternative fuels: First to fourth generation. *Renewable Energy*, 69: 114–122
- EEA** (2018a) *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook*. ISBN: 1977-8449, 143
- EEA** (2018b) *Emissions of air pollutants from transport*. Copenhagen-Denmark, 18
- Egbue O and Long S** (2012) Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy Policy*, 48: 717–729
- Ehsani M, Gao Y, Gay S E and Emadi A** (2005) *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. ISBN: 0849331544, Hong Kong, 598
- Ehsani M, Gao Y and Miller J M** (2007). Hybrid electric vehicles: Architecture and motor drives. *Proceedings of the IEEE*, 95(4): 719–728
- EIA** (2018) What is a refinery? <https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=oil_refining>, Ziyaret tarihi: 04.11.2018
- Emadi A, Lee Y J and Rajashekara K** (2008) Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(6): 2237–2245
- Emadi A, Williamson S S and Khaligh A** (2006) Power Electronics Intensive Solutions for Advanced Vehicular Power Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21(3): 567–577
- Enerji Atlası** (2019a) Güneş Enerji Santralleri. Adres: <https://www.enerjiatlası.com/gunes/>
- Enerji Atlası** (2019b) Rüzgâr Enerji Santralleri. Adres: <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/>
- Ensslen A, Schücking M, Jochem P, Steffens H, Fichtner W, Wollersheim O and Stella K** (2017) Empirical carbon dioxide emissions of electric vehicles in a French-German commuter fleet test. *Journal of Cleaner Production*, 142: 263–278
- EPA** (2018) Air Emissions Factors and Quantification. <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/index.html>> Ziyaret tarihi: 04.11.2018
- Erturk O and Erdinc A** (2018) The Effect of Renewable Energy Sources on Power Generation and Current Account Deficit in Turkey. In *4th SCF International Conference on “Economic and Social Impacts of Globalization” and “Future of Turkey-EU Relations”*, Nevşehir, 103–113

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Fan Y, Zhang L, Huang J, and Han X** (2014) Design, analysis, and sensorless control of a self-decelerating permanent-magnet in-wheel motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(10): 5788–5797
- Figenbaum E** (2017) Perspectives on Norway’s supercharged electric vehicle policy. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 25: 14–34
- Flachsbart P G** (1997) Human Exposure to Exhaust And Evaporative Emissions from Motor Vehicles. In D. Schwela, O. Zali, ve P. Schwela (Ed.), *World Health Organization Motor Vehicle Air Pollution*, 132–180
- Galus M D, Zima M and Andersson G** (2010) On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures. *Energy Policy*, 38(11): 6736–6745
- Ganapathy T, Gakkhar R P and Murugesan K** (2011) Influence of injection timing on performance, combustion and emission characteristics of Jatropha biodiesel engine. *Applied Energy*, 88(12): 4376–4386
- Gardner L M, Duell M and Waller S T** (2013) A framework for evaluating the role of electric vehicles in transportation network infrastructure under travel demand variability. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49: 76–90
- Goedkoop M and Spriensma R** (2001) The Eco-indicator 99, a damage oriented method for life cycle impact assessment. *Annex report Eco-indicator 99*, Baskı no: 3, ISBN: 9780874216561, Plotterweg, 83
- Graboski M S and McCormick R L** (1998) Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 24(97): 125–164.
- Hamut H S, Dincer I and Naterer G F** (2014) Analysis and optimization of hybrid electric vehicle thermal management systems. *Journal of Power Sources*, 247: 643–654
- Hannan M A, Azidin F A and Mohamed A** (2014) Hybrid electric vehicles and their challenges: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29: 135–150
- Hao H, Cheng X, Liu Z and Zhao F** (2017) Electric vehicles for greenhouse gas reduction in China: A cost-effectiveness analysis. *Transportation Research Part D*, 56: 68–84
- Hawkins T R, Singh B, Majeau-Bettez G and Strømman A H** (2012) Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1): 53–64
- He B Q, Wang J X, Hao J M, Yan X G and Xiao J H** (2003) A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels. *Atmospheric Environment*, 37(7): 949–957

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Heidrich O, Hill G A, Neaimeh M, Huebner, Y, Blythe P T and Dawson R J** (2017) How do cities support electric vehicles and what difference does it make? *Technological Forecasting and Social Change*, 123: 17–23
- Heinrichs H U and Jochem P** (2016) Long-term impacts of battery electric vehicles on the German electricity system. *European Physical Journal: Special Topics*, 225(3): 583–593
- Hennings W, Mischinger S and Linssen J** (2013) Utilization of excess wind power in electric vehicles. *Energy Policy*, 62: 139–144
- Hodson M and Marvin S** (2010) Can cities shape socio-technical transitions and how would we know if they were? *Research Policy*, 39: 477–485
- Hofmann J, Guan D, Chalvatzis K and Huo H** (2016) Assessment of electrical vehicles as a successful driver for reducing CO₂ emissions in China. *Applied Energy*, 184: 995–1003
- Hsieh W-D, Chen R-H, Wu T-L and Lin T-H** (2002) Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment*, 36: 403–410
- Huijbregts M A J, Steinmann Z J N, Elshout P M F, Stam G, Verones F, Vieira M D M, Van Zelm R** (2016) ReCiPe 2016 v1.1. *IEA (2018) CO₂ Emissions Statistics*.
- Igliński H and Babiak M** (2017) Analysis of the Potential of Autonomous Vehicles in Reducing the Emissions of Greenhouse Gases in Road Transport. *Procedia Engineering*, 192: 353–358
- Jochem P, Plötz P, Ng W-S and Rothengatter W** (2018) The contribution of electric vehicles to environmental challenges in transport. *Transportation Research*, 64: 1–4
- Jolliet O, Margni M, Charles R, Humbert, S, Payet J, Rebitzer G and Rosenbaum R** (2003) Presenting a New Method IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *Int J LCA*, 8(6): 324–330.
- Jolliet O, Saade-Sbeih M, Shaked S, Jolliet A and Crettaz P** (2016) Environmental Life Cycle Assessment. *CRC Press*, 8(6): 324 – 330
- Joshi G, Pandey J K, Rana S and Rawat D S** (2017) Challenges and opportunities for the application of biofuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79: 850–866
- Kamath A** (2018) How much coal is required to produce 1 kw/h of electricity? Adres: <<https://www.quora.com/How-much-coal-is-required-to-produce-1-kw-h-of-electricity>> Ziyaret tarihi: 10.12.2018

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kieckhäfer K, Wachter K and Spengler T S** (2017) Analyzing manufacturers' impact on green products' market diffusion – the case of electric vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 162: 11–25
- Kim M K, Oh J, Park J H and Joo C** (2018) Perceived value and adoption intention for electric vehicles in Korea: Moderating effects of environmental traits and government supports. *Energy*, 159: 799–809
- Knapp K T, Stump F D and Tejada S B** (1998) The Effect of Ethanol Fuel on the Emissions of Vehicles over a Wide Range of Temperatures. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 48(7): 646–653
- Knothe G and Steidley K R** (2005) Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components. *Fuel*, 84(9): 1059–1065
- Kousoulidou M, Fontaras G, Mellios G and Ntziachristos L** (2008) Effect of biodiesel and bioethanol on exhaust emissions. *European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change*, 5: 1–52
- Lahane S and Subramanian K A** (2015) Effect of different percentages of biodiesel-diesel blends on injection, spray, combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine. *Fuel*, 139: 537–545
- Lapuerta M, Armas O, Ballesteros R and Fernández J** (2005) Diesel emissions from biofuels derived from Spanish potential vegetable oils. *Fuel*, 84(6): 773–780
- Li X, Chen P and Wang X** (2017) Impacts of renewables and socioeconomic factors on electric vehicle demands – Panel data studies across 14 countries. *Energy Policy*, 109: 473–478
- Liew W H, Hassim M H and Ng D K S** (2014) Review of evolution, technology and sustainability assessments of biofuel production. *Journal of Cleaner Production*, 71: 11–29
- Lin B and Tan R** (2017) Estimation of the environmental values of electric vehicles in Chinese cities. *Energy Policy*, 104: 221–229
- Lin B and Xie C** (2013) Estimation on oil demand and oil saving potential of China's road transport sector. *Energy Policy*, 61: 472–482
- Lin C C, Peng H, Grizzle J W and Kang J M** (2001) Power management strategy for a parallel hybrid electric truck. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 11(6): 839–849

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- M Sabri M F, Danapalasingam K A and Rahmat M F** (2016) A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53: 1433–1442
- Ma H, Balthasar F, Tait N, Riera-Palou X and Harrison A** (2012) A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. *Energy Policy*, 44: 160–173
- Maroušek J** (2014) Novel technique to enhance the disintegration effect of the pressure waves on oilseeds. *Industrial Crops and Products*, 53: 1–5
- Martínez-Lao J, Montoya F G, Montoya M G and Manzano-Agugliaro F** (2017) Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77: 970–983.
- Mazur C, Contestabile M, Offer G J and Brandon N P** (2015) Assessing and comparing German and UK transition policies for electric mobility. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 14: 84–100
- McGee M** (2019) Earth's CO₂ Home Page. *CO₂.Earth*, Adres: <<https://www.co2.earth/>>
Ziyaret tarihi: 04.11.2018
- McLaren J, Miller J, O'Shaughnessy, E, Wood E and Shapiro E** (2016) CO₂ emissions associated with electric vehicle charging: The impact of electricity generation mix, charging infrastructure availability and vehicle type. *Electricity Journal*, 29(5): 72–88
- Meshram D, Thote S, Singh N and Pakhare K** (2013) Algae Fuel Technology-Concept Of Revolutionary Future. *International Journal of Applied Engineering Research and Development (IJAERD)*, 3(3): 15–28
- Miller B G** (2005) *Coal Energy Systems*. ISBN: 9780080476605, e-book, 544
- Moriarty P and Wang S J** (2017) Can Electric Vehicles Deliver Energy and Carbon Reductions? *Energy Procedia*, 105: 2983–2988
- Nanaki E A and Koroneos C J** (2013) Comparative economic and environmental analysis of conventional, hybrid and electric vehicles - The case study of Greece. *Journal of Cleaner Production*, 53: 261–266
- Ng J H, Ng H K and Gan S** (2012) Characterisation of engine-out responses from a light-duty diesel engine fuelled with palm methyl ester (PME). *Applied Energy*, 90(1): 58–67

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Offer G J, Howey D, Contestabile M, Clague R and Brandon N P** (2010) Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy*, 38(1): 24–29
- Onat N C, Kucukvar M and Afshar S** (2019) Eco-efficiency of electric vehicles in the United States: A life cycle assessment based principal component analysis. *Journal of Cleaner Production*, 212: 515–526
- Onat N C, Kucukvar M and Tatari O** (2015) Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States. *Applied Energy*, 150: 36–49
- Otken B ve Gümüşay M Ü** (2010) Karayolunda Hareket Halindeki Taşıtların Çevreye Yayıdıkları Emisyonların Analizi İçin CBS’de Arayüzlerin Hazırlanması. *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Özel konu: 101–12
- Ou X, Yan X and Zhang X** (2010) Using coal for transportation in China: Life cycle GHG of coal-based fuel and electric vehicle, and policy implications. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(5): 878–887
- Oxley T, Elshkaki A, Kwiatkowski L, Castillo A, Scarbrough T and ApSimon H** (2012) Pollution abatement from road transport: Cross-sectoral implications, climate co-benefits and behavioural change. *Environmental Science and Policy*, 19(20): 16–32
- Pasaoglu G, Fiorello D, Martino A, Scarcella G, Alemanno A, Zubaryeva A and Thiel C** (2012) Driving and parking patterns of European car drivers - a mobility survey. *European Commission JRC Scientific and Policy Reports*, 41: 102-128
- Pasaoglu G, Zubaryeva A, Fiorello D and Thiel C** (2014) Analysis of European mobility surveys and their potential to support studies on the impact of electric vehicles on energy and infrastructure needs in Europe. *Technological Forecasting and Social Change*, 87: 41–50
- Peura P** (2013) From Malthus to sustainable energy - Theoretical orientations to reforming the energy sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19: 309–327
- Pollet B G, Staffell I and Shang J L** (2012) Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects. *Electrochimica Acta*, 84: 235–249
- Poullikkas A** (2015) Sustainable options for electric vehicle technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 1277–1287

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Raheman H and Kumari S** (2014) Performance and Emissions of Emulsified Biodiesel Operated Diesel Engine. *International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering*, 84: 110–117
- Rahman K M, Patel N R, Ward T G, Nagashima J. M, Caricchi F and Crescimbin F** (2006) Application of Direct-Drive Wheel Motor for Fuel Cell Electric and Hybrid Electric Vehicle Propulsion System. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 42(5): 1185–1192
- Ramachandran S and Stimming U** (2015) Well to wheel analysis of low carbon alternatives for road traffic. *Energy and Environmental Science*, 8(11): 3313–3324
- Requia W J, Adams M D, Arain A, Koutrakis P and Ferguson M** (2017) Carbon dioxide emissions of plug-in hybrid electric vehicles: A life-cycle analysis in eight Canadian cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78: 1390–1396
- Resch J, Klinger R, Taddei U and Baker E** (2018) Diesel-Fahrverbote für saubere Luft auch für Euro 5 Diesel in 2018 nicht mehr aufzuhalten. *Schriftliche Urteilsbegründung des Bundesverwaltungsgerichts liegt vor und ist eindeutig*, 29: 112-138
- Rezvani Z, Jansson J and Bodin J** (2015) Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34: 122–136
- Rind S J, Ren Y, Hu Y, Wang J and Jiang L** (2017) Configurations and control of traction motors for electric vehicles: A review. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 3(3): 1–17
- Romieu I** (1997) Epidemiological Studies of the Health Effects of Air Pollution due to Motor Vehicles. In P. Schwela, Dietrich, Zali, Olivier, Schwela (Ed.), *Motor Vehicle Air Pollution Public Health Impact And Control Measures*, Geneva, 27–106
- Ruan J, Walker P and Zhang N** (2016) A comparative study energy consumption and costs of battery electric vehicle transmissions. *Applied Energy*, 165: 119–134
- Ruiz V, Pfrang A, Kriston A, Omar N, Van den Bossche P and Boon-Brett L** (2018) A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 1427–1452
- Shirneshan A, Almassi M, Ghobadian B, Borghei A L I M and Najafi G H** (2012) Effects of Biodiesel and Engine Load on Some Emission Characteristics of a Direct Injection Diesel Engine. *Current World Environment*, 7(2): 207–212

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Silva Lora E E, Escobar Palacio J C, Rocha M H, Grillo Renó M L, Venturini O J and Almazán del Olmo O** (2011) Issues to consider, existing tools and constraints in biofuels sustainability assessments. *Energy*, 36(4): 2097–2110
- Singh D, Subramanian K A, Juneja M, Singh K, Singh S, Badola R and Singh N** (2016) Investigating the Effect of Fuel Cetane Number, Oxygen Content, Fuel Density, and Engine Operating Variables on NO_x Emissions of a Heavy Duty Diesel Engine. *Department of Chemical Engineering, Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering Universiti Teknologi Malaysia*, 36: 214–221
- Sozinho D W F, Gallardo A L C F, Duarte C G, Ramos H R and Ruiz M S** (2018) Towards strengthening sustainability instruments in the Brazilian sugarcane ethanol sector. *Journal of Cleaner Production*, 182: 437–454
- Tanç B, Arat, H T, Baltacıoğlu E and Aydın K** (2018) Overview of the next quarter century vision of hydrogen fuel cell electric vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 10: 100-112
- Tang B jun Wu X feng and Zhang X** (2013) Modeling the CO₂ emissions and energy saved from new energy vehicles based on the logistic-curve. *Energy Policy*, 57: 30–35
- Teixeira A C R and Sodr  J R** (2016) Simulation of the impacts on carbon dioxide emissions from replacement of a conventional Brazilian taxi fleet by electric vehicles. *Energy*, 115: 1617–1622
- Tran M, Banister D, Bisho, J D K and McCulloch M D** (2013) Simulating early adoption of alternative fuel vehicles for sustainability. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(5): 865–875
- Trost T, Sterner M and Bruckner T** (2017) 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*, 40: 1215–1225
- Tseng H K, Wu J S and Liu X** (2013) Affordability of electric vehicles for a sustainable transport system: An economic and environmental analysis. *Energy Policy*, 61: 441–447
- T İK** (2018a) Taşıt-kilometre İstatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051>, Ziyaret tarihi: 10.03.2019
- TÜİK** (2018b) Ulaştırma İstatistikleri. URL <http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051>, Ziyaret tarihi: 10.03.2019
- TÜİK** (2017) Net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı. <<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>>Ziyaret tarihi: 10.03.2019

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Türkiye Petrolleri** (2016) *Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu*. Baskı no:1, Ankara, Türkiye Petrolleri, 51
- Van Lier T and Macharis C** (2014) Assessing the environmental impact of inland waterway transport using a life-cycle assessment approach: *The case of Flanders. Research in Transportation Business and Management*, 12: 29–40
- Van Vliet O, Brouwer A S, Kuramochi T, Van Den Broek M and Faaij A** (2011) Energy use, cost and CO₂ emissions of electric cars. *Journal of Power Sources*, 196(4): 2298–2310
- Vidyanandan K V** (2018) Overview of electric machines for electric and hybrid vehicles. *Energy Scan*, 3: 7–14
- Wang D, Zamel N, Jiao K, Zhou Y, Yu S, Du Q and Yin Y** (2013) Life cycle analysis of internal combustion engine, electric and fuel cell vehicles for China. *Energy*, 59: 402–412
- Welchko B A and Nagashima J M** (2003) The influence of topology selection on the design of EV/HEV propulsion systems. *IEEE Power Electronics Letters*, 1(2): 36–40
- Wu G, Inderbitzin A and Bening C** (2015) Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments. *Energy Policy*, 80: 196–214
- Xu, J, Grift T E and Hansen A C** (2011) Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 1098–1116
- Yong J Y, Ramachandaramurthy V K, Tan K M and Mithulananthan N** (2015) A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49: 365–385
- Yuan X, Li L, Gou H and Dong T** (2015) Energy and environmental impact of battery electric vehicle range in China. *Applied Energy*, 157, 75–84
- Yuan X, Liu X and Zuo J** (2015) The development of new energy vehicles for a sustainable future: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42: 298–305
- Zeydan Ö** (2008) Zonguldak Bölgesi Sera Gazı Emisyon Miktarlarının Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak, 107
- Zhang R and Yao E** (2015) Electric vehicles' energy consumption estimation with real driving condition data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41: 177–187

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Zha, X, Doering O C and Tyner W E (2015) The economic competitiveness and emissions of battery electric vehicles in China. *Applied Energy*, 156: 666–675

Zhou G, Ou X and Zhang X (2013) Development of electric vehicles use in China: A study from the perspective of life-cycle energy consumption and greenhouse gas emissions. *Energy Policy*, 59: 875–884

Zhu H, Bohac S V, Nakashima K, Hagen L M, Huang Z and Assanis D N (2013) Effect of fuel oxygen on the trade-offs between soot, NO_x and combustion efficiency in premixed low-temperature diesel engine combustion. *Fuel*, 112: 459–465





ÖZGEÇMİŞ

2007 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında mezun olmuştur. 2011 yılında çalışma hayatına başlamış olup Peker Group A.Ş.'de sorumlu mühendis, Ekonorm Çevre Ltd. Şti.'nde çevre danışmanı ve 2012 – 2016 yılları arasında Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş.'de sorumlu Çevre Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2016 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır ve çalışmalarına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Fatih Mah. Vatan Cad. No.51 Kardelen Apt. 8/19 Kozlu/ZONGULDAK

Tel: (+90) 5319239101

E-posta: eda.baspinar@yahoo.com