T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ TOPLU TAŞIMA ARACININ MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONU

Goşenay Zeynep AVCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Bölümü

Enerji Anabilim Dalı

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Orkun ÖZENER

Haziran, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ TOPLU TAŞIMA ARACININ MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONU

Goşenay Zeynep AVCI tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 12.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji/Otomotiv Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Orkun ÖZENER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Alp Tekin Ergenç
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr.Öğr.Üyesi Hikmet ARSLAN
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Dr.Öğr.Üyesi Orkun ÖZENER
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Orkun ÖZENER sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Elektrikli Toplu Taşima Aracinin Modellenmesi Ve Optimizasyonu” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Goşenay Zeynep AVCI

İmza

Yıldız Teknik Üniversitesi'ne

Ve

değerli akademisyen hocalarıma

TEŞEKKÜR

Çalışma sürecimde akademik desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli danışmanım Orkun Özener'e, öğrencilik sürecimde maddi ve manevi desteği ve inancını eksik etmeyen değerli hocalarıma. Desteğini hiçbir zaman esirgemeyen meslektaşım Gökhan Konuk'a ve mesleki bilgisiyle bana yol gösteren hayat arkadaşım İlker Öztürk'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ……VII

KISALTMA LİSTESİ……IX

ŞEKİL LİSTESİ……X

TABLO LİSTESİ……XII

ÖZET……XIV

ABSTRACT……XV

1 Giriş……1

1.1 Literatür Özeti……8

1.2 Tezin Amacı……24

1.3 Hipotez ……24

2 Metodoloji……25

2.1 Metodoloji……25

2.1.1 Aracın belirlenmesi……28

2.1.2 Referans Data Entegrasyonu ……29

2.1.3 Elektrikli Araç ve Dizel Araç Modellerinin Geliştirilmesi……30

2.1.4 Yol Datasının Toplanması……30

2.1.5 Enerji Tüketimi Analizi……32

2.1.6. Yaklaşık CO_2 Emisyonu……33

2.1.7. Dizel Aracın Modellenmesi……33

2.1.8 Araç Modelinin Validasyonu……38

2.1.9. Elektrikli Araç Modellenmesi……40

2.1.10. Yol Datasının Belirlenmesi……55

2.1.11 A Aracı Modeli……56

2.1.12 B Aracı Modeli……58

2.1.13 C Aracı Modeli……58

3 Sonuç ve Öneriler……58

3.1 A Aracı Simülasyonu……59

3.2 B Aracı Simülasyonu……62

3.3.C Aracı Simülasyonu……65

3.4 Referans Modelin Belirlenmesi……68

3.5 Dizel Araç Simülasyonu……69

3.6 Karbondioksit Salınımı Oranları……71

3.7 Enerji Tüketimleri……72

3.8 Öneriler……72

Kaynakça……74

Tezden Üretilmiş Yayınlar……79

SİMGE LİSTESİ

A_f	Projeksiyon alanı
CO	Karbon monoksit
CO_2	Karbondioksit
C_d	Hava direnci katsayısı
C_F	Emisyon düzeltme katsayısı
C_{rr}	Yuvarlanma direnci katsayısı
C_{th}	Sıcaklık faktörü
d:	Katedilen mesafe
E_E	Elektrik enerjisi
E_{in}	Giren toplam enerji
E_{tr}^{+}	Şanzıman enerjisi
f_{CO_2}	Karbondioksit emisyon faktörü
F_g	Tırmanma direnç kuvveti
$F_{inertial}$	Eylemsizlik kuvveti
F_R	Yuvarlanma kuvveti
F_t	Çeki kuvveti
g	Yer çekimi ivmesi
I	Akım
K_2	Analitik çözüm parametresi
K_1	Analitik çözüm parametresi
l	Enerji kayıpları
$\dot{m}_F$	Yakıt kütlesel debisi
M_{CO_2}	Karbondioksit molar sayısı

M_F	Yakıt molar sayısı
M_v	Araç kütlesi
η_{charge}	Şarj verimi
$\eta_{battery}$	Batarya verimi
NO_x	Nitrojen oksitler
O_3	Ozon
P_{in}	Giren güç
P_{out}	Çıkan güç
P_{loss}	Kaybedilen güç
P_R	Şanzıman gücü
QLHV:	Yakıtın düşük ısıtma değeri (kJ/kg)
SO_2	Sülfür dioksit
V	Potansiyel fark
V_R	Dişli dönüş hızı
ρ_{air}	Hava yoğunluğu
v_c	Araç hızı
η_{PT}^{+}	Aktarma organları verimi

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
FTP-75	U.S. Federal Test Procedure (US Federal Test Prosedürü)
GHG	Green House Gas (Sera Gazı)
JC-0	Japanese Modal Cycle e
NEDC	New European Driving Cycle e
PM	Partikül Madde
VOCs	uçucu organik bileşikler
WHO	World health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
WLTC	Worldwide Harmonized Light Duty Test Cycle

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Dünya Sağlık Örgütünün Hava Kirliliği Haritası 4

Şekil 1.2 Karbon Emisyonlarının Yıllara Göre Değişimi.....6

Şekil 1.3 Güç Kaynaklarına Göre Araçların Enerji Tüketimi.....13

Şekil 1.4 Elektrikli aracın geri kazandığı enerji miktarları.....14

Şekil 1.5 Tüm araç tipleri için CO_2 emisyonu dağılımı 15

Şekil 1.6 Pil kapasitelerinin sıcaklığa göre değişimi 17

Şekil 1.7 Sıcaklıklara göre batarya tipleriyle elektrikli araçlarlın menzilleri.....18

Şekil 2.1 Tez Çalışmasının Metodolojisi 26

Şekil 2.2 Validasyon için kullanılan Referans Data 28

Şekil 2.3 Simülasyon için kullanılan Rotanın Görüntüsü 30

Şekil 2.4 Dolmuştan toplanan yol datasına ait bir kesit.....31

Şekil 2.5 Dizel Araç modelinin Görünümü 33

Şekil 2.6 Lastik Basıncı ve araç hızına göre ortalama yuvarlanma Katsayıları..... 35

Şekil 2.7 Referans datanın yol boyunca yükseklik ve açık hava basıncı değişimi 37

Şekil 2.8. Referans ve Simülasyon datasının yakıt tüketimleri..... ...38

Şekil 2.9 Oluşturulacak Elektrikli Araç Varyantları..... 40

Şekil 2.10 Sıkça kullanılan bataryaların enerji yoğunlukluları.....41

Şekil 2.11 Fırçalı DC motor Yapısı 44

Şekil 2.12 Asenkron motorun Tork eğrisi 46

Şekil 2.13 Daimi Mıknatıslı Motorun Yapısı 47

Şekil 2.14 Tipik bir mıknatıslı motorun tork hız grafiği..... 48

Şekil 2.15 Aracın Frenleme Esnasında Kinematik Analizi..... 49

Şekil 2.16 Dolmuş hattının Hız ve Yükseklik profili ……54

Şekil 2.17 Birleştirilmiş Simülasyon Hız Profili ……54

Şekil 2.18 A Aracının Model Görünümü ……55

Şekil 2.19 Rejeneratif Fren Algoritması……56

Şekil 3.1 Modellerin simülasyonunda girilen hız profili……58

Şekil 3.2 A Aracının hız ve katettiği mesafe ……60

Şekil 3.3 A Aracı Bataryaya ait şarj yüzdesi ve harcadığı enerji gösterimi ……61

Şekil 3.4 A Aracı Rejeneratif Frenin Kazandığı Enerji Gösterimi……62

Şekil 3.5 B Aracına ait hız ve katettiği mesafe ……63

Şekil 3.6 B Aracının batarya datası……64

Şekil 3.7 B Aracının Rejeneratif Fren Enerji Kazanımı…… 65

Şekil 3.8 C Aracı Modeli Görünümü ……66

Şekil 3.9 C aracı Hız Profili ve Katettiği Yol ……67

Şekil 3.10 C Aracı Simülasyonunun Batarya Datası……68

Şekil 3.11 Dizel Araç Hız Profili ve Sürüş Mesafesi ……70

Şekil 3.12 Dizel Araçın Sürüş Boyunca Yakıt Tüketimi……71

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Enerji Kaynaklarının Emisyon Faktörleri……..11

Tablo 1.2 Referans Araç Özellikleri ……19

Tablo 1.3 Rejeneratif Frenli Araçların Verimleri ……23

Tablo 2.1 Araç fiziksel özellikleri……27

Tablo 2.2 Sıkça tercih edilen bataryaların özellikleri ……43

Tablo 2.3 Seçilen Motorun Özellikleri……66

Tablo 3.1 A Aracı Özellikleri ……59

Tablo 3.2 Elektrikli Araç Modellerinin Simülasyon Sonuçları……68

ÖZET

Elektrikli Toplu Taşıma Aracının Modellenmesi Ve Optimizasyonu

Goşenay Zeynep AVCI

Enerji Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Orkun Özener

Son yıllarda otomotiv sektöründeki emisyon sınırlarının günden güne daralması otomotiv endüstrisinin gelişiminde en büyük rolü almaktadır. Daralan sınırlar endüstriyi temiz ve sürdürülebilir enerjiye ihtiyacı her geçen gün artmaktadır.

Özellikle büyük şehirlerin yoğun trafiğinde sıkça görülen yolcu taşıyan araçların oluşturduğu egzoz hava kirliliğinin en büyük faktörlerinden biri haline gelmiştir. Bu alanda popülasyonu oldukça yüksek şehirlerde emisyon gazlarının tehdidi oldukça büyük bir konuma gelmiştir. İstanbul gibi yoğun ve trafik sorunu başlıca sorun olan şehirlerde temiz ve sürdürülebilir bir ulaşım konseptinin gerekliliği aşikardır. Tez çalışması sıkça kullanılan toplu taşıma aracı olan dolmuşun elektrifikasyonu ve bunun optimizasyonu üzerine yoğunlaşmaktadır. Oluşturulacak konseptin eski dizel araçlara göre enerji tasarrufu ve karbondioksit salınımı farkları incelenerek elektrikli araç konseptinin artı ve eksileri incelenmiştir. Tezin metodolojisi sıkça kullanılan konvensiyonel dizel bir minivan dolmuşun gerçek hız ve yol profilini kullanarak elektrikli ve dizel araç modelini oluşturmak ve yol koşullarını simüle

etmeye yöneliktir. Bu anlamda gerçekle Elektrikli araç konsepti için birkaç opsiyon geliştirirerek en uygun konseptin bulunması amaçlanmıştır.

Elde edilmesi planlanan kazanım elektrikli aracın İstanbul gibi trafik ve yol koşulları açısından zorlu bir şehir için entegrasyonunu durumunu incelemektir. Bu araştırmanın asıl çıktıları elektrikli aracın enerji tüketimi ve karbondioksit salınımına katkılarının incelenmesidir. Geliştirilen modelin gelecekteki amacı mümkün olduğunca gerçeğe yakın ve geliştirilebilir bir model haline getirilip farklı koşullar ve farklı amaçlar için bir referans haline gelmesidir.

Anahtar kelimeler: araç modellenmesi,elektrikli araç modeli, karbondioksit emisyonu simülasyonu, araç eneji tüketimi, elektrikli araç optimizasyonu

ABSTRACT

An Electric Public Transportation Vehicle Modelling and Optimization

Goşenay Zeynep AVCI

Department of Mechanical Engineering

Energy Subdivision

Master Thesis

Advisor: Dr. Orkun Özener

In recent years exhaust gasses pollution became one of major problems on air pollution in highly populated cities.Emission gasses became the biggest threat community health who lives in these cities.

It is seen that an clean and sustainable mobility concept necessity in the big cities which has congested traffic like Istanbul. Thesis focuses on electrification and optimization of frequently used minivan public transportation ,dolmus, as a new EV concept for Istanbul. Evaluated concept has compared with conventional diesel vehicles as energy consumption and carbondioxide release results by EV and conventional vehicle model simulations. According to results the new EV concept investigated in detail as pros and cons. Thesis methodology is realizing simulation for conventional diesel vehicle and EV model with real speed and road datas from dolmuses. In this sense a few EV options developed to find out most suitable concept for dolmus.

The aimed acquisition is investigating electric vehicle integration posibleness as mean of transportation in such has city that that has worst case road conditions like İstanbul.Research outputs were evaluated as energy consumption and carbon dioxide release reductions. The developed EV model has aimed to be a Referansfor further EV concepts for various conditions and purposes.

Keywords: vehicle modelling, electric vehicle model, carbondioxide emissions simulation,vehicle energy consumption, electric vehicle optimisation

1
Giriş

Günümüzde sanayi devriminden itibaren ivmelenerek gelişen teknoloji ve büyüyen pazar payı insanların hayatının değişiminde oldukça büyük rol oynamaktadır. Gelişen teknoloji ve tüketime bağlı büyüyen endüstriyel pazarlar insanların mevcut kaynakları tüketmesiyle başlamıştır. Sanayii devriminden günümüze temel enerji kaynağı olarak kullanılan karbonlu bileşikler gün geçtikçe doğa ve insan sağlığı için tehdit oluşturmaya başlamıştır.

Bu kirliliğin insan sağlığını en çok etkileyen faktörlerden biri olan araçların fosil yakıtları kullanımı sonunda çıkan zehirli gazlardır. Bu gazların çevreyi kirletmemesi için otoriteler çeşitli önlemler alınmıştır.Trafikteki araç sayısının her geçen gün artması otoritelerin yıllar geçtikçe yaptırımları oldukça sıkı hale getirmesine sebep olmuştur. Emisyon limitlerinin gün geçtikçe kısıtlanması içten yanmalı motorlu araçlara farklı alternatiflerin olması gerektiği ihtiyacını doğurmuştur.

Fosil yakıtlara alternatif olarak üretilen ve kullanımı yaygınlaştırmaya çalışılan elektrikli araçlar günden güne trafikte yerini almaya devam etmektedir. Özellikle hava kirliliğinin oldukça fazla olduğu yüksek nüfuslu şehirler için temsil edilebilir, sürdürülebilir ve temiz gerekliliği açıkça görülmektedir.

Elektrikli araçların farklı handikaplarının bulunması kullanım amacına göre gerekliliklerini sağlayabilecek bir araç konseptinin ihtiyacını ifade eder. Bu araştırmada İstanbul gibi trafik yoğunluğu oldukça fazla olan bir şehir için sürdürülebilir bir elektrikli araç modeli oluşturmak ve bunun konvansiyonel dizel araçla üstünlüklerinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Hava kirliliği artan şehirleşme ve sanayileşmenin bir yan ürünü olarak günümüzün bir laneti olarak anılmaktadır. Bununla birlikte, ekonomik, teknolojik ve politik değişime paralel olarak hava kirliliği oldukça hızlı bir şekilde büyümüştür. Hava kirliliğinin tarihselden günümüze kadar birçok konunun en büyük etkeni kabul edişmiştir bunlar emisyon limitleri, hava kirliliğinden kaynaklanan riskler olarak sayılabilir.

Hava kirliliği atmosfere zararlı maddelerin emisyonu olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla bu geniş tanım aşağıdakileri içeren bir dizi kirletici madde içermektedir:

- sülfür dioksit (SO_2),
- nitrojen oksitler (NO_x),
- ozon (O_3),
- Partikul madde (değişen boyutlarda küçük asılı parçacıklar)
- karbon monoksit(CO)
- uçucu organik bileşikler (VOCs).

Belirli hava kirleticilerinin en büyük sorunu sağlığa zararlı başka kirleticilere dönüşmesidir. Örneğin, SO2 ve NOx, dünya atmosferinde partiküllü madde (PM) bileşikleri oluşturmak için reaksiyona girebilir. Her kirleticinin kaynakları değişkenlik gösterse de, çoğu genellikle yakıt yakma ve endüstriyel faaliyetlerle bağlantılıdır; kirleticiler bu işlemlerin yan ürünleri olarak havaya karışırlar

Özetle, Hava kirliliği hava, tehlikeli partiküller, gazlar ve biyolojik moleküllerin beklenen sınırların üstünde olduğu tespit edilebilir. Normalde hava birçok başka bileşene sahiptir, fakat bu bileşenlerin kirletici olarak sınıflandırması çevre ve insan sağlığının bozulmasından gelir.

Tarihte ilk hava kirliliği savaşı, 13. yüzyılda Londra'da bulunan King Edward tarafından üstlenildi. King Edward Deniz kömürünü kullanmaya devam ederse Londralıları cezalandıracağını bildirdi. Ancak yönetmelikleri insanlar üzerinde kayda değer bir etki yapmamıştır [1].

Hava kirliliğinin geçmişte şüphesiz en büyük etkisi 18. yüzyıl sonlarında ve 19. yüzyılda enerji kaynağı olarak kömür kullanımıyla sanayi devriminde görülmüştür. Sanayi devrimlerine etkisi, dünya genelinde tehlikeli etkilerin yanı sıra büyük ölçekte artmıştır. Hava kirliliği başlangıçtaki göz önünde bulundurulmamıştır. Sanayii devriminin ilk yıllarındaböyle kötü bir senaryoyu tahmin etmek öngörülemezdi, fakar etkileri fark edildiğinde çevre üzerindeki etkileri önlemek için oldukça geş kalınmıştır.

Asıl sorun sorun bu dönemde ciddi miktarda kurum ve duman salınan kömürden kaynaklanıyordu. Bu iki bileşen etkisi hızla büyümüş ve özellikle şehir merkezlerinde olmak üzere sağlık sorunlarına neden olmuştur. Bu etki, fabrika kirleticileri ve ev şöminesi kirleticileriyle birleşen Büyük Duman (1952) 'nın hava yoğunlaşmasını serbest bıraktığını ve ilk ciddi etki yarattığını bildirdi.Birkaç yıl içinde yaklaşık 4000 kişiyi öldürdü. ABD'nin Donora kentinde (1948) 7.000 kişiyi hasta etmiş ve 20 kişiyi öldürmüştür.

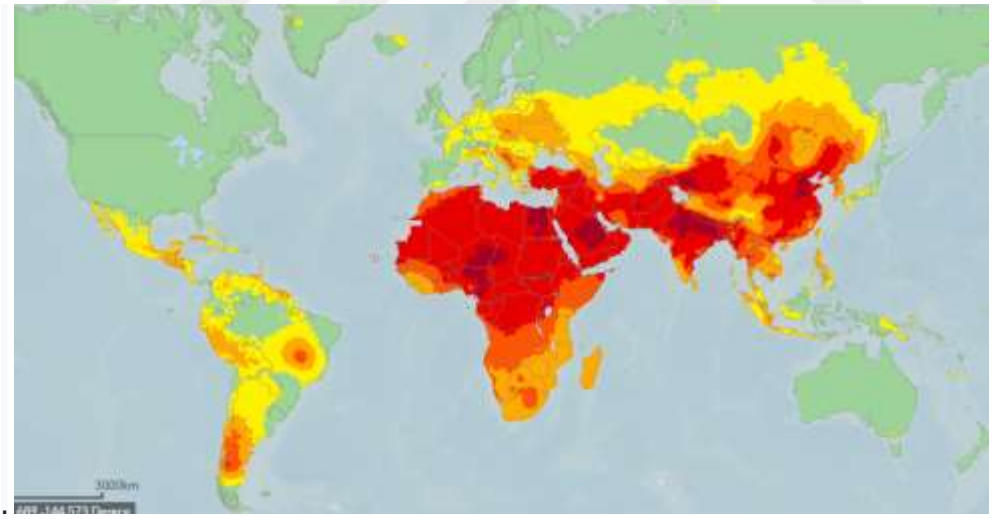
Kirleticilerin bir başka etkisi olan asit yağmuru ilk olarak 1850'lerde kömür kaynaklı bitkilerin sebebi olarak görülmektedir.Asit yağmuruyla ortaya çıkan azot ve kükürt tüm atmosfere yayılmış ve toprağa, bitkilere, denizlere, hayvanlara, ormanlara ve su kaynaklarına zarar vermiştir.

Bu sonuçlar, endüstriyel kirleticilerin bir sonucu olarak yıllar önce gerçekleşmiştir. Diğer ciddi etki, birkaç yıl içinde taşıtlardaki içten yanmalı motorların sayısının artmasıyla birlikte görülmüştür. Yine de, fosil yakıtlar yerine alternatif enerji kaynağı olmadığı iddia edilmektedir, bu nedenle hava kirliliğinin her geçen gün araç sayısıyla paralel olarak hava kirliliği artmaktadır. Artan hava kirliliği ile paralel olarak birçok hastalık milyonlarca insanı tehdit etmeye devam etmiştir.

Hava kirliliği şu anda kanser olan insan sağlığı için en ciddi tehdittir. Birçok kanser türünün insan vücuduna girmeye neden olur. Geçmişte, hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkileri ölümle sonuçlanan bazı hastalıklarla bilinmektedir, ancak günümüzde yapılan araştırmalar sağlık üzerindeki etkinin daha önce bilinenden çok daha geniş olduğunu göstermiştir

Dünyanın dört bir yanından yapılan araştırmalar, hava kirliliğinin insanların sağlığını etkileyebileceği birçok yolu belgelemiştir; bunlar astım ya da diğer solunum hastalıkları olanlar için nefes almayı zorlaştrması, gençleri ve yaşlıları yatarak tedavi görmeleri ya da okulu ya da işiten uzak kalarak günlük hayatlarını engellenmesi ve kalp ve akciğer hastalığından erken ölüme sebep olmak olarak sayılabilir [1]. Hava durumu raporlarında da açıklandığı gibi, nüfus sağlığı için en büyük sorun haline gelmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, her yıl 4,2 milyon insan çevre hava kirliliği nedeniyle hayatını kaybetmekte ve dünya nüfusunun% 91'i hava kalitesinin WHO limit sınırlarını aştığı yerlerde yaşamaktadır.

Hava kirliliği, düzenlemelere ve küresel önlemlere rağmen 21. yüzyılın en büyük sorunu haline gelmiştir.. Teknoloji, insanların ihtiyaçlarına ve kârlarına göre her gün büyümeye devam etmektedir. Özellikle otomotiv teknolojisinin gelişmesi sonucunda üretimin hacminin büyümesi, araçları son otuz yılda daha ulaşılabilir seviyeye getirmiştir. Otomotiv pazarları hızla büyümesi daha fazla sektörel iş ihtiyacına sebep oldu vebu büyüme hava kirliliğinin başlıca sebeplerinden biri olmuştur.



Şekil 1.1 Dünya Sağlık Örgütünün Hava Kirliliği Haritası

Şekil 1.1'de hava kirliliği oranları, özellikle ABD gibi kaynaklar açısından sorunu olmayan bölgelerde de fazla fakat özellikle de gelişmekte olan ülkelerde başlıca sorunlardan biri haline gelmiştir. Şekil 1.1’de Dünya sağlık orgütünün oluşturduğu

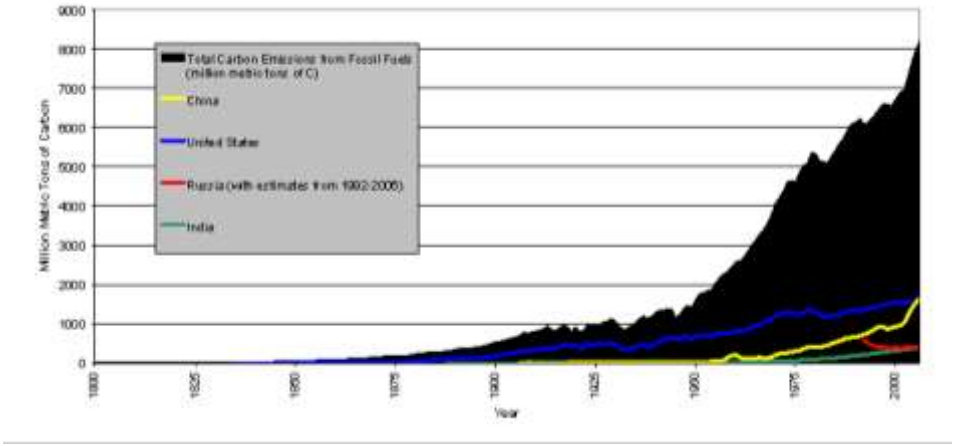
hava kirliliği raporu görülmektedir. Koyu kırmızı noktalar 100 $\mu g/m^3$ sarı bölgeler $10-40 \mu g/m^3$ kirliliği,turuncu bölgelerse 60 $\mu g/m^3$ bölgeyi temsil eder

Hava kirliliğinin diğer bir etkisi de doğanın karbon dengesinin bozulmasıdır. Fosil yakıtlarının oluşturduğu karbondioksit salınımı karbon döngüsü dengesinin bozulmasına sebep olmuştur.

Karbondioksit, oksijen solunumu sonucu birçok canlıdan üretilen ana gazlardır. Karbon döngüsünün bakteri ve bitki örtüsü için fotosentez için de bir gereklilik olduğu önemli bir rol oynamaktadır. Karbondioksit ikamesi, milyonlarca yıldan beri fotosentez rolü olan oksijen ile dengeye sahiptir. Toprak ve denizler için karbonun yanı sıra fotosentez yaratıkları için de temel şartı sağlamak yaşam döngüsü üzerinde çok büyük bir etki yaratır.

Karbondioksit ile ilgili temel problem, yıllardır karbon içeren enerji kaynaklarını kullanımının oldukça yükselmesidir. Fosil yakıtların gerçekleştirdiği yanma reaksiyonu, sanayi için enerji sağlamanın yanı sıra atmosfere ciddi miktarda karbondioksit salmaktadır. Bu etki içten yanmalı motorlu araçlarda, çeşitli amaçlarda enerji kaynağı olarak fosil yakıt kullanımında ve atmosferde karbondioksit konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır.

Fosil yakıt, milyonlarca yıl boyunca, ölü bitkilerden ve çökeltilerde biriken mikroorganizmalardan kaynaklanan biyokütle ve Dünya yüzeyinin altında yüksek sıcaklığa ve basınca maruz kaldıklarından, biyosferden (hem karasal hem de deniz) gelen organik kalıntıların karbon kaynaklı enerji kaynağına dönüşmesidir. Ancak, 1800'lerde Endüstri Devrimi'nin başlamasından bu yana, enerji ihityacının artması fosil yakıtların kullanımını oldukça artırmıştır ve bu yakıtların artığı CO_2 olarak havaya karışmaktadır. Biyosferden karbonun uzaklaştırılması milyonlarca yıl süren süreçtir. Insan faaliyetlerimin sonucunda bu denge tersine çevrilmesine sebep oldu böylece ve görülmemiş oranlardaCO_2 salınımı gerçekleşti. Atmosferik CO_2seviyeleri, Sanayi devrimi öncesi zamanlardan bu yana % 38 oranında artmıştır ve Geçtiğimiz 800.000 yıldaki CO_2 salınımınından daha yüksektir.



Şekil 1.2 Karbon Emisyonlarının Yıllara Göre Değişimi [2]

Günümüzde, atmosferik CO_2 seviyeleri, insanlar fosil yakıtları artan oranlarda yaktıkları için, hızlanarak artmaya devam etmektedir. İnsanların fosil yakıtlarını kullanmaya devam ettiği sürece bu yakıtların yanması sonucu salınan CO_2 (çimento üretimi ve diğer insan faaliyetleri ile birlikte), atmosfer ve okyanuslardaki CO_2stabilitesi ve uzun ömürlülüğü nedeniyle "sonsuza kadar" birikecektir.Bu, Geliştirilmiş Sera Etkisi'nden kaynaklanan radyasyon dengesizliğinin yüzyıllarca küresel iklimi gözle görülür biçimde değiştireceğinden, Dünya Sistemi üzerinde önemli etkileri olacaktır [3] .

Bu noktada ana kavram , “green house” olarak adlandırılan ve sera gazı olarak adlandırılan tüm gazlarla ilgili olup, birincil ısınmanın küresel ısınmanın üstesinden gelmesi için daha fazla açıklanacak olan “Green House Effect” kelimesi olarak küresel ısınmanın üstesinden gelmesi için ciddi önlemler alınmasına yol açar.

Atmosferik eser gazların birçoğu, nispeten küçük bolluklarına rağmen, “Sera Etkisi” olarak adlandırılan bir kavram nedeniyle Dünya'nın iklimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Dünya'nın yüzeyi tarafından emilen güneş enerjisi daha sonra farklı bir biçimde yayılır. Dünya Güneş'ten daha serin olduğu için, kızılötesi aralıkta, daha uzun dalga boylarında daha zayıf radyasyon yayar. Bu kızılötesi radyasyonun bir kısmı engelsiz atmosferden geçer, ancak çoğunluğu sera gazı tarafından emilir ve daha sonra her yöne doğru uzaya, diğer sera gazı moleküllerine ve Dünya yüzeyine geri gönderilir.

Bu şekilde, sera gazları atmosferdeki kızılötesi radyasyonun çoğunu bloke eder, aksi takdirde doğrudan uzaya geri dönerler

Bu süreç, Dünya'nın mikrobiyal, hayvan ve bitki sakinleri için elverişli yaşam koşullarını sürdürdüğü için doğal olarak gerçekleşir ve faydalıdır. Küresel ortalama sıcaklık 14 ° C'dir ve yaklaşık 33 ° C'dir, sıcaklıktan daha sıcak bir atmosfer ve sera gazı olmaz. Kızılötesi radyasyonu absorbe etme yeteneklerinden dolayı, GHG molekülleri "ısıdan" kaçmak için bir bariyer görevi yaparak Dünya'nın ısınmasına sebep olur ve Dünya'nın ikliminin değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Bilim insanları yaklaşık bir asır önce, atmosferdeki artan gaz konsantrasyonlarının bu süreçte Dünya'nın iklimini önemli ölçüde etkileyebileceğini fark ettiler. Atmosferdeki sera gazı (GHG) sera gazı ölçümlerini 50 yıllık sonuçları atmosferdeki yoğunluklarının yıllar geçtikçe arttığını göstermektedir. Atmosferik sera gazı oranlarındaki bu artış, dünyanın iklimini değiştirmeye zorladığı için atmosferin sera gazı salımlarındaki bu artış, dünyanın iklimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonları arttıkça, daha fazla kızılötesi radyasyon emilir ve daha uzaya absorbe edilir ve bu da ısınmanın artmasına neden olur ve bu olaya "Sera Etkisi" denir.

Bu atmosferik işlem, Sera Etkisi olarak adlandırılır, çünkü hem atmosfer hem de sera, enerjiyi ısı olarak koruyacak şekilde etki eder. Ancak, bu kusurlu bir benzetmedir. Bir sera, öncelikle, sıcak hava (gelen güneş ışınımı ile ısınan) konveksiyon nedeniyle toprağa yakın bir şekilde yükselmesini önleyerek çalışır, atmosferik Sera Etkisi ise, kızılötesi radyasyonun alan kaybını önleyerek çalışır. Bu ince farklılığa rağmen, bu atmosferik sürece Sera Etkisi ve bu gazları Sera Gazı olarak adlandırıyoruz.

Otomotiv pazarının gün geçtikçe büyümesi ve tüketici sayısınınn artması hava kirliliği ve küresel ısınma sorunlarının ana sebebi olmuştur. Otoriteler, egzoz gazı kirleticilerinin önüne geçmek için düzenlemeler yapmaya karar verdiler. Fakat uzun süredir kullanılan bu emisyon regülasyonları halen günümüzde ülkelere ve bölgelere göre farklılık göstermektedir Örneğin Avrupa ve Amerika gibi gelişmiş ülkelerde bu regülasyonlar oldukça yeni ve kısıtlayıcı olmaktayken gelişmekte olan

ülkelerde ise yaptırımları daha düşüktür. Bu emisyon limitleri araçların ülke veya bölgelere satılması için ilk kriter haline gelmiştir.. Emisyon limitleri otomotiv endüstrisi için en büyük zorluk haline dönüşmüş ve otomotiv teknolojisinin ilerleme yönünü değiştirmiştir. Araçların egzoz gazları için üretilen komponentlerin performansı aracın piyasaya çıkabilmesi için ana kriter olduğundan sektör bu malzeme teknolojisine odaklanmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Literatür araştırmaları giriş bölümünde bahsedildiği gibi modellemenin temelleri ve alanda yapılan çalışmalarının analizi doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Tezin detaylandırılması planlanan alanlar ve bu konudaki örnek çalışmalar literatür özetinde başlıklar halinde gruplandırılmıştır.

Giriş bölümünde bahsedildiği gibi, tezin amacı güvenilir konvensiyonel motorlu araç ve elektrikli araç modellerini oluşturmak ve belirtilen sürüş çevrimleriyle çalışan simülasyon gerçekleştirmektir.

Bu nedenle enerji tüketimi analizi araştırmalarına odaklanmış literatür araştırması, özellikle tez metodolojisi ile benzerliklere sahiptir. Brezilya'da taksi filosuna yönelik elektriki ve konvensiyonel motorlu araç modellemesi ve CO_2 simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucu CO_2 salınımı ve enerji tüketimi gibi geleneksel araç ile elektrikli araç arasında yapılan kabaca bir karşılaştırmadır.

Her iki model de AVL Cruise ortamında geliştirilmiştir ve iki konseptin birçok anlamda artı ve eksilerini görmek için farklı senaryolarla simüle edilmiştir.

Enerji tüketimi verimliliği karbondioksit salınımına etki ana parametredir. Egzoz gazı emisyonları olmadan enerji elde edilmesini sağlar. Gerçekten de elektrik tüketimi, üretim sırasında CO_2 emisyonuna yol açmaktadır. EV'lerin kullanımı artan emisyonlara neden olabilir. Monteiro ve arkadaşları, en büyük CO üreticilerinin, dünya elektrik üretiminin yaklaşık % 40'ından sorumlu enerji santralleri olduğuna dikkat çekiyor [4] [5].

Elektrikli araçlara ait verimlilik parametreleri kwh olarak SOC, kW veya Enerji tüketimi kabul edilebilir. Bu nedenle simülasyondan kWh olarak hesaplanan enerji tüketimi ve CO_2 salımı, kWh başına CO_2 salramı esas alınarak hesaplanır.

Elektrikli aracın en temel farklarından biri elektrik enerjisi üretimi sırasında atmosfere CO_2 salınımıdır. Üretim bölgesi bazında her bölge veya ülke için belirli bir değerdir. Brezilya'da elektrikli araçların kullanımının yaygınlaştırılmasının asıl amacı örneğin elektrik üretiminden kaynaklanan CO_2 emisyonlarının düşük olduğu gibi düşük emisyonlu elektrik matrisleri sağlamaktır (yaklaşık 135 gCO_2 / kWh). Polonya ve Yunanistan gibi ülkelerde, elektrik üretiminden kaynaklanan CO_2 emisyon faktörü 850 gCO_2 / kWh civarındadır [4].

Tıpkı tez araştırmasında olduğu gibi şekilde araç AVL Cruise'da modellenmiştir, bu program içten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan emisyon sürüş çevrimlerinden kolayca sonuç alınmasını sağlar. Diğer bir yaklaşım ise yakıt tüketiminden kaynaklanan CO_2 salınımının başka bir şekilde hesaplanmasıdır.

içten yanmalı motorlu ve elektrikli araç arasındaki fark şuradan kaynaklanır. Elektrikli araçlarda yakıt gibi CO_2 emisyonunun hesaplanacağı direk bir parametre yoktur.Bu sebeple yaklaşımlardan biri CO_2 emisyon faktörü aralığını kullanarak zorlu sonuçlar almaktır. Önceden de bahsedildiği gibi bu faktör ülkelerden ve bunların enerji kaynaklarından farklıdır. Dizel araç ve elektrikli araç CO_2 salınımları arasındaki fark, ülke bazında kar gösterebilir.

Enerji tüketimi analizini görmek için, araştırmaların çoğu temel sonuçları elde etmek için önceden tanımlanmış bir sürüş çevrimi kullanmıştır. AVL Cruise, sonuçları elde etmek için en çok tercih edilen simülasyon arayüzlerinden biridir. Aynı programı baz alarak, Yuan ve ark. AVL Cruise yazılımını kullanarak bir elektrikli aracı simüle etti ve farklı sürüş çevrimleri için CO_2 emisyonlarını değerlendirdi ((New European Driving Cycle e NEDC, 1975 U.S. Federal Test Procedure e FTP-75, Japanese Modal Cycle e JC-0, and Worldwide Harmonized Light Duty Test Cycle e WLTC) ve Çin'den sürüş çevrimi.) [4].

Araştırmacılar ülkedeki ana enerji üretim kaynağı olarak kömürü baz alarak, yüksek bir CO_2 emisyon faktörü aralığını (736 g / kWh -1147 g / kWh) kullandılar. Kullanılan emisyon faktörü 855 g / kWh olarak seçilmiştir.

Simüle edilen sonuçlar, FTP-75 sürüş döngüsünde 0.16 kWh / km civarında elektrikli taşıt enerji tüketimini ve 105 g / km civarında CO_2 emisyonunu

göstermiştir. Yazarlar, Çin enerji matrisi için, EV'lerin kullanımının, geleneksel araçlarla karşılaştırıldığında, 250 km'den daha kısa mesafelerdeki operasyonlar için CO_2 emisyonlarını azaltabileceği sonucuna varmıştır [5].

Brezilya taksi filosu entegrasyonu filosunun CO_2salınımını hesaba katmak için başka bir yaklaşıma daha kullanılmıştır. Bunun için detaylı bir karşılaştırma için ayrıntılı olarak oluşturulan model iki aracınCO_2üretimi karlılaştırılmıştır.,. Her iki araç da A ve B, AVL Cruise yazılımı kullanılarak Federal Test Prosedürü 75 (FTP-75) sürüş döngüsü altında simüle edildi. Konvansiyonel dizel araçtan kaynaklanan CO_2 emisyonları, tam yanma dikkate alınarak hesaplandı [5].Hesaplamada kullanılan formülasyon şu şekildedir [4]:

$$CO_2(\text{kg/h})=C_F \dot{m}_{F(} M_{CO_2} / M_F) \quad (1.1)$$

Üreticiden temin edilebilen konvansiyonel dizel aracın yakıt tüketimi haritası, yakıt olarak hesaplanan Enerji yakıt tüketimine göre% 78 benzin ve% 22 etanol (E22) bileşimi olan bir yakıttır. Bu bileşime göre kabul edilen eşdeğer enerji tüketimini değerlendirmek için kullanılan formül [4]:

$$E_F = \frac{\dot{m}\, Q_{LHV} .t}{3600.d} \quad (1.2)$$

Aynı şekilde, elektrikli araç CO_2 serbestliği her kWh için CO_2 emisyon faktörlerinden hesaplanabilir. Hesaplama formülü bir başka araştırmadan alınmıştır [6].

$$CO_2(kg/h)= f_{CO_2} . E_E \quad (1.3)$$

Simülasyon senaryoları, içten yanmalı motorlu taksi filosunun 15 yıl boyunca katettiği yollar referans alınarak bu mesafelerden kötümser ve iyimser olmak üzere iki senaryo olarak seçilmiştir. Bu senaryolar 200km dk ve senaryolar için maksimum 400km seçildi. Bu sonuçlardan, e-taksi tahrik filosunun karlılığını görmek için enerji maliyetleri ve bakım maliyetleri hesaplanmaktadır.

Elektrikli plug-in hibrit, hibrit elektrikli ve içten yanmalı motorlar gibi her aracın modellenmesiyle çeşitli araç tipleri için kapsamlı enerji ve CO_2 de incelenmiştir. Bu

çalışmada Royal Automobile Club Halo'nun 2011 RAC Gelecek Arabası'nın sonuçlarını analiz edilmiştir.. Karayolu taşımacılığının etkileri konusunda artan ekonomik, çevresel ve sağlıkla ilgili endişeler, otomotiv endüstrisi üzerinde daha fazla yakıt tasarruflu araçlar geliştirmek için düzenleyici baskı oluşturmuştur. FCC'nin amacı, İngiltere'den Brighton'dan Londra'ya 91.94 km'lik bir rota kullanarak maksimum verimde bir konsept geliştirmektir [6].

Bu araştırma CO_2 emisyonu ve tekerleğe iyi hesaplanan emisyonların yanı sıra, elektrikli, hibrit ve içten yanmalı motorlu otomobiller için tank to wheel emisyonlarına da değinilmektedir.

2011 RAC FCC'de 26 saf elektrikli, dört takmalı hibrit elektrikli, dört hibrit elektrikli ve altı içten yanmalı motorlu araç bulunuyordu. Değişken güç aktarma sistemi tipine sahip araçların enerji tüketimini karşılaştırmak için, referans birim olarak kilovat-saat (kW s) cinsinden ölçülen "tanktan to wheel" enerji tüketimi kullanılır. Her bir enerji kaynağı türü, yakıtın karbon içeriği veya İngiltere ortalama şebeke elektriği CO_2 yoğunluğuna göre baz alınarak analiz edilir. Tablo 1.1 'te alınan emisyon faktörleri veCO_2 salımı Enerji ve İklim Değişikliği Dairesi'nden alınmıştır [6].

Tablo 1.1 Enerji Kaynaklarının Emisyon Faktörleri

	Miktar	Enerji(Kwh)	Emisyon Faktörleri	
			Tailpipe	Well to Wheel
Benzin	1 l	9,61	2,24	2,67
Dizel	1 l	10,60	2,55	3,11
Elektrik	1 Kwh	1	0	0,59

Araştırma hakkındaki en önemli noktalardan biri, enerji için iyi geliştirilmiş bir araç analizidir. Enerji verimliliğini göstermek için şüphe yok, enerji kayıpları ve verimlilik doğru bir şekilde modellenmelidir. Aksi takdirde sonuçların gerçek verilerle paralellik kazanması mümkün değildir. Literatür araştırmasına dayanarak,

elektriksel "tank to wheel " elektrik tüketiminin eşdeğeri referans alınmıştır [7]. Bu, 2011 FCC için %93 olarak kabul edilen şarj verimi şarjını ve %99 olduğu varsayılan batarya ya da coulombic verimlilik hesaplamasını hesaba katar ve şu şekilde hesaplanabilir [6].

$$E_{el} = \frac{\sum V(t) \times I(t) \times \Delta t}{\eta_{charge} \times \eta_{battery}} \tag{1.4}$$

Elektrik gücü, voltaj V ve akım I'in elektrik enerjisi bağımlılığının entegrasyonu ile şarj ve akü verimliliklerinden elde edilebilir.

Öte yandan, yakıt enerji kapasiteleri ısıtma değerlerine dayanmaktadır. Isıtma değerleri, benzin ve dizel yakıtların kesinlikle değişmesi ve yakıt türlerinin de enerji kaynağının önemli bir etkisi vardır. Projede, Diesel'in hacimsel enerji yoğunluğu olarak hesaplanan dizel hibrid araç enerji tüketimi, benzininkinden% 10 daha yüksektir. Tank-to-wheel yakıt enerji tüketimi Efuel, aracın MPG gezi değerini dFCC sürüş mesafesi ile mil cinsinden bölerek ve bunu yakıtın HHV yakıtı ile İngiltere galonları ve litre arasındaki dönüşüm faktörü 4.546 ile çarparak hesaplanabilir Formülasyon aşağıda gösterilmiştir [6].

$$E_{fuel} = \frac{MPG}{d_{FFC}} \times HHV_{fuel} \times 4.546 \tag{1.5}$$

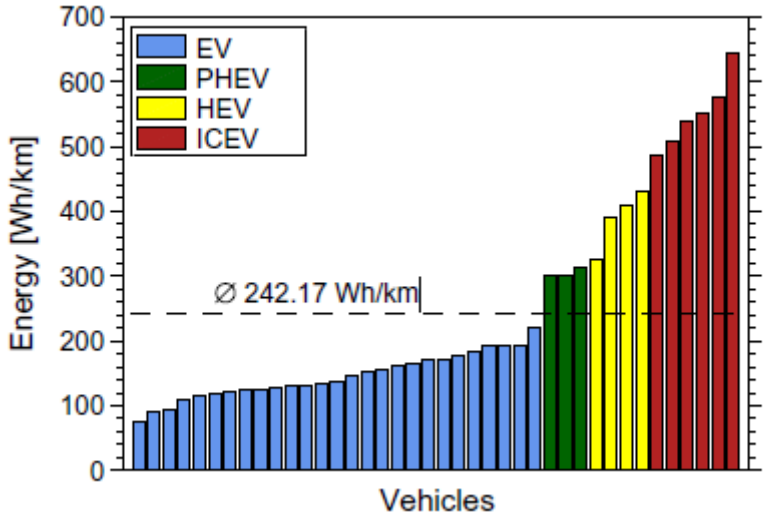
Araştırma ile ilgili bir başka önemli nokta, araç kinematik denklemlerine dayanan çekiş kuvvetini belirlemektir. Bu formülasyonlar sürüş davranışlarının etkisini belirlemek için kullanılmıştır. Sürüş davranışı, araçların bireysel hız, hızlanma ve çekiş davranışını ifade eder. Katılan araçların yirmi yedisinde, araç pozisyonunu yaklaşık 10 m doğrulukla kaydeden, bireysel katılımcılar için göreceli doğru hız ve ivme profilleri oluşturulmasına izin veren data toplayıcılar kullanılmıştır. Bunun amacır bir deyişle sürüş dirençlerinin gerçeğe yakın modellenmesidir. Sürüş dirençşleri; yuvarlanma direnci, tırmanma direnci ve aerodinamik direnç, hareket yönünde ters yönde ve bileşen kayıpları olarak uygulanır. Pozitif yönde yönünde araç çekme kuvveti ile karşılanır. Bu Hesaplama, Newton'un ikinci kanununa gereğince şu şekilde formülize edi lmiştir.

$$M_v\ d\ /\ (dt)\ v(t)\ =\ F_t(t)\ -\ (1/2\ \rho_{air} A_f C_d(v) v(t)^2 \\ +m_v g cos(\propto)\ C_r(v)\ +m_v g\ sin(\propto)\ +\ l \tag{1.6}$$

Enerji tüketimini ayrıntılı olarak analiz etmek için, sahillerde sürüş direnci dikkate alınmaktadır. Daha fazla olarak tarif edilir ve formüle edilir. Araç dururken, çekiş gücü sıfıra eşit olmalıdır. Sonuç olarak, Ft (t) = 0 olan sınırlayıcı durum için, yokuş aşağı hızına göre yeniden düzenlenebilir. Vc K_1 and K_2 ise analitik çözüm içinkullanılan sabitlerdir [6].

$$v_c(t) = \frac{K_2}{K_1} \tan(tan^{-1}\left(\frac{K_2}{K_1}\right)\ v_c(0) - K_1 K_2 t) \tag{1.7}$$

Tanktan tekerlek enerji tüketimi sonuçları, referans rakamı elde etmek için kapsanan mesafeye göre normalize edilmiştir. Şekil 1.3'te tüm katılımcılar için birim mesafe başına enerji tüketimini göstermektedir. Giriş yapanlar, güç aktarma sistemi tipine göre gruplandırılmıştır [6].

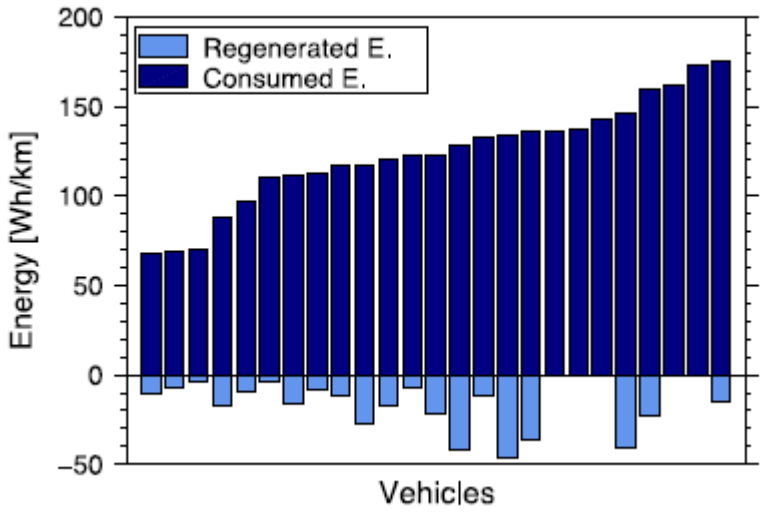


Şekil 1.3 Güç Kaynaklarına Göre Araçların Enerji Tüketimi. [6]

Tanktan-tekerleğe olan toplam enerji tüketimi 242Wh / km idir, 2010 olayında 304Wh / km'den daha düşüktü [11] Ortalama elektrikli araçlar genel ortalamanın% 40 daha azını tüketim gerçekleştirirler ve bu ortalama 144Wh / km'lik tüketime denk gelir. 2010 FCC için bu ortalama enerji tüketimi 172Wh / km'dir. Ortalama PHEV'ler 271Wh / km, ardından HEV'leri 389Wh / km tüketmiştir. ICEV'ler ortalama en fazla 550Wh / km enerji tüketiyorlar. Bu nedenle, elektrifikasyon

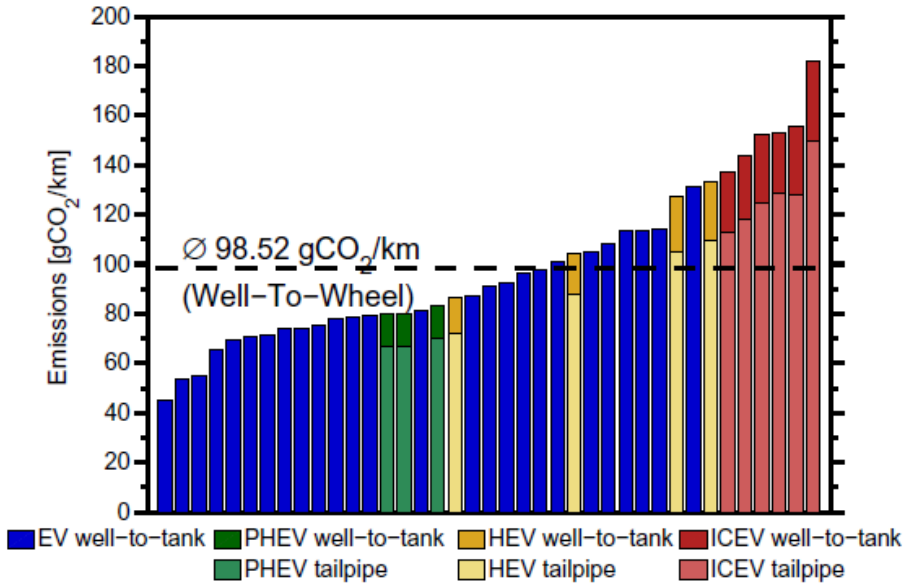
derecesi ne kadar yüksek olursa, araç enerji tüketimi o kadar düşük olur. Ortalama ICEV'ler, EV'lerin neredeyse dört katı kadar enerji tüketiyordu. Düşük enerji tüketimi sonuçta daha düşük emisyonlara da yol açar. Kayıp olmadığı varsayıldığında, taşıt enerji tüketim modeli denklemlere dayalıdır. Bu, katılan tüm elektrikli araçlar için 144Wh / km (13.2 kWs) gerçek ortalama enerji tüketimiyle karşılaştırılır [6].

Elektrikli araçların verimliliğini arttırmak ve ayrıca geri kazanım frenleme kuvvetlerini görmek için rejeneratif frenleme, elektrikli araca ve rejeneratif frenlemeye entegre edilmiştir. Sonuçlara gelince, normal EV rejeneratif frenleme yardımı ile konvansiyonel dizel araçlardan 4 kat etkili olduğu kanıtlanmıştır. geri kazanılmış enerji Şekil 1.4'te gösterilmiştir



Şekil 1.4 Elektrikli aracın geri kazandığı enerji miktarları

Dönüşüm faktörlerimize dayanarak Şekil 1.3, 2011 FCC'den gelen CO_2 emisyonlarını sıralama düzeninde göstermektedir. Tek açık mavi çubuklar EV'leri temsil eder; koyu ve açık mavi renkte yığılmış çubuklar Plug in Hibrit Elektrikli araçları , Hibrit elektrikli araçları ve konvensiyonel motorlu araçları temsil eder. Şekil, HEV ve PHEV emisyonlarının, nispeten yüksek İngiltere ortalama şebeke elektriği CO_2 yoğunluğundan dolayı, EV'lerden daha düşük olabileceğini göstermektedir [6].



Şekil 1.5 Tüm araç tipleri için CO_2 emisyonu dağılımı

Literatür araştırması, özellikle enerji analizleri ve karşılaştırma araştırmalarının, metodolojiye odaklanıldığını ve güvenilir sonuçların alınmasında en önemli etkenlerden biri olduğunu göstermektedir. Bir model oluşturmak, mühendislik yaklaşımına bağlı olarak karmaşık veya basit olabilir. Bu tür araştırmalarda, güvenilir bir araç modelini modellemek ile en güvenilir araştırmaya sahip olmak arasında bir optimizasyon olduğunu göstermektedir [6].

Araştırmalar sırasında modellemenin araç modelini farklı platformlarda oluşturmak için pek çok yolu olduğunu göstermektedir. AVL Cruise, Matlab / Simulink gibi yerleşik bloklarla veya sadece belirli formülasyonları kullanarak ve hesaplama yazılımları üzerinde analiz gerçekleştirilebilir.

Bu adımda, literatür araştırması simülasyonların güvenilirliğini artırmak için araç bileşenlerinin modellenmesi yaklaşımıyla ilgili ayrıntılı olacaktır. Araştırma yazılımlarını oluşturmayı ihmal ederek modelin detaylandırılmasına odaklanmaya devam edilecektir.

Bu aşamada elektrikli ve hibrit araçların nasıl oluşturulacağını açıklayan bir araştırma analiz edilecektir. Amacın amacı, şarj istasyonlarını tez kapsamından tamamen farklı olan genetik algoritmaları kullanarak tespit etmektir. Göz önünde bulundurulması gereken ortak bir nokta vardır, bu araştırmada enerji tüketimi ve

enerji kayıplarının sonuçları etkilemede büyük etkisi vardır. Bu nedenle ayrıntılı bileşenler incelenmiştir.

Araştırmada amaçlardan biri soyut olarak tanımlanmaktadır: Bu çalışma artan çevre kirliliğiyle yüzleşmek ve enerji tüketimini azaltmak için geliştirilen paralel hibrit elektrikli araçlar ile ilgilidir. Bu çalışmada Matlab / Simulink ortamını kullanan ve motor gücü, akünün türü ve boyutu gibi aracın farklı yönlerine erişmemizi ve değişikliklerin cihazların etkilerini nasıl etkileyebileceğini gözlemlememizi sağlayan elektrikli ve paralel hibrit elektrikli araçların modellenmesi gösterilmektedir. Bu anlamda araçların performans ve kat edilen mesafeleri göz önüne alınarak modellerin simülasyonu gerçekleştirimiştir [8].

Araştırma özel araçların toplu taşıma aracı olarak kullanılmasının neden olduğu çevresel ve sosyal problemler hakkındaki endişelerinden dolayı "sürdürülebilir bir mobilite" kavramı üzerinde bir geliştirmeyi konu almaktadır.Emisyonları minimum seviyeye düşürdüğü ve benzine bağımlılığını azalttığı için elektrikli araç en iyi seçenek olarak kabul edilmektedir. Böylece elektrikli araçlar, performanslarını iyileştirmeyi amaçlamak için araştırılıyor ve modelleniyor. Ayrıca, elektrikli araçların ve takılı elektrikli araçların akü şarjlarında yenilenebilir enerjiler kullanılmaktadır [9].

Elektrikli bir araç inşa etmek için onu geliştirmenin etmenin iki yolu vardır. Ayrı ayrı kendi bileşen modelleriyle oluşturulabilir veya önceden tanımlanmış bloklar kullanılabilir. Araştırmada ayrıntılı olarak açıklanmamakla birlikte şöyle açıklanmaktadır: sürüş döngüsü tipi, akü türü, hava koşulları, yol eğimi, araç ağırlığı ve yüzeyi gibi faktörler modelleme simülasyonu sırasında dikkate alınan değişkenler olarak kabul edilmiştir.

Araştırmada gösterilen bir model genel bakış, modelin her biri ayrı ayrı sürüş direnci, aerodinamik direnç, tırmanma, Yuvarlanma dirençleri olarak ayrı ayrı hesaplanmasıyla analiz başlatılmıştır.. İhtiyaç duyulan gücü belirlemek için yapılan bu araştırmada, Newton yasalarına göre kütle x ivme "ivme gücü" olarak adlandırılmaktadır. Gerekli kuvvet güç olarak değerlendirilir ve frenlemeye dayalı bir algoritma sağlar.

Rejeneratif frenleme, frenleme sırasında gerekli güçle çarpılan rejeneratif katsayısı ile değerlendirilir. Gerekli enerji hesaplanır ve EV verimliliği için girdi olarak kullanılır ve temel olarak batarya için girdi olarak kullanılır.

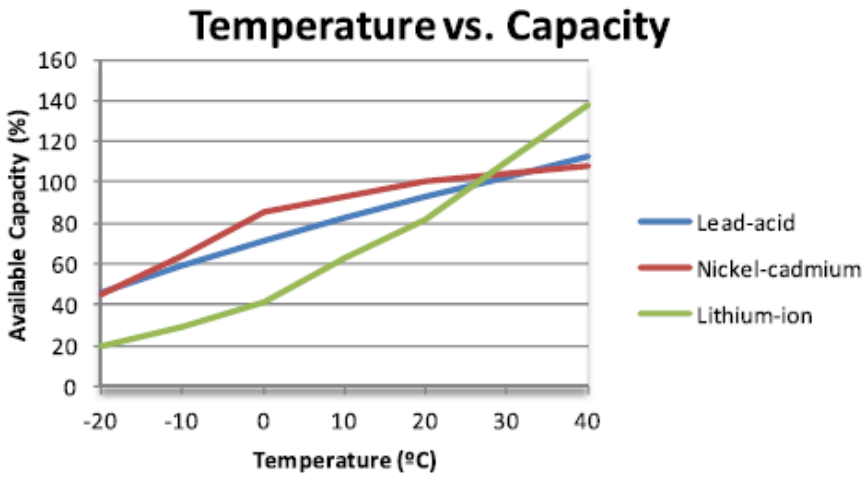
Matlab / Simulink ortamında elektrikli araç modeli şöyle özetlenmiştir: Modelleme, hem araç dinamiği hem de akü denklemlerinin bulunduğu Matlab / Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Modelleme dikkate alınmıştır Elektrikli araç üç büyük bileşen grubundan oluşur bunlar:

Araç dinamikleri: Aracın hız gereksinimlerini karşılamak için gereken sürüş kuvvetini hesaplamaktan sorumludur.

Şanzıman performansı: Mekanik kayıpları göz önünde bulundurmak için kullanılır.

Batarya: Sıcaklık ile ilgili kapasite değişimlerini analiz etmek ve boşaltma kapasitesini sağlamak için kullanılır [8]

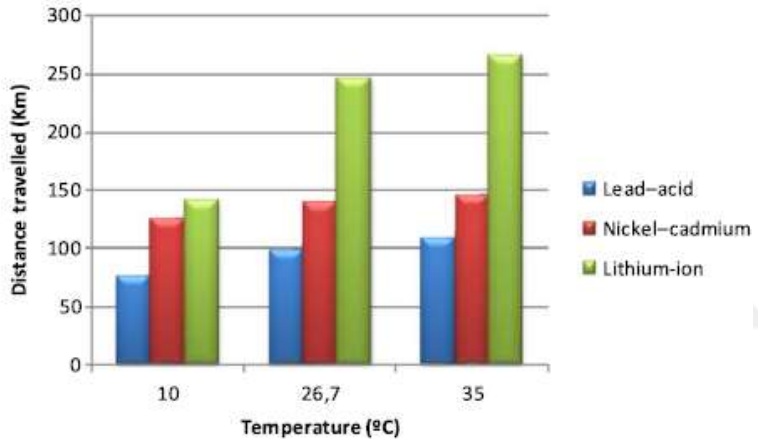
Araştırma ile ilgili farklı türlerden biri, pil malzemesi seçimine odaklanmaktır. Kapasite sıcaklığına göre kapasitelerini karşılaştırdı. Araştırma, bir lityum-iyon pilin, daha düşük bir kapasiteye sahip olduğu da gözlemlenebilir. Lityum-iyon bir pilin, düşük sıcaklıklarda kurşun asit ve nikelkadiyum pillerden daha düşük bir kapasiteye sahip olduğu da gözlenebilir.



Şekil 1.6 Pil kapasitelerinin sıcaklığa göre değişimi

Şekil 1.6 ‘da gösterildiği gibi Bu üç tip pilin ortak bir özelliği, sıcaklıklar 25 ° C ile 30 ° C arasında olduğunda hepsinin optimum çalışma noktasına ulaşmasıdır. Bu, pillerin sıcaklıklardan etkilenmesiyle yüksek bir sıcaklık ızgaraları paslanmaya ve aktif maddelerin bozulmaya başlar. Öte yandan, güç kapasitesi azalır ve düşük sıcaklıklarda kullanım ömrü uzar, iç korozyon süreci yavaşlar. Buna karşılık, pillerin performansı, uzun süre azalsa bile yüksek sıcaklıklarda iyileşir.

Pil değişiminin yanı sıra farklı sıcaklık hesaplamalarında Şekil 1.1.5'te gösterilmiştir. Akü analizini özetlemek gerekirse, Lityum-iyon akülerin ortalama çevre sıcaklıkları için maksimum performansa sahip olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi, Lityum-iyon pilleri 5 derecenin altında çalıştırmak oldukça güçtür. Bunun için otomotiv üreticileri batarya ısıtıcı sistemlerden yardım almaktadır.



Şekil 1.7 Sıcaklıklara göre batarya tipleriyle elektrikli araçlarlın menzilleri

Literatür araştırmasında, ayrıntılı olarak her türlü araç modeli için kapsamlı bir yaklaşıma sahip olan ve her bir tür için aktarma organları bileşenlerinin nasıl oluşturulacağı konusunda bir makale bulunmuştur.“ECOCAR 3” yarışmasında önemli bir kılavuz olması amaçlanan kesinlikle çok ayrıntılı bir kaynaktır ve araç modellemesi için önemli yayınlardan biri gibi kabul edişmiştir [10].

Araştırma metodolojisi giriş bölümünde bu kelimelerle özetlenmiştir. Bu çalışmada, sürüş çevrimleri için tekerleklerdeki enerji gereksinimleri bir "referans" modeliyle değerlendirilmiştir. Enerji gereklilikleri belirlendiğinde, güç aktarma sistemi konfigürasyonları birkaç MATLAB / Simulink komponent modeli ile değerlendirilir [10].

Modeller dört tip araç konvensiyoenel motorlu araç, elektrikli araç, Seri ve Paralel Hibrit araç için yapılmıştır. Açıklandığı gibi sadece elektrikli araç ve konvensiyoenel motorlu araç araç modelleri açıklanacaktır.

Araştırmanın öne çıkan noktalardan biri de Güç aktarma organları modelleri, sistem güç akışı ilerledikçe enerji kaybını takip etmek için geliştirilmiştir.. Bileşenler genellikle güç veya tork hızı kullanır. Tek tek bileşenleri değerlendirmek için güç kullanmak kesinlikle daha kolay ve kullanılabilir sonuçlar sağlarken, tork hızı, tek tek bileşenlerin işlevine daha derinlemesine bir bakışla daha doğru sonuçlar verir.

Modellemeden önce araç bileşenleri gereksinimlere göre belirlenmelidir bunlar aracın özellikleri ve hedefleridir, Enerji tüketimi ve emisyon limitlerinin yanı sıra, en yüksek hız ve hızlanma süresi ve kavramsal özellikler gibi sürüş gereklilikleri ile sınırlıdır. Proje hedefleri Tablo 1.2'de verilmiştir[15]. Araç konsepti sınırları bu şartlarla tanımlanmıştır.

Tablo 1.2 Referans Araç Özellikleri

Parametre	Değer
Araç Kütlesi	1500kg
Brüt Ağırlık	2000kg
Projeksiyon alanı	$0.75m^2$
Yuvarlanma direnci katsayısı	0.009
Araca uygulanan eylemsizlik katsayısı	1.04

Daha önceki araştırmalarda olduğu gibi, çekiş kuvveti Ftr, aracın ivmelenmesiyle çarpılan kütleye eşit olan itici dirençler ve iç kuvvetlerden hesaplanır. Formülasyon şu şekilde ifade edilebilir:

$$F_{tr} = mgC_{rr} + \frac{1}{2}C_d A_f V^2 + F_g + F_{inertial} \quad (1.8)$$

Sürüş çevrimlerine dayanarak, araç konfigürasyon özellikleri tanımlanır ve modellenir. Daha önceki araştırmalarda açıklandığı gibi, m, taşıt kütlesini belirtir, hızlanma ve araç değerleri, istenen sürüş çevriminden alınabilir.

Enerji güç kaybı hesaplaması her bileşenden farklıdır. Her bileşen için polinom denklemi olarak adlandırılır. Her bir bileşen için aşağıdaki sürüş çevrimi boyunca enerji tüketimini bulmak amacıyla formülasyonlar kullanılır.

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} \tag{1.9}$$

$$P_{loss} = C_0 + C_1 P \quad + C_2 P^2 \tag{1.10}$$

The best way to find out $C_0, C_1 \text{and } C_2$ sabitleri deneylerden edinilmiş sabitlerdir. sabitlerini bulmanın en iyi yolu deneylerden tanımlanmıştır. Güç kaybı hesaplaması için çoğu farklı bileşenlere bağlı olan pek çok farklı yaklaşım vardır. Aktarma organlarından bir bileşene örnek olarak şanzıman. Diş sayısına bağlı olarak tanımlanan başka bir yaklaşıma sahiptir [11].

$$P_R = C_{th} V_R F_R \tag{1.11}$$

$C_{th}$is sıcaklık faktörü V_R is vites dişli dönüş hızı ve is the yuvarlanma kuvveti F_R at olarak vites dişine uygulanır.Formülasyon ile ilgili olarak, ısıtma nedeniyle sürüş çevrimi boyunca her viteste ve her hızda değişen güç kayıpları. Bu nedenle deneysel tabanlı arama tabloları veya spesifik verimlilik değerleri güç kayıpları için kullanılabilir.

Motor gücü kaybı eb olarak tanımlanabilir. En çok tercih edileni, tork-hız ve verimlilik modeli olan motor özelliklerinden alınmıştır. Model veya harita olarak adlandırılabilir, yakıt enjeksiyonuna karşılık ne kadar güç alındığını gösterebilir. Temel olarak formülasyon şu şekilde ifade edilebilir.

$$P_{in} = P_{out}(known) + P_{loss} \tag{1.12}$$

P_{in}'i bulmak için , tüm enerjinin yakıttan geldiği bilindiğinden, P_{in} şu şekilde hesaplanabilir. :

$$E_{in} = \int P_{in} dt \tag{1.13}$$

Araç geliştirme uygulamalarında araçlara özel motor haritalarına kolayca ulaşmak mümkündür. Özellikle SFC (Özel Yakıt Tüketimi) haritalarının kullanılması yakıt tüketimi olarak en doğru enerji girdisini sağlar. Can bus kanalları, modellenen tork değerleriyle ne kadar gücün güç aktarımına girdiğini görmeyi mümkün kılabilir. Bu kanalları kullanarak, araç için ne kadar tork kaybının, eğri veya polinom denklemi olarak ifade edilebildiği görülebilir. Hepsi model için optimum hassasiyet ile ilgilidir. Güç kaybını tahmin etmenin başka bir yolu vardır, bu değerleri kullanarak verimlilik tork değerlerinden hesaplanabilir ve bileşen için sabit bir verimlilik değeri alabilir**.**

VSP'ye dayalı enerji tüketimi tahminleri, yol yapımı ve trafik yönetimi önlemlerinin enerji üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır İçten yanmalı motorlar için geliştirilen ve VT-CPFM (Virginia Tech kapsamlı Güç Bazlı Yakıt Tüketim Modeli) gibi benzer formülasyona sahip araç güç tabanlı modellerini kullanmanın başka örnekleri de mevcuttur [12] [13].

Sözü edilen araştırmalardan farklı olarak tamamlayıcı bir yöntem olan başka bir yaklaşım daha var, özellikle kısa süre içinde VSP olarak adlandırılan ICE araçları için kullanılıyor. VSP (Araç Spesifik Gücü) modeli, ani gücü tahmin etmek içten yanmalı araç modelleri için kullanıldı [14] [15]. Tekerleklerdeki anlık gücü, hız, hızlanma, hava sürtünmesi ve yol kalitesi gibi fiziksel değişkenler bazında tahmin eden bir modeldir.

Modelin, tekerleklerin gücüne ek olarak yardımcı cihazların gücü olarak kabul edilen değiştirilmiş bir versiyonu, bir trafik mikrosimülasyon modeli kullanılarak yolculuk başına enerji tüketimini tahmin etmek için kullanılmıştır. VSP'ye dayalı enerji tüketimi tahminleri, yol yapımı ve trafik yönetimi önlemlerinin enerji üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır [16].

Araç kinematik parametreleri ve çevresel koşullar üzerindeki güç gereksinimini tahmin eden EV'ler için geriye dönük modeller, hepsinin anlık ivme, hız, yol sınıfı ve

sürtünme ve yuvarlanma direnci katsayılarına dayanması gibi bazı benzerlikleri paylaşır. Bu modeller arasında en yaygın olanı VSP modelidir [14] [15].

$$P/_m = VSP = va(1 + \varepsilon_i) + gkx + gC_r v + \frac{1}{2}\rho_a C_D A(v + v_w)^2 v + C_{if}) \quad (1.14)$$

VT-CPEM modeli çok benzer bi yaklaşımdır, ancak kütle spesifik değildir ve denklem ile tanımlanır [12]:

$$P = (ma + mg\cos(\theta)\frac{C_r}{1000}(c_1 v + c_2) + \frac{1}{2}\rho_a A C_D v^2 + mg\sin(\theta))v \quad (1.15)$$

Bu güç denklemi, hızlanma sabitine veya diğer parametrelere bağlı olarak türetilebilir.

Güç kaybı formülasyonunun temel amacı, kaybı belirlemek ve rejeneratif frenleme ile en iyi verime sahip olmak için çalışmaktır. Ön ve arka tekerlekler arasında dinamik ağırlık ve fren gücü dağılımı dikkate alınarak rejenerasyon için mevcut enerji miktarını tahmin etmek için kullanılan benzer bir formülasyon şu şekildedir [17]:

$$P = \zeta mav + mg \quad v + A\frac{C_D}{20.15}v^2 \quad (1.16)$$

VSP modeli, sonucu araç kütlesi ile çarparak farklı araç tiplerine kolayca uygulanabilir. Hafif araçlarda taşıt gücü ve kütle oranı orantılı olabilirken, daha ağır kişisel taşıtlar daha büyük kesitlere ve daha fazla hava çekişine sahiptir. Öte yandan, ağır taşıt hava sürüklemesi yüklü olup olmamasından bağımsızdır. Bu durumda, bu varsayımı olmayan bir model, VT-CPEM gibi daha iyi bir seçim olacaktır [16].

Elektrikli araçların özellikle şehir trafiğindeki en büyük avantajlarından biri de rejeneratif frenlemedir. Rejeneratif frenleme verimleri, batarya tipi, çevre ve batarya sıcaklığı gibi koşullara bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Örneğin, aynı araçta, lityum-manganez oksit pilli Nissan Leaf, itici verimlilik, gösterildiği gibi % 30 ile% 78 arasında değişmektedir.

Tablo 1.3 Farklı ortam sıcaklıklarında sıcak başlatma sırasında itici verimlilik, kağıttan sonuçlanan Şekil 1.6'da gösterilmektedir [19]. Batarya sıcaklığı normal çalışma koşullarından arttıkça ya da azaldıkça, verimlerin önemli ölçüde düştüğü, bu nedenle çok sıcak ya da soğuk iklimlerde verimlerin ılıman iklime sahip bölgelerden daha düşük olacağı açıktır [16].

Belirtildiği gibi, rejeneratif frenleme verimliliği birçok parametreye bağlıdır. Tablo 1.3'te gösterilen piyasadaki çeliştli araçların rejeneratif verimlilikleri gösterilmiştir.

Tablo 1.3 Rejeneratif Frenli Araçların Verimleri

Referans	Özellik	Araç Modeli	Sonuç
Referans A	Dinamometre ölçümü, kişisel araç	Nissan Leaf, MY2012	Tekerden bataryaya enerji geri kazanımı 16% (soğuk çevrim) to 70% sıcak çevrim)
ReferansB	Dinamometre ölçümü, kişisel araç	Nissan Leaf, MY2012, MY2013	30 – 78% rejeneratif fren verimi (tekerden bataryaya 53 – 89% tahrik verimi (bataryadan tekere)
Referans C	Dinamometre ölçümü,	Batarya elektrikli Araç 1360 kg, 20 kW	11.2 to 12.6% yaklaşık tüketim kazanımı
Referans D	Farklı Hibrit elektrik ve hibrit hidrolik elektrikli araç konfigürasyonlarının matematiksel modeli	-	15-76 %ortalama enerji tüketimi gelişimi
ReferansE	Kafes sistemi entegre araç	BMW MiniE	Sadece şarj anındaki kazanım 12-36% arasında

Literatür araştırmalarında modelleme kısımlarında oluşturulan modellerin içten yanmalı motora sahip aracın gerçeğe en yakın modellendiği ve buna alternatif olarak alternatif güç aktarma ünitesine sahip iki ya da daha fazla opsiyona sahip elektrikli araç modellerinin geliştirildiği görülmektedir. Özellikle entegrasyon projesi olan elektrikli taksi filosu çalışmasında, şehir içi CO_2 düşümü için planlanan

simülasyon şehir trafiği dinamiklerine bağlı olarak elde edilen sonuçlar çalışmanın gerçekçi sonuçlar içermesini sağlamaktadır.

1.2 Tezin Amacı

İçten yanmalı araçların son zamanlarda yarattığı have kirliliği ve emisyon sorunlarına alternatif olarak enerji tüketimi açısından oldukça verimli ve karbondioksit üretimi oldukça az olan elektrikli araç konseptleri tercih edilmeye başlanmıştır.

Buna rağmen coğrafi özellikleri farklı olan ve farklı koşullara sahip şartlarda elektrikli aracın içten yanmalı araçlar kadar kolay bir entegrasyonu mümkün olmamıştır. Tezin amacı İstanbul'un yol koşullarını, trafik yoğunluğunu ve kullanılan toplu taşıma konseptlerini göz önüne alarak daha temiz ve sürdürülebilir bir toplu taşıma konseptinin modelinin geliştirilmesini sağlamaktır.

Modelin gerçeğe yakın ve uygulanabilir olması için sarı dolmuş konsepti seçilmiştir. Geliştirilecek konseptin AVL Cruise ortamında modellenecek ve dönüşümü planlanan konvensiyonel dizel araç modeliyle karşılaştırılacaktır. Özellikle araçların uygunluğunun test edilmesi için sarı dolmuşlardan toplanan tüm güne ait yol dataları kullanılacaktır. Böylelikle sağladığı enerji tasarrufu ve karbondioksit salınımı sonuçları analiz edilerek konseptin uygunluğu tartışılacaktır.

1.3 Hipotez

Modellenmesi planlanan elektrikli araç konseptlerinin İstanbul yol ve trafik şartlarına uygunluğu konseptin gün boyunca katettiği yol datası referans alınarak ispatlanacaktır. Geliştirilecek konsept günümüzde kullanılan sarı dolmuş araçlarından enerji tüketimi ve karbondioksit üretimi anlamında büyük avantajları gösterilecektir.

2
Metodoloji

2.1 Metodoloji

Tezin amacına uygun olarak elektrikli araç konseptinin gerçekçi sonuca ulaşması için metodolojinin çıkış noktası elektrifikasyonu planlanan araçtan başlamaktadır. Amaç yeni konseptin avantajları olduğundan önceki konseptin ispatlanabilir ve gerçeklenebilir bir sonucunun bulunması gereklidir. Bu sebeple ilk olarak uygun araç konsepti seçilmiş ve validasyonu sağlayabilecek araca ait bir referans data elde edilmiştir.

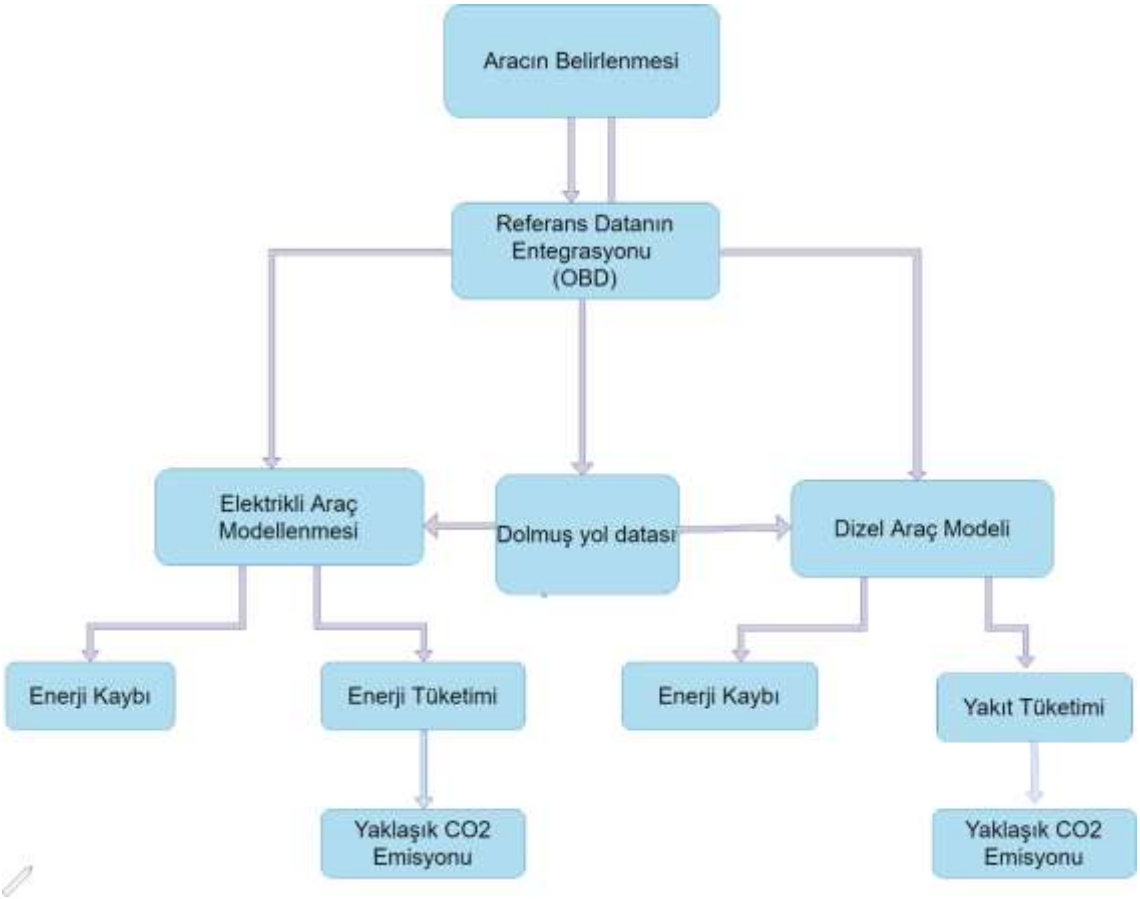
Oluşturulacak dizel araç modelinin amacı uygun elektrikli araç konfigürasyonu seçildiğinde gerekli çevrim için doğru yakıt ve enerji tüketimi sonucunu vermesi ve artı ve eksilerinin yeni konseptle karşılaştırılmasıdır. Bu sebeple model seçilen referans araca uygun şekilde modellenmiş ve aracın kendisinden alınan referans datayla valide edilmiştir.

Elektrikli aracın toplu taşıma konsepti olarak kullanıldığı bölgelerin büyük çoğunluğu düz bölgeler olduğundan yükseklik faktörünün enerji tüketimine olumsuz etkisi yok denecek kadar az sayılabilir. Bu anlamda istanbulun engebeli arazi üzerinde olmasının etkisi enerji tüketimine oldukça büyük bir sorun olarak görülebilir. Bu sebeple araçların gideceği yol ve trafikte harcadıkları zamanın yanısıra enerji tüketiminin simülasyonu için aracın üzerindeki hareket dirençlerinin gerçeğe yakın simüle edilmesi gerekir.

Simülasyon için gereklilikler şu şekilde özetlenebilir:

- Araç özellikleri
- Aracın katettiği yol
- Kullandığı rota
- Rotanın yükseklik profili

Modellemenin doğru sonuçlara ulaşması için hedef aracın belirlenmesi, oluşturulan iki alternatif modelin referans datayla validasyonu, arkasından oluşturulan elektrikli araç varyasyonlarından enerji tüketimi ve enerji kaybının hesaplanması, sonuç olarak yaklaşık CO_2 emisyonu salınımının hesaplanması hedeflenmiştir. Metodoloji adımları Şekil 2.1'te görülmektedir.



Şekil 2.1 Tez Çalışmasının Metodolojisi

Simülasyon modellemenin sonuçlarının ilk elde edilmesinden bir önceki aşamadır. . Amacın ortaya sürdürülebilir bir konsept çıkarması için araca ait detaylı bir referans datanın kullanılması modellerin geliştirilmesi için oldukça önemli bir etkiye sahiptir.

Bu noktada gerçeğe en yakın şekilde modellenecek bir dizel araç ve sadece güç grubu elektikli hale getirilmiş bir araç modellenmesi gereklidir. Modelin doğruluğu

ve komponent seçimi için detaylı bir referans datanın kullanılması hem validasyon hem de gerekliliklerin sağlanması açısından oldukça büyük önem taşımaktadır.

2.1.1 Aracın belirlenmesi

Araç konsepti için minivan tipindeki sarı dolmuşların elektrifikasyon için uygun opsiyon olduğundan bahsedilmiştir. Rotalarının yoğun trafikte bulunması, bunun yanısıra taşıma kapasitelerinin diğer toplu taşıma araçlarına göre belirli oluşu entegrasyonu kolaylaşmaktadır. Bunun için kullanımı yaygın olan bir minivan tipi aracın fiziksel özellikleri, iki tip aracın da fiziksel özellikleri için baz alınmıştır. Araca ait fiziksel özellikler Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Araç fiziksel özellikleri

Araç Özellikleri	
Araç ağırlığı	1800kg
Araç türü	Minivan
Koltuk sayısı	10
Projeksiyon alanı	2,52m^2
Teker Boyutu	215/65 R15
Motor Tipi	2L Diesel
Silindir sayısı	4
Vites Türü	Otomatik Vites (6 Vites)
Emisyon Limiti	Euro 5

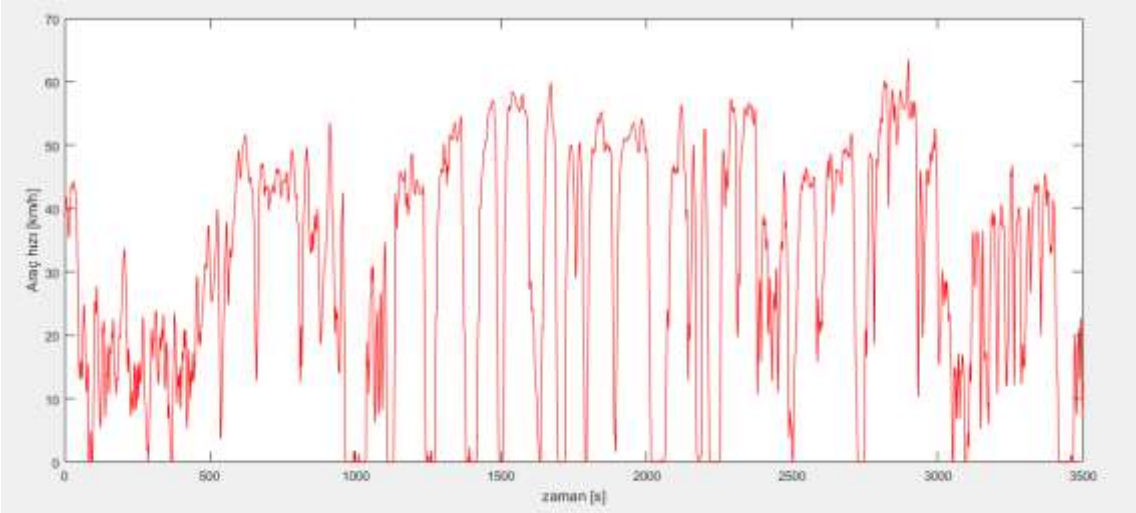
Tabloda gösterilen araca ait tüm özellikler, bunun yanısıra fren diskleri, şanzıman diferansiyel gibi komponentlerin hepsi araca uygun şekilde dizel araç modeline entegre edilmiştir. Buradaki amaç dizel motor modelinin verimini artırmak ya da geliştirmek değil modelin referans datayla uyumunun sağlanmasıdır. İleride dizel aracın modelinin oluşturulmasından bahsedilecektir.

Elektrikli araç modelinin burada referans alacağı özellikler aynı dirençlerin etki etmesi açısından ağırlık, teker ve gövde özellikleridir. İstenen hızın elektrik motorunun kontrolüyle sağlaması elektrikli aracın kullanılmasına ihtiyaç duymamasını sağlamıştır.Bu da aracın hem ağırlık hem enerji tasarrufundan fayda sağlamasıdır. Benzer şekilde güç aktarma sisteminin modeli ileride açıklanacaktır.

2.1.2 Referans Data Entegrasyonu

Aracın gerçeğe uygun sonuçlarının verilmesi için yol datasının yanısıra dizel aracın belli parametrelerinin bilinmesi gerçekçi yakıt tüketimine ulaşmak için oldukça önemlidir. Araç üzerinden alınacak yakıt tüketimi, motor hızı, hız profili, sürüş karakteristiği gibi birçok parametrenin aracın gerekliliğini belirlemesi beklenir.

Referans datanın model kapsamını belirlediği düşünülürse aracın dinamik karakteristikleri tek bir duruma göre değerlendirilmemelidir. Belli rotada hareket eden bir aracın şehir içi kullanımı olduğu gibi trafiğin az olduğu ya da uzun mesafe katettiği yollarda şehir dışı bir sürüş profili sergilediğinden bahsedebiliriz.



Şekil 2.2 Validasyon için kullanılan Referans Data

Aşağıda bir referans datanın şehir içi 1 saatlik hız profili görülmektedir. Aracın maksimum çıktığı hız 62km/h ve ortalama hızı 30 km/h olarak bulunmuştur. Aracın şehir trafiğinde yoğun bir şekilde sürekli olarak dur kalk yaptığı ve araç vitesinin 1-3 arasında değiştiği görülmektedir. İvmelenme direncinden ihtiyaç duyduğu enerjinin yanısıra frenleme esnasında kaybettiği enerji rejeneratif frenle kazanabileceği enerjiyi açıkça göstemektedir.

Aracın hız profili incelendiğinde sıkça gerçekleşen ivmelenme taleplerinin oldukça fazla olması, kullanılacak güç grubunun en az dizel motor güç ve hız taleplerini karşılamasının gerekliliğini göstermektedir. Performans gerekliliğini sağlayacak motor seçimi modellemenin en önemli adımlarından biri olarak görülmektedir

Konseptin şehir içi için uygunluğu düşünülse de aracın belli durumlarda otoyol koşullarını sağlaması ve aracın trafik olmadığı koşullarda da profil taleplerini yerine getirmesi beklenir. Bu anlamda performans karakteristiğinin izlenmesi için otoyol koşullarında da referans data toplanmıştır..Aracın şehir dışı trafiğinden oldukça farklı olmasının yanısıra motor torkunun 100-350Nm aralığında sık bulunduğu ve 1500-2000rpm aralığında seyrettiği görülmüştür.

2.1.3 Elektrikli Araç ve Dizel Araç Modellerinin Geliştirilmesi

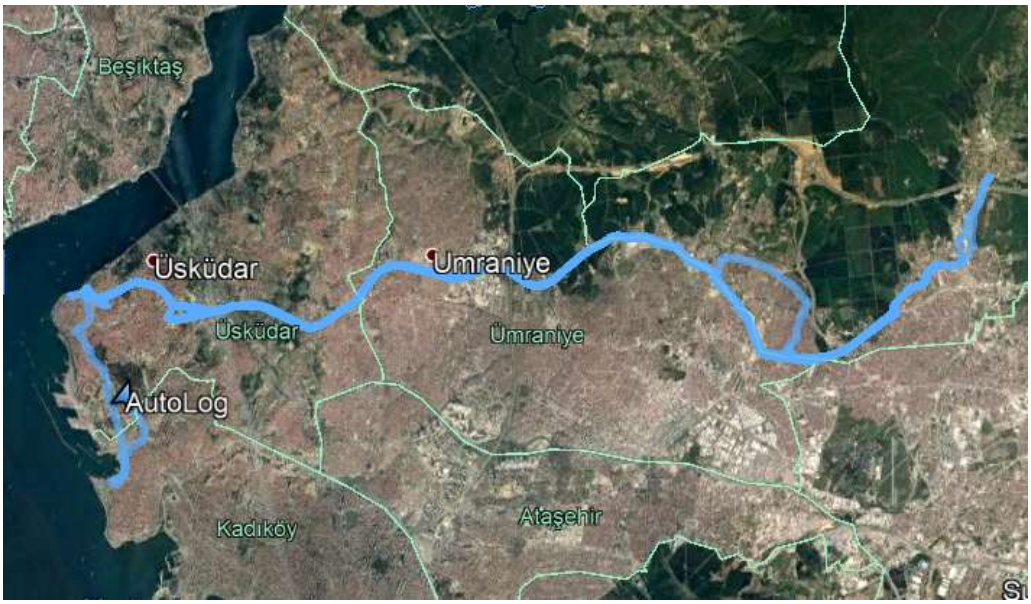
Dizel araç modeli geliştirirken amaçlanan modelin simülasyonda gerçekçi yakıt tüketimi ve CO_2 emisyonuna ulaşmasıdır. Araç üzerinden toplanan ve yol datasına göre çok daha fazla bilgi içereren referans data verileri modelin geliştirilmesinde kullanılmıştır.

Amaçlanan simülasyona girilen yol ve eğim datasıyla aracın modelinin yol simülasyonu sonucunda gerçeğe yakın toplam yakıt tüketimine çıkarılması amaçlanmıştır. Bu sebeple yapılacak dizel araç modelinde yapılacak geliştirmelerin her biri model komponentlerinin optimizasyonu değil modelin gerçekliğe yaklaşması için gerçekleştirilecektir.

Farklı şekilde elektik motorunun referans datadan alacağı tek referans performans girdileridir. Spesifik olarak motor inputları modellenmese de referans datanın gittiği noktaların seçilen motor gereksinimini kapsaması beklenir. Bu sınırların kapsamında birden fazla elektrikli araç varyasyonu geliştirilip enerji verimliliği en yüksek modelin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2.1.4 Yol Datasının Toplanması

Simülasyonun gerçeğe yakınlığı hedeflendiğinden araçların izlediği rotaya ait enerji tüketimine etkiyen her parametrenin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu sebeple araca eklenen GPS modülüyle aracın hızı ve bununla birlikte zamana bağlı hareket noktaları ve beraberinde yükseklik profili takip edilmiştir.GPS datasının Google Earth'e entegrasyonuyla da yükseklik datası elde edilebilir. Şekil 2.3'te gün boyu toplanan Ümraniye-Üsküdar datası görülmektedir.

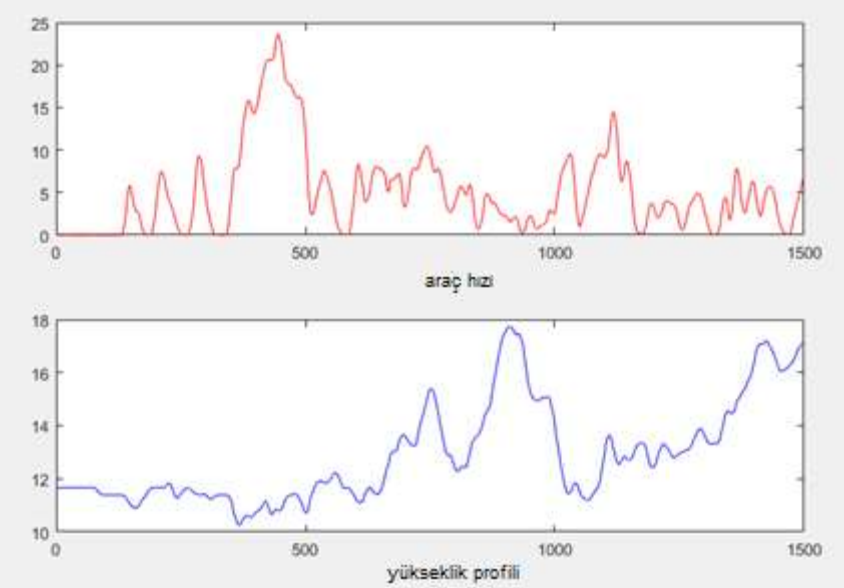


Şekil 2.3 Simülasyon için kullanılan Rotanın Görüntüsü

Buradaki en önemli amaç aracın istenen hız profilini takip etmesi ve yol boyunca aşması gereken hareket dirençlerinin bulunmasıdır. Bu sebeple katedilen yolun yükseklik profile alınarak aracın hareketine asıl etki eden yokuş direncinin etkisi modellemeye negatif direnç olarak eklenmiştir.

Bununla birlikte araçtan toplanan ve sürüş karakteristiğinden yol şartlarına kadar enerjiyi etkileyen parametre elimine edilip yerine aracın istenen çevrimi tamamlarken ihtiyacı olan toplam enerjinin modellere entegrasyonu sağlanmıştır.

Şekil 2.4'te araçtan toplanan yol datasının bir kesiti gösterilmiştir. Araca dair hız profile ve katettiği yolun yüksekliği hareket dirençlerinin hesaplanması için yeterli parametreyi oluşturur.



Şekil 2.4 Dolmuştan toplanan yol datasına ait bir kesit

Gerçekleştirilen modellemeninbu parametrelerle simüle edilmesi test koşullarına ait detayları ihmal edip sadece bir araç için değil o yolu sağlayacak tüm araçlar için genel bir sonuç elde edilmesini sağlayacaktır. Bu yolla elde edilen CO_2 emisyonu bir araç için elde edileceği gibi tüm filonun benzer çevrimlere dağılımıyla modellenmesi sağlanabilir.

2.1.5 Enerji Tüketimi Analizi

Araçların enerji tüketimi metodolojisi detaylı olarak modellerin anlatımında bahsedilecektir. Burada iki model için hareket dirençlerinden yola çıkarak ihtiyaç duyduğu enerji hesaplanabilir. Burada asıl nokta kayıpların simüle edilmesidir. Bu sebeple dizel motor için en iyi enerji tüketimi parametresi yakıt tüketimidir. Yakıt tüketiminin karşılayacağı enerji ve yola harcanan enerji arasındaki fark aracın kaybettiği enerjinin hesabı için oldukça gerçekçi bir yaklaşımdır.

Her iki model için de aracın ihtiyaç duyacağı kinematik denklem referansı baz alınarak şu şekilde ifade edilebilir [9]:

$$M_v\ dv(t)/(dt) = F_t(t) - (1/2\ \rho_{air} A_f C_d(v) v(t)^2\ + m_v g \cos(\propto) C_r(v) + m_v g \sin(\propto) + l \quad (2.1)$$

Eşitliğin ilk kısmı Newton'un ikinci yasasında bulunan eylemsizlik kuvveti, F_t olarak ifade edilen aracın hareketini sağlayıp dirençleri yenen çekici kuvvet ve sırasıyla aerodinamik, yuvarlanma, ve tırmanma l ile diğer kayıpları ifade eder.

Yol datasının hız ve eğim datasının yanısıra projeksiyon alanı,aerodinamik katsayı, tekerlerin tuvarlanma katsayısı gibi değerler girildiğinde aracın ihtiyacı olan güç kolayca modellenmiş olur. Bunun yanısıra harekete dönüşen enerji basitçe şöyle ifade edilebilir:

$$W = F_{net} \times katedilen\ yol \tag{2.2}$$

Hareket sırasında araca etkiyen dirençler hareket dirençleriyle kolay olarak ifade edilse de l olarak ifade eden diğer kayıpların oldukça iyi hesaplanması aracın enerji tüketiminin belirlenmesi açısından oldukça büyük önem taşır.

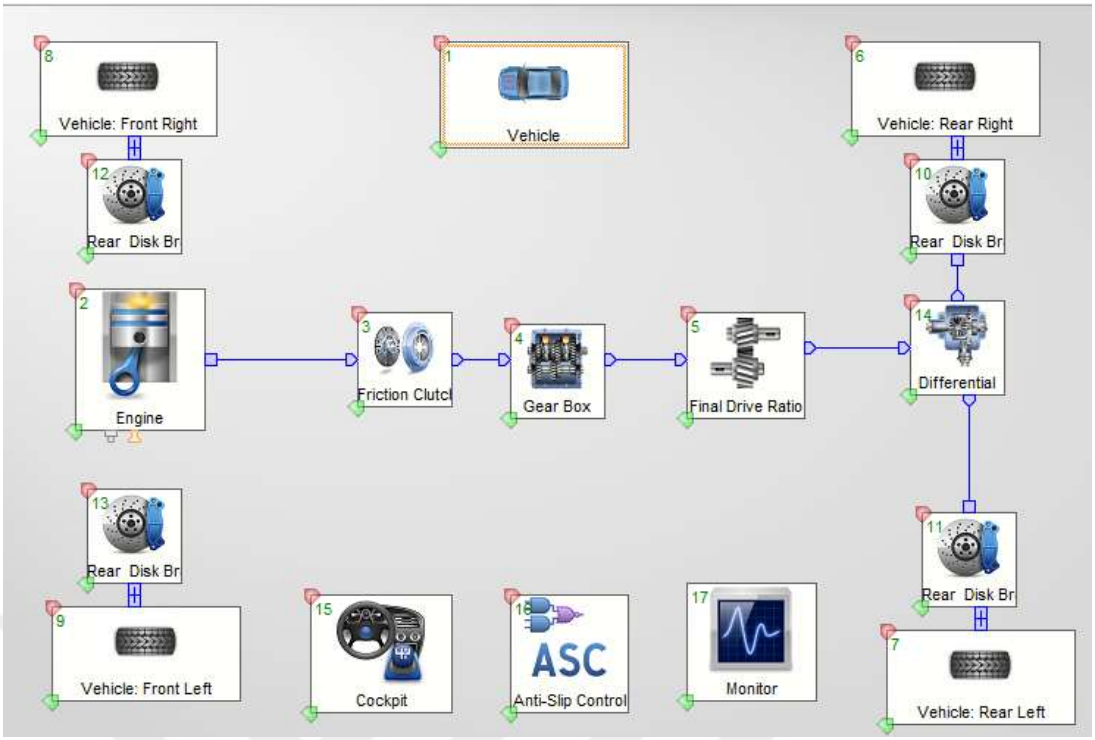
2.1.6 Yaklaşık CO_2 Emisyonu

Benzer şekilde CO_2 emisyonu dizel araç için tükettiği yakıtın ortalama CO_2 emisyonu hesabı olarak yapılacaktır.

Elektrikli araç içinse CO_2yaklaşımır literatür referansında belirtildiği gibi toplam harcanan enerjinin kWh değerini ülkenin elektrik üretirken oluşturduğu CO_2 salınımına göre hesaplanacaktır [18].Detaylı CO_2 analizi modellerin sonuçları değerlendirilirken ele alınacaktır.

2.1.7 Dizel Aracın Modellenmesi

Giriş bölümünde bahsedildiği gibi aracın modellenmesi ve simülasyonu AVL Cruise'da gerçekleştirilmiştir. Burada hareket dirençlerinin yanısıra blokların içerisindeki enerji kayıp hesapları oldukça hassas olarak elde edilmektedir. Sırasıyla komponentlerin modellenmesi açıklanacaktır.Şekil 2.5'te görülmektedir. Sırasıyla komponentler 2L dizel motor, kavrama, vites kutusu, FDR, diferansiyel, fren diskleri ve tekerler, ve araç gövdesi olarak modellenmiştir.



Şekil 2.5 Dizel Araç modelinin Görünümü

Şanzıman modelinde dişli sayıları ve dişli oranları ve bunların yaklaşık kütleleri, bunun yanısıra şanzımanın tüm sürüş koşullarında şanzıman kaybının simülasyonu tork kayıpları da her vites için girilmiştir. Motordan çıkan torkun kayıpları referans datanın baz aldığı değerlere göre girilmiştir.

Motor modeli oluşturulurken kullanılacak stratejinin en önemli noktası enerji tüketimini ifade edecek olan yakıt tüketimi parametresidir. Motor içerisinde birçok stratejiyle yakıt tüketimi belirlenebilir, fakat modelin kompleksleşmesi ve amacından uzaklaşmaması için alınabilecek en kesin sonuç için aracın tam yük eğrisi ve yakıt tüketimi haritası girilmiştir. Böylece motorun operasyon noktalarında kullanılan yakıt miktarının kesin olarak harcanması sağlanmaktadır. Model içerisinde NOx, CO_2 ya da kurum gibi birçok değerin modellenebilmesi mümkündür. Ancak metodolojide elektrikli araç modeline yapı benzer yaklaşım yapılması açısından yakıt tüketiminin yaklaşık CO_2 hesabı yapılacaktır.

Benzer şekilde yapılan araştırmalar sonucunda son dişli oranı ve diferansiyel de baz modeler referans alınarak sabit bir yüzde olarak ifade edilmiştir. Aynı zamanda fren diskleri için maksimum frenleme basıncı, disklerin frenleme yüzeyi araç için

kullanılan fren diski değerleri alınarak girilmiştir. İki model arasındaki en büyük fark dizel motorda frenleme esnasında ısıya dönüşerek kaybolan frenleme enerjisinin geri kazanımı olacak.

Son olarak tekerlerin çapı, lastik ölçüleri baz alınarak hesaplanmıştır. Bunun yanısıra yuvarlanma direncini oluşturan $C_d(v)$ hıza bağlı bir değer olarak ifade edilmiştir. Kısa bir literatür araştırması sonucunda bulunan yaklaşık değerler aracın hızına bağlı değişecek şekilde girilmiştir. Bunun yanısıra aracın yaşayacağı kayma ve bunun engellenmesi için Cruise'a ait Anti Slip Control bloğu kullanılmıştır.

Hareket Dirençlerinin Modellenmesi

Dizel araç modelin oluşturulmasının en önemli sebeplerinden birinin aracın enerji tüketiminin gerçeğe yakın modellenmesi olduğu belirtilmişti. Aracın sürüş boyunca gerçekleştirdiği hareket Newton'un ikinci yasasından yola çıkarak, literatür araştırmalarında şu şekilde ifade edilmiştir [15].

$$\mathrm{F_{tr}} = \mathrm{mgC_{rr}} + \frac{1}{2}\mathrm{C_d A_f V^2} + \mathrm{F_g} + \mathrm{F_{inertial}} \qquad (2.3)$$

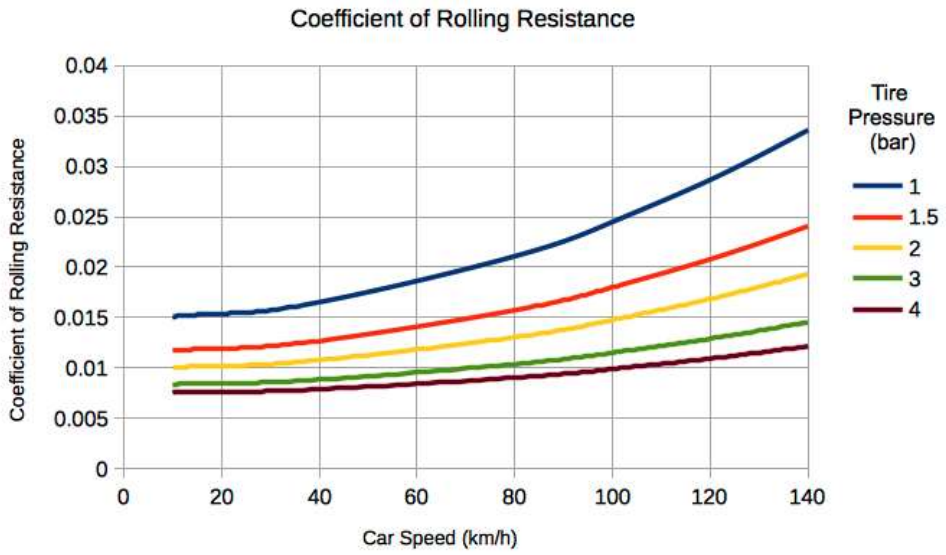
Formülün ifade sol tarafında kalan değer aracın ihtiyaç duyduğu çekici kuvveti ifade etmektedir. Ifadede belirtilen hareket dirençlerinin doğru hesaplanması aracın tükettiği enerjiyi belirlemekte kullanılacaktır. Sırasıyla yuvarlanma direnci, aerodinamik direnç ve yokuş direnci modellenecektir.

Yuvarlanma Direnci

Yuvarlanma direnci aracın tekeri ve yol arasındaki temas eden yüzeyden doğan hareket direncidir. Basit şekilde yuvarlnama direnci F_{RO}: [24]

$$F_{RO} = f.m.g.\sin\boldsymbol{\theta} \qquad (2.4)$$

Yuvarlanma direncine etki eden ağırlık ve yer çekimi ivmesi bilindiğinden aracın gittiği yoldaki lastikle temasından ortaya çıkan f katsayısının belirlenmesi oldukça önemli kabul edilebilir. Bu katsayı lastiğin materyali, lastiğin temas yüzeyi gibi birçok parametreye bağlı olduğundan su konudaki deneysel sonuç datalarının kullanılması en efektif yol olarak bulunabilir.



Şekil 2.6 Lastik Basıncı ve araç hızına göre ortalama yuvarlanma Katsayıları

Şekil 2.6'da gösterilen sonuçlar aracın basıncına bağlı şu formülasyondan elde edilmiştir [24]. Benzer şekilde deneysel datanın elde edilmesinde kullanılan formülasyon ise şu şekildedir Aracın ortalama hızı 89km/h bulunurken lastik ölçülerine göre bulunması gereken ideal basınç 2 bar olarak belirtilmiştir. Bu hesaba göre yuvarlanma katsayısı bu şekilde 0.013 olarak hesaplanabilir [25].

$$f = 0.005 + (1 / p)\,(0.01 + 0.0095\,(v / 100)^2) \qquad (2.5)$$

Aerodinamik Direnç

Aracın hareket halindeyken hava sürtünmesinin hareket yönüne göre ters olarak oluşturduğu hareket direnci olarak ifade edilebilir. Bu etkinin belli hızlara kadar ihmal edilebilir kabul edilmiş olsa da hızın oldukça önemli olduğu formula araçlarında aerodinamik direnci düşüren tasarımla görmek mümkün. Aerodinamik direnç basitçe şu şekilde ifade edilebilir [24].

$$F_L = 0.5 \cdot \rho \cdot cw \cdot A\,(v + v_0)2 \qquad (2.6)$$

Formülasyonda görüldüğü üzere havanın yoğunluğu ve hız gibi parametrelerle değişiklik gösteren dirence en büyük etki havanın dik olarak çarptığı alan olarak ifade edilen projeksiyon alanıdır. Aynı zamanda havanın araç üzerinde buluştuğu hızın parameter olarak gösterildiğinden v_0 olarak ifade edilen araca etki eden rüzgar hızıdır.. Minivan tipi görülen araçlarda C_W katsayısı 0.37 olarak bulunmuştur.

Formülasyonun km/h cinsinden formülü ise aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [24]

$$F_L = 0.0386 \cdot \rho \cdot cw \cdot A \cdot (v + v_0)2 \quad (2.7)$$

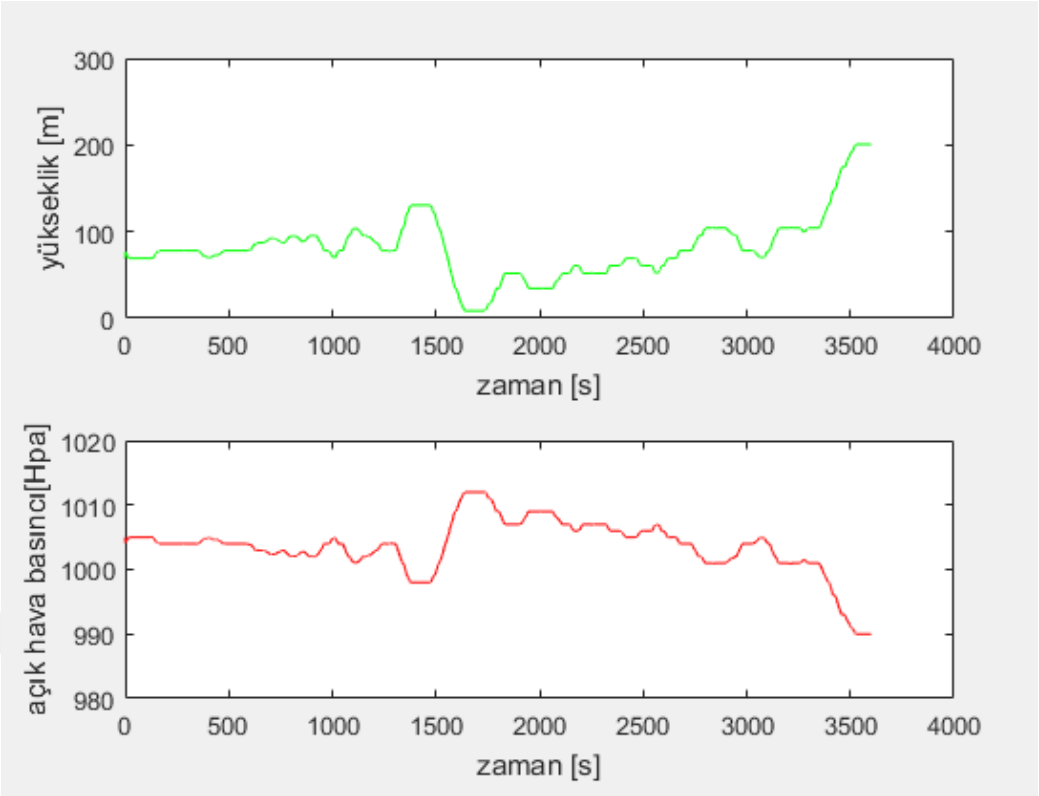
Yokuş Direnci

Aracın eğimli yolda kütlesinin eksenel bileşeninden dolayı oluşan hareket direncidir. Yokuş yukarı çıkarken negatif etkisi görüldüğü gibi tersi şekilde rakımın azaldığı noktada aracın hareketine pozitif etki yaptığı görülür. Yokuş direnci kısaca: [24]

$$F_{ST} = G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (2.8)$$

Formülüyle hesaplanır. Metoloji kısmında aracın üzerine etki edecek yokuş direncinin hesaba katılacağından bahsetmiştik. Bu sebeple hesaplanacak validasyon datasının tahmini yükseklik profilinin çizilmesi için açık hava basıncı datası kullanılmıştır. Açık hava basıncı hipsometrik formülasyonu kısaca şu şekilde ifade edilebilir.Aşağıda basınç datasından elde edilen yükseklik profilinin zamana bağlı değişimi gösterilmiştir.

$$h = \frac{((\frac{P_0}{P})^{\frac{1}{5.257}} - 1) \times (T + 273.15)}{0.0065} \quad (2.9)$$



Şekil 2.7 Referans datanın yol boyunca yükseklik ve açık hava basıncı değişimi

2.1.8 Araç Modelinin Validasyonu

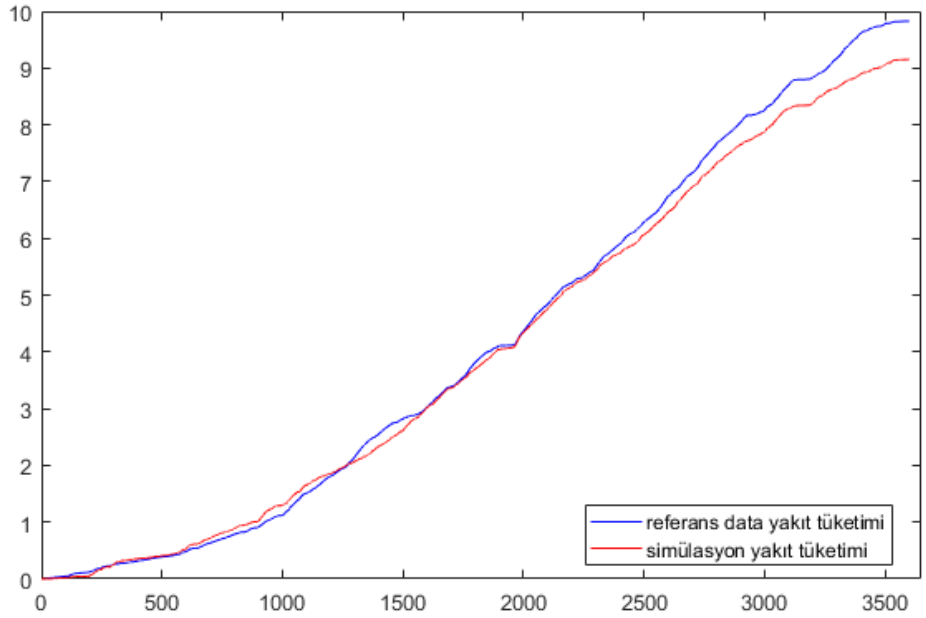
Modellenen araçların fiziksel olarak aynı sürüş dirençlerine maruz kalacaklarından bahsedilmişti. Modellenen aracın iyileştirmeleri ve fiziksel parametreleri referans data sayesinde gerçekleştirilmiştir.

Modellenen aracın ağırlık merkezi, hızına bağlı olarak üzerine etkiyen aerodinamik direnç, tekerlere ait sürtünme katsayısı, taker yarıçapı gibi değerler seçilen araca uygun şekilde girilmiştir. Aracın doğru tork ve motor hızı bölgelerinde çalışması özellikle aracın spesifik yakıt tüketiminin doğru okunması açısından oldukça önemlidir.

Hız profilinin modele girilmesinin ardından modelin aracın doğru bölgelerine gitmesi ve model içine gömülen spesifik yakıt tüketimi haritasından doğru değerleri okuması bekleniyordu. Bu sebeple referans datanın tork ihtiyacı ve simülasyon üzerindeki fark göz önüne alınarak aracın referans olarak girilen boş kütlesi üzerinde ağırlık düzeltmeleri gerçekleştirildi.

Aracın tork ve motor hızı bölgelerinde doğru yere ulaşması referans datanın alındığı aracın vites algoritmasıyla ilgili olduğu göz önüne alınarak referans datadan yararlanarak aracın hangi hız ve hangi tork bölgelerinde hangi viteste gittiği belirlenerek araca input olarak beslendi. Motor bölgelerinin kesin değer vermesi için referans datada görülen vites değerleri de input olarak girilebilirdi.

Burada özellikle yük ve motor hızı bölgelerine data yardımıyla vites değerinin girilmesinin sebebi kullanılacak modelin simülasyonunda kullanılacak datanın vites değerlerinin bulunmayacak olmasıdır. Vites algoritması için girilen değerler böylelikle farklı hız profilinde de benzer noktalara gidilmesi için ilk yol tercih edilmiştir.



Şekil 2.8 Referans ve Simülasyon datasının yakıt tüketimleri

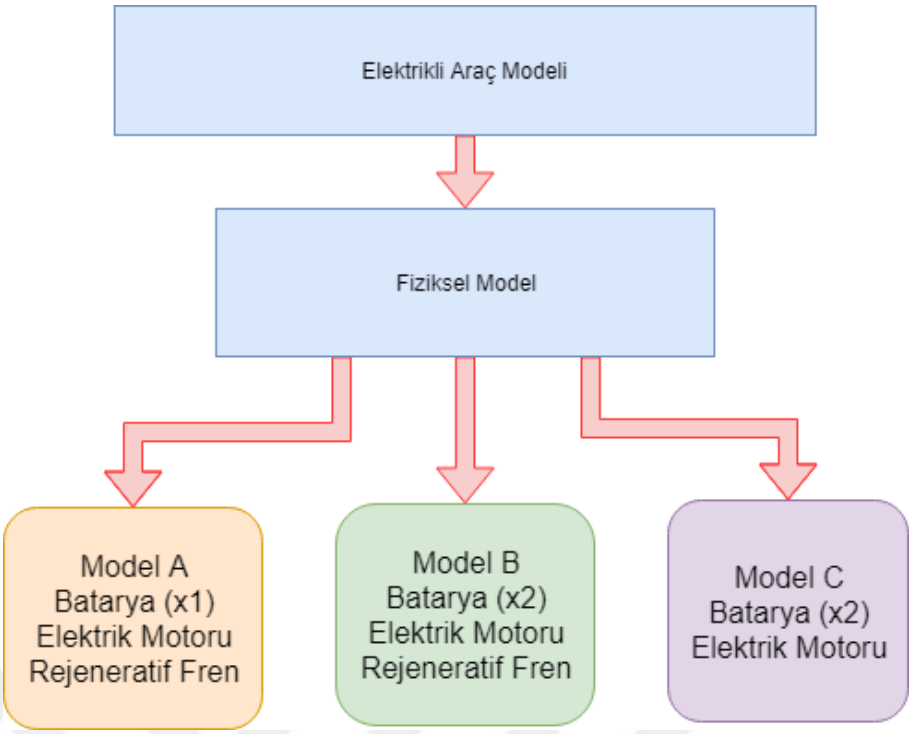
Şekil 2.8'de araca ait yakıt tüketimi değerleri gösterilmiştir. Mavi data referans datanın yakıt tüketimini gösterirken kırmızı data simülasyon sonucunu ifade eder.Simülasyon sonucu 88km'lik rotada harcanan yakıt 9,12 litre çıkarken referans datada ölçülen değer 9.82 litredir.Simülasyon değerinin yakıt tüketimine %93 oranında yakınsadığı görülmektedir. Aradaki fark 0,7 litre olarak hesaplanmıştır.

2.1.9 Elektrikli Araç Modellenmesi

Tezin hedefi bir elektrikli araç modeli geliştirilmesinin yanısıra verimli ve kullanıma uygun bir araç modeli ortaya çıkarmasıdır. Hedeflenen optimize bir araç modelinin elde edilmesi için birden fazla model opsiyonu gerçekleştirerek sonuçlarının karşılaştırılarak optimum modelin seçilmesi veCO_2emisyonlarının karşılaştırması hedeflenmiştir. Böylelikle oluşturulan modelin dizel araçlara göre avantajları temiz mobilite için dönüşümün gerekliliğine vurgu yapacaktır.

Günümüz elektrikli araçlarının güncel sorunlarından biri de dizel kadar hızlı ve kullanılabilir bir enerji kaynağını bünyelerinde bulunduramalarıdır. Lityum-iyon aküler, günümüzde giderek daha önemli bir parçası haline gelerek taşınabilir elektronik cihazlarda ve birçok alanda her yerde yaygınlaşmaktadır. Ayrıca, çevre ile mücadele için elektrikli araçların geliştirilmesi zorluklar, lityum iyon akülere emsali görülmemiş bir talep. Ancak, hibrit ve elektrik gibi otomotiv uygulamalarında araçlar, büyük çapta ticarileştirme ihtiyaç nedeniyle engellendi Ödün vermeden daha düşük maliyetlerle daha yüksek enerji yoğunluğu hücreleri için güç yoğunluğuGünümüz batarya teknolojisinin henüz istenen noktaya varmamış olması hem araçların menzili için kısıtlayıcı başlıca faktör olarak görülmektedir [26]. Aynı zamanda menzili artırmak için yapılan batarya pakedinin büyütülmesi hem toplu taşıma için hacim kaybına sebep olurken bir taraftan aracın ağırlığının artmasına sebep olup aracın verimliliğini düşürmektedir.

Bu sebeple araç için üç ayrı güç grubu konsepti geliştirilmesi ve farklarının karşılaştırılması planlanmıştır. Karşılaştırma için modellenen dizel modelinde olduğu gibi aracın fiziksel özellikleri referans olarak alınacak ve arkasından araçların farklı konfigürasyonları denenecektir. Modellenecek araç varyasyonlarına ait akış şeması Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Modeller için seçilen komponentler ve bunların modellenmesi detaylandırılacaktır.



Şekil 2.9 Oluşturulacak Elektrikli Araç Varyantları

Batarya Seçimi

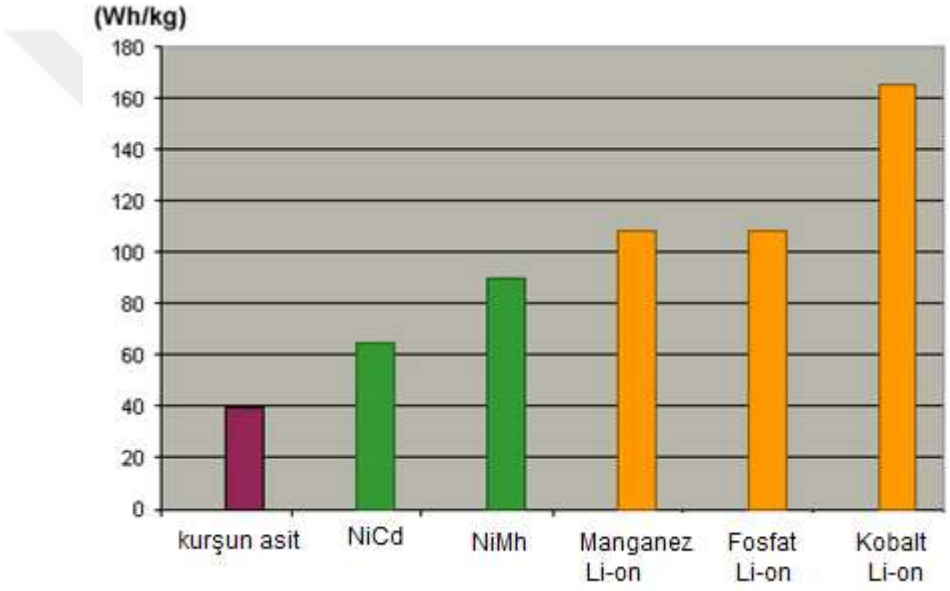
Bataryanın günümüz elektrikli araçların en büyük sorunu olduğu oldukça bilinmektedir. Batarya teknolojisi günümüzde hemen hemen her elektrikli alette bulunan ve özellikle bilgisayar ve telefon gibi günlük hayatta yanımızdan ayırmadığımız cihazların da vazgeçilmezi olarak görülüyor.

Batarya teknolojisi belli noktalarda eksik görülen birçok noktası var olsa da batarya teknolojisinin kullanım amacına göre geliştirilmesi tüketicinin ihtiyaçları dahilinde gelişir.Bu anlamda bir elektrikli aracın ağırlık parametresi oldukça önemliyken bir akıllı telefonda batarya maliyetlerinin düşürülmesi daha ön plana çıkar .

Bir elektrikli araç için seçilecek bataryanın aracın iki şarj süresi arasında ihtiyacı olduğu enerjiyi sağlayabilecek kapasitede olması ve bunun yanısıra araca kütle olarak enerji tüketimini çoğaltacak bir etki yapmaması hedeflenir. Batarya seçiminde çeşitli özellikler ve alternatiflerin nasıl değerlendirildiği kısaca anlatılacaktır.

Enerji ve Güç Yoğunluğu

Basit bir şekilde enerji yoğunluğu aracın bir kg batarya içerisinde taşıyabildiği enerji olarak ifade edilir ve birimi kWh/kg'tır. Bu parametrenin araç ağırlığı üzerindeki etkisi düşünüldüğünde güç yoğunluğunun mümkün olan en üst mertebede olan bataryanın seçiminin mantıklı olduğu görülmektedir. Şekil 2.10'da kullanımı sık olan bataryaların enerji yoğunlukları gösterilmiştir. Buradan yorumla çeşitli bileşimde bataryalar arasıda lityum-ion bataryaların kurşun asit, nikel-kadmiyum ve nikel-metal hibrit arasındaki üstünlüğü net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.10 Sıkça kullanılan bataryaların enerji yoğunlukluları

Bunun yanısıra güç yoğunluğu da özellikle batarya seçimi için oldukça önemli bir parametredir. Güç Yoğunluğu (W / kg), bir pilin istek üzerine ne kadar güç sağlayabileceğini gösterir. Odak noktası, çalışma süresi yerine ağır çelikten delik açma gibi güç patlamalarıdır. Manganez ve fosfat bazlı lityum-iyon ve nikel bazlı kimyasallar en iyi performans gösterenler arasındadır. Elektrikli aletler, tıbbi cihazlar ve taşıma sistemleri için yüksek güç yoğunluğuna sahip piller kullanılır. Enerji ve güç yoğunlukları arasında bir benzetme bir su şişesi ile yapılabilir. Şişenin boyutu enerji yoğunluğudur, açıklık ise güç yoğunluğunu belirtir. Büyük bir şişe çok

fazla su taşıyabilirken büyük bir delik hızlıca gözenek alabilir. Geniş ağızlı büyük kap en iyi kombinasyondur [27].

Batarya enerjinizin yüksek olmasının yanısıra aracın istenilen gücü sağlayabilmesi aracın en önemli özelliklerinden biridir. İstanbul gibi bir yol koşullarında hafif bir bataryanın taşınması mantıklı görünürken aracın tam yüke yakın bir durumda eğimli bir yolu tırmanamaması bataryadan gerekli gücü alamamasının sonucu olabilir ve bu da entegrasyonun en belirleyici özelliklerinden biri haline getirir.

Batarya Seçiminde Kriterler

Enerji ve güç yoğunluğunun aracın performansı ve rotasını tamamlaması için öneminin batarya için en önemli parametreler olduğu kabul edilmiştir. Bunun yanısıra araçların ortalama ömrü göz önüne alındığında performansı yüksek ama sürdürülebilirliği mümkün olmayan bir seçimin gerçekçiliğinden bahsedilemez. Batarya seçiminde tüm üreticilerin fiziksel olarak baz aldığı parametreler şöyledir

- Batarya ömrü,
- Çalışma sıcaklıkları
- Şarj süreleri
- Çevreye zararları
- Bakım gerekliliği
- Verimliliği (deşarj oranı)

Tüm bu parametreler için sıkça kullanılan batarya türlşeriTablo 2.2'de incelenmiştir. Tüm türler göz önüne alınarak bir karşılaştırma yapıldığında gerekmemesi, kısa sarj süresi ve 0 derece civarında çalışması açısından enerji yoğunluğu oldukça yüksek olan lityum-ion bataryanın kullanılması mantıklı görülmüştür.

Aynı zamanda bataryaların paketlemelerinin hücre biçiminde olması araçların prototipleri üzerinde ihtiyaca göre miktarının güncellenmesi ya da aynı araç tipinin farklı yerlerde ve farklı amaçla kullanılmasına yönelik batarya optimizasyonunun yapılmasına olanak sağlar.

Tablo 2.2 Sıkça tercih edilen bataryaların özellikleri

Özellikler	Kurşun Asit	NiCd	NiMH	Li-ion		
				kobalt	Manganez	Fosfat
Spesifik Enerji Yoğunluğu(Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Hızlı Şarj Süresi	8-16sa	1sa	2-4sa	2-4sa	1sa veya daha az	1sa veya daha az
Batarya Ömrü (80% deşarj)	200-300	1000	300-500	500-1,000	500-1,000	1,000-2,000
Aylık deşarj yüzdesi (oda sıc)	5%	20%	30%	<10%		
Şarj Sıcaklığı Temperature	-20 to 50°C	0 to 45°C		0 to 45°C		
Bakım Gerekliliği	3-6 ay	30-60 gün	60-90 gün	Gerekli değil		
Zehirlilik	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Düşük		

Bu sebeple batarya türünün lityum-ion olmasına karar verilmiştir. Bunun yanısıra spesifik özellikleri gün içerisinde yol aldığı kilometre ve enerji ihtiyacına göre şekillendirilecektir. Metodolojide bahsedildiği üzere aracın entegrasyonu sırasında menzili daha yüksek aracın denenmesi hem aracın kullanım süresini artıracak hem de yüksek enerji yoğunluğuyla verimi yükseltecektir.

Elektrik Motoru Seçimi

Elektrik motorları, elektrikle güçlendirilmiş ve hızlandırılmış elektrikle hareketlilik eğilimi ile yükselir. Yüksek verimlilik oranları, daha az maliyetle üretilebilmeleri, hafif ve basit yapıya sahip olmaları sayesinde içten yanmalı motorlara göre hızla yükselen bir alternatif haline gelmeye başlamıştır.

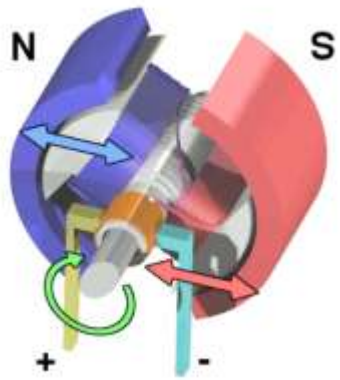
Otomotiv endüstrisinde, elektrikli taşıt hareketlerini geliştirmek için büyük taşıt şirketleri tarafından tercih edilen 3 tip motor kullanılmaktdır.

Bunlar asenkron motor , sabit mıknatıslı motor ve asenkron redüksiyon motorlarıdır. Tıpkı batarya gibi elektrikli motorlarının doğru özelliğinin seçilmesi oldukça büyük bir zorluktur. Seçilecek opsiyonun göze aldığı parametreler fiziksel boyutları ağırlık ve maliyetleri, tork ve hız gibi fiziksel parametreler gibi birçok değişkenden oluşmaktadır. Kısaca motor tipleri ve çalışma prensiplerinden bahsedilerek motorun ne sebeple seçildiği açıklanacaktır.

Başlıca Elektrik Motorları

Fırçalı DC Motor

Çalışma mantığı elektrikte oldukça sık kullanılan el kurallarına dayanır. Elektrik akımı için bilinen kural gibi, elektrik motoru için sol el kuralı kullanılır. Şekil 2.12'de görülen rotor ve stator olmak üzere iki bileşenden oluşur.



Şekil 2.11 Fırçalı DC motor Yapısı

Stator, statik olan mıknatıslardan meydana gelmiştir. Rotor ise akımla manyetik alan oluşturabilen eletrik bobinlerden oluşur. Bobinler DC akımı ileverildiğinde armatürün etrafında manyetik alana neden olur. Armatürün kuzey tarafı mıknatıslar tarafından itilir ve bu kuvvet dönmeye neden olduğu için tork oluşturur. Armatür yatay konumda dönme torku sıfır olduğunda, gücü devam ettirmek için armatürün akımı başka bir yönde ters çevrilir. manyetik alana neden olur ve armatür tekrar dönmeye devam eder.

Bu döngü işlem sırasında devam eder ve dönme momentini elektrik enerjisinden sağlar. Elektrik enerjisinden mekanik enerji üreten temel elektrik motorunun uygulanabilir bir tasarım sayılabilir ancak komütatör kullanılan fırçalar gibi dezavantajı yapısında bulunan fırçalar nedeniyle bakım gerektirmesidir. Aynı zamanda diğer alternatiflere göre verimi oldukça düşüktür ve çalışma sırasında kıvılcım ortaya çıkabilir.

Bu anlamda hem verim açısından hem de meydana getirdiği kıvılcımların sebep olabileceği tehlikeli sonuçlar sebebiyle günümüzde elektrik motorları için uygun bir alternatif olmamıştır.

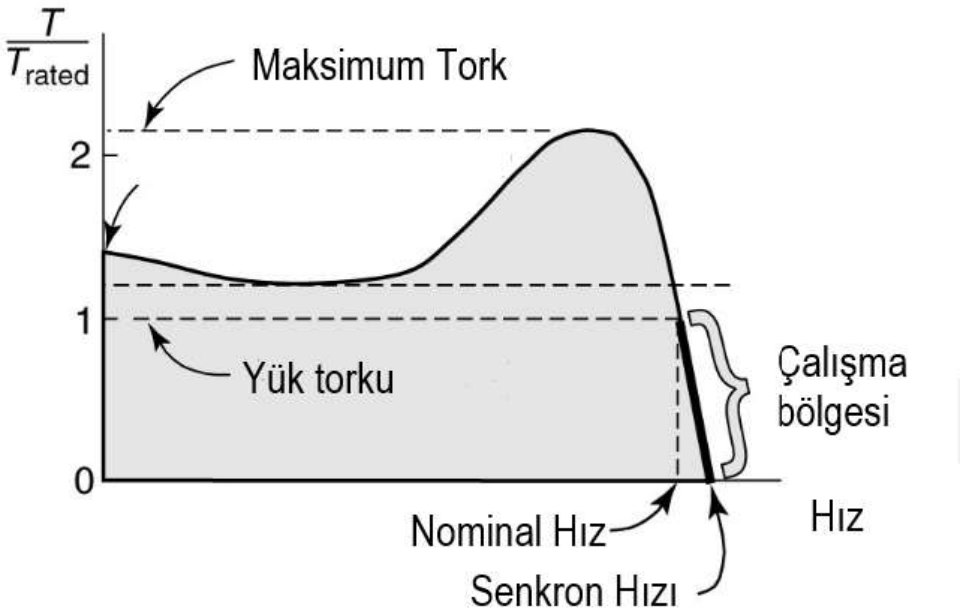
İndüksiyon Motoru

Nicola Tesla tarafından icat edilen AC indüksiyon motoru, elektrikli araçlar için bilinen en iyi alternatiflerden biridir. Bu motorun içinde mıknatıs yoktur, dolayısıyla manyetik alan stator sargılarına uygulanan alternatif akımla elde edilir.Bu akım elektromanyetik bir alan oluşturur ve rotoru döndürür.Böylelikle elektrik enerjisinden tork elde edilir. Yapısı itibaritle mıknatıs bulundurmaması ve basit yapıya sahip olması ve yüksek verimle açısından oldukça kullanılan bir alternatiftir.

Asenkron motorlarda mekanizma oldukça basittir. Sabit kısım olarak adlandırılan Stator, üç fazlı AC akımla çalışan birçok sargıya sahiptir. DC akımdan farklı olarak AC akım yönü sık sık değişir, böylece manyetik alan değişir ve kendi ekseni etrafında döner. Bu dinamik manyetik alan rotorda bir endüksiyon akımı üretir.

Rotor, motorun merkezinde bulunur ve değişen manyetik alanla etki eder ve rotorda bir akım oluşturur. Faraday'ın yasasına göre, eğer mevcut ve manyetik bir alan varsa, rotoru döndüren bir kuvvet oluştururFaraday'ın yasasına göre, bu sık sık değişen akım, rotoru sürekli dönen elektromanyetik bir güç üretir. Dönen hız, sağlanan AC akım frekansını değiştirerek kolayca kontrol edilebilir.

Motor sürücüsüyle kolayca kontrol edilebilir.Dezavantajları ise enerjinin bir kısmını ısı olarak kaybetmesi, tork ve hız bölgelerinin içten yanmalı motora benzer bir eğim izlemesi ve kütle olarak ağır olmasıdır. Motorun çalışma eğrisi Şekil 1.13'te görülebilir [28].



Şekil 2.12 Asenkron motorun Tork eğrisi

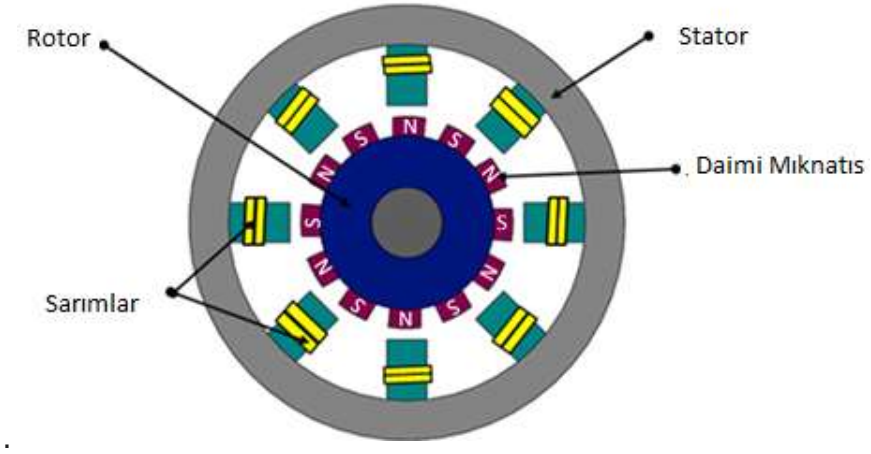
Görüldüğü üzere motorun farklı tork bölgelerine çıkmasına rağmen stabil bir performans sergileyemediğinden çalışma noktası maksimum torkun oldukça altında kalmaktadır. Sadece şu grafiğe bakıldığında bile efekfif gücün azlığı ve verimin düşüklüğünden bahsedilebilir. Sanayide oldukça tercih ve rahat kontrol edilen bu tip motorun veriminin sınırlı kalması tercih edilebilecek bir tür olarak görülmemektedir.

Daimi Mıknatıslı Motor

Özellikle son yıllarda sürekli mıknatıslı (genellikle PM olarak adlandırılan) motor, EV uygulamalarında oldukça fazla tercih edilmektedir. En büyük kârlardan biri şüphesiz operasyon kabiliyetidir. Düşük hızlarda yüksek tork sağlayabilir, bu da yüksek maliyet ne olursa olsun araçlar için en çok vurgulanan özelliktir. BMW i3, Tesla Model 3 ve Semi-Truck tork gibi piyasada iyi kabul görmüş EV araçları ve güç dağıtımı elektrik motoru tipinin kararını verir.

Çalışma Prensibi

Çevreleyen motor mıknatısları, Şekil 2.14'te gösterildiği gibi kuzey ve Güney kutuplarında rotorlara yerleştirilmiştir. Şekil 2.14'te gösterildiği gibi rotorun üzerinde yer almaktadırlar ve her kutup birbirinin karşısındadır, bu manyetik kuvvetler motorun merkezinde dengelenir.



Şekil 2.13 Daimi Mıknatıslı Motorun Yapısı

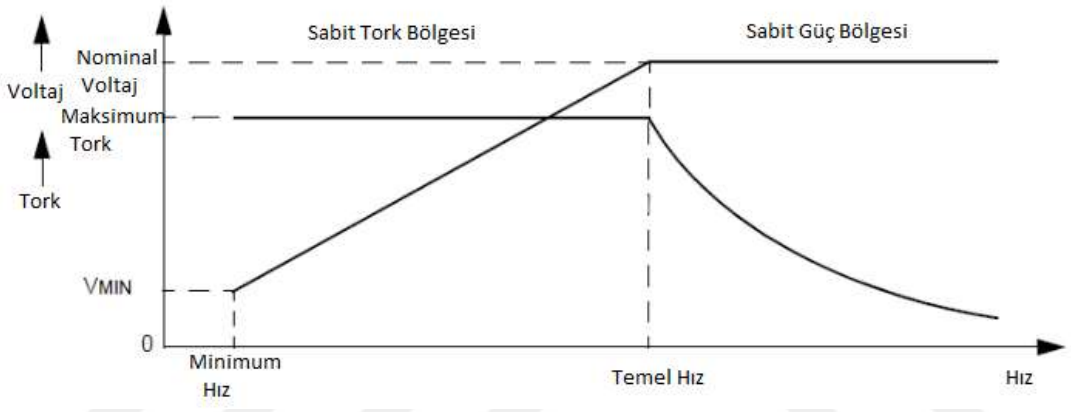
Stator, manyetik alandan etkilenen göbek ve sargılardan oluşur. Muhtemelen brus DC motorda Manyetik alan mıknatıslar tarafından üretilir ve sargıları etkiler. Çalışma prensibi, Fleming'in sol el kuralına dayanmaktadır. Akım taşıyan bir iletken ne zaman manyetik bir alana girerse, iletken üzerinde etkili bir güç olacaktır. Bu gücün yönü, Fleming'in Sol El Kuralı kullanılarak bulunabilir. [30]Bu kuvvet, armatürü döndürür ve bu kuvvet, motor milinde tork olarak dönüşür.

Manyetik çekim veya itme, iki manyetik alanın etkileşimi nedeniyle kalıcı bir mıknatıs ve bir elektromıknatıs arasında etki eder. Akım manyetik alandaki bir iletkenden geçerse, manyetik kuvvetin yönü Fleming'in sol kanunları tarafından verilir ve kuvvet yönü, sağ taraftaki vida yönü kuralı tarafından verilen sağ taraftaki vida yönüdür. Akı, bobinden geçen akım tarafından üretilir, böylece motorun torku, mıknatıs ve bobin akısı tarafından üretilir ve bu torkun yönü, üst üste binen iki akının yönüdür. Kalıcı mıknatıslar tarafından tork dikkate alınarak, kalıcı mıknatıs motorun torku için formül [31]olarak yazılabilir.

$$Tork = motor\ sabiti\ \times motor\ akımı \times \cos(akım\ değişim\ açısı) \quad (2.10)$$

Daimi mıknatıslı motor diğer alternatiflere göre oldukça hafif ve kompakt bir yaoıdadır. Dıştan rotorlu dış ray mekanizması sayesinde düşük hızlarda daha yüksek tork üretebilir. Farklı hızlarda çalışabiliyor olması güç aktarma organlarında şanzıman kullanımı gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Bahsedilebilecek tek dezavantajı diğer motorlara göre maliyetinin yüksek olmasıdır. Motorun sınırlı sayıda araç için kullanılacağı göz önüne alındığında ve sürdürülebilirliği sağlandığında aracın yakıt masrafının artısı bu faktörü kompanze edebilir.

Motorun tork ve hız grafiği Şekil 2.15'te gösterilmiştir. [32]



Şekil 2.14 Tipik bir mıknatıslı motorun tork hız grafiği

Tıpkı batarya seçiminde bahsedildiği gibi toplanan rotanın araca beslenmesi üzerine gereklilikler üzerinde motor seçimi yapılacaktır.

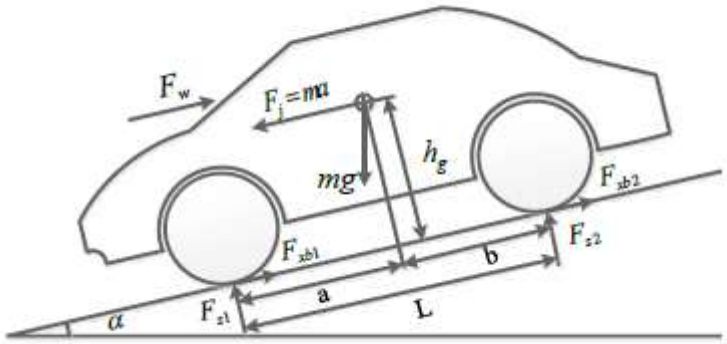
Rejeneratif Fren

Araç entegrasyonu sırasında izlenen şehir içi trafiğin içten yanmalı motorlar üzerindeki en büyük dezavantajı motorun rölantideki enerji kaybı ve aynı zamanda dur-kalk arasında hareket için harcadığı tüm enerjiyi frenleme sırasında absorbe ederek ısıya dönüştürmesidir. Bu hız profilinin dengesizliği enerji tüketimi açısından oldukça verimsiz bir davranış sergilemektedir.

Bu anlamda elektrikli aracın en büyük avantajlarından biri de rejeneratif frenle kaybedilen enerjinin geri kazanılması olarak kabul edilmektedir. Burada

kullanılacak sistemin nasıl çalıştığından ve kaybedilen enerjinin geri kazanımından kısaca bahsedilmektedir.

Rejeneratif fren kavramından bahsetmeden önce kısaca frenleme için gerekli enerji yol dirençleri ihmal edilerek,Şekil 2.16'da gösterilmiştir [33]. Şekilde F_w'nin rüzgar kuvveti, F_j'nin eylemsizlik F'_{xb1}in ön , F'_{xb2}nin de arka tekerlerdeki kuvveti olarak görülmektedir. Toplamda aracın durması için gerekli kuvvet şu şekilde ifade edilebilir [33]



Şekil 2.15 Aracın Frenleme Esnasında Kinematik Analizi

$$F_{xb} = F_{xb1} + F_{xb2} = mg(z_a + \sin\alpha) \qquad (2.11)$$

Denklem içerisindeki $\sin\alpha$ eğimin düşey bileşeni olarak ifade edilirken $z_a$frenleme yoğunluğu olarak gösterilmiştir.Yer üzerindeki toplam frenleme kuvveti şu şekilde ifade edilebilir

$$F_{xb} = \varphi mg\cos\alpha \qquad (2.12)$$

Frenleme denkleminde φ olarak ifade edilen yüzeye yapışma katsayısı olarak isimlendirilir ve aslen yüzeyin sürtünme katsayısıdır. Arka ve ön frenleme için toplam olarak ifade edilen bu denklem şekil 2.15'te gösterilen ölçüler dahilinde ifade edilebilir. Aynı zamanda Şekil 2.15 referans alınarak ön (F_{u1}) ve arka(F_{u2}) akslardaki fren kuvvetleri şu şekilde ifade edilebilir. [33]

$$F_{u1} + F_{u2} = \varphi mg\cos\alpha \qquad (2.13)$$

$$F_{u1} = \varphi F_{z1} = \frac{G(b\cos\alpha + zh_g)}{L} \quad (2.14)$$

$$F_{u2} = \varphi F_{z2} = \frac{G(a\cos\alpha - zh_g)}{L} \quad (2.15)$$

Araçların yönel stabilitesi ve fren verimliliğinin yeterliliğinin sağlanması için Avrupa Birliği Ekonomi Komisyonu tarafından ön ve arka frenler üzerinde frenleme kuvvetinin dağılımını belirleyecek ECE R13 regülasyonları öne sürülmüştür. [33]

Frenleme kuvvetinin dağılımı için fren yoğunluğu (braking intensity) z ve dinamik dağılım katsayısı β belirleyici faktör olarak kullanılır. Fren yoğunluğu ,Şekil 2.15'teki gösterim şekliyle $z = a/g$ olarak ifade edilir. Bu durumda β katsayısı z 0.1 ve 0.61 değerleri arasında olduğunda şu formülasyonlarla belirlenir. [33]

$$\beta \leq \frac{(z+0.07)}{0.85} \times \frac{b\cos\alpha}{zL} \qquad (0.1 \leq z \leq 0.61)$$

$$\beta \leq 1 - \frac{(z+0.07)}{0.85} \times \frac{a\cos\alpha - zh_g}{zL} \qquad (0.1 \leq z \leq 0.61)$$

$$\beta > \frac{(b\cos a + zh_g)}{L\cos\alpha} \qquad (0.1 \leq z \leq 0.61) \quad (2.16)$$

Frenleme dağılımı faktörü β rejeneratif frenin bulunduğu konuma göre geri kazanılabilir enerjiyi bulması için kullanılır. Rejeneratif fren bu konumda aracın çekişin gerçekleştiği aks üzerinde bulunur. Ön ve arka aks üzerinde oluşan frenleme kuvvetlerinin tamamı ECE regülasyonlarına göre şu denklemden elde edilebilir.

$$F_{u2} = \frac{1}{2}\left[\sqrt{(b\cos\alpha + 0.07h_g)^2 - 4h_g\left(0.007b\cos\alpha - \frac{0.85L}{G}F_{u1}\right)} - \frac{G}{h_g}(b\cos\alpha + 0.07h_g + 2F_{u1}\right] \quad (2.17)$$

Açıklanan tüm formülasyonlar aracın ağırlık merkezi üzerinden frenleme kuvvetini bulmak için kullanılabilecek matematiksel ifadelerdir. AVL Cruise içerisinde bu modeller formülasyon olarak eklemebilir.Diğer bir yol da literatür araştırmalarında benzer araçlardaki geri dönüşüm enerjisinin yüzdesini alarak geri kazandığı enerjiyi bulmaktır. Literatür araştırmalarında [21]da bahsedildiği gibi geri kazanılan enerji %30dan %78'a kadar farklı araç konfigürasyonlarında değişmektedir.

Aynı zamanda rejeneratif fren verimliliğine dair yapılan çalışmalar verimliliğin ortam sıcaklığına bağlı olarak batarya verimliliğinin de bir sonucu olarak değişmektedir. Özellikle verimliliğin aşırı sıcak ve soğuk iklimlerde oldukça düştüğü, fakar ılıman iklimlerde daha efektif çalıştığı belirtilmiştir. [21] İstanbul için benzer koşullar değerlendirildiğinde kışın aşırı soğuk ve yazın aşırı sıcak gün görme oranı yaklaşık olarak maksimum süreyi kapsar bu da %8.5luk yüzdeye denk gelir. Geriye kalan sürelerde enerji kazanımını iyi gerçekleştirdiği göz önüne alınırsa konsept için verimliliği artıran kritik komponentlerden biri olduğu söylenebilir.

Daha önceden de bahsedildiği gibi aracın fiziksel özellikleri tıpkı dizel motor modelinde belirlendiği şekilde kullanılacaktı. Bu sebeple aracın gövdesi, tekerleri, üzerindeki frenler ve aracın tork istekleri aynı şekilde tutulacaktır. Bunun için başta belirtildiği gibi referans datanın sürüş esnasında gittiği noktaları operasyon noktaları içinde tutacak bir motor seçilmesi gerekir.

Elektrik motorunun seçilirken kullanılması gereken iki parametre maksimum tork ve maksimum motor hızı değerleridir. Maksimum torkun üzerinde seçilen bir motorun çıkabileceği motor hızının dizel motordan oldukça fazla olduğu ve tam yük eğrisinin polinomal bir eğri çizmediği bilindiğinden seçilen elektrik motorunun uyum sağlayacağı öngörülmektedir.

Elektrik motoru başka bir tasarım olmayacağından elektrikli araçların tedarikçileri üzerinde arama yapıldığında bir tasarımda kullanılacak spesifikasyonların aynı olması sebebiyle elektrik motorunun boyutu, ağırlığı ve gereksinimleriyle ilgili detaylı bilgiye ulaşmak mümkündür. Model için seçilen elektrik motoru da benzer şekilde bulunmuştur.

Bunun yanısıra motorun istediği güç ve voltaj değerlerinin batarya tarafından karşılanması gerekmektedir. Aksi kalde gerekli gücü sağlayamayan motorun tam yük eğrisine ulaşması ve bu rotalar için uygun olması beklenemez. Tablo 9 araca uygun seçilen elektrik motorunun özelliklerini göstermektedir

.

Tablo 2.3 Seçilen Motorun Özellikleri

Maksimum güç (KW)	150
Sürekli güç (KW)	90
Operasyon hızı (RPM)	0-11000
Operasyon Voltajı	400V
Sürekli Tork (NM)	230
Maksimum Tork (NM)	360

Batarya seçimi için iki opsiyon incelenmiştir. Öncelikle pazarda benzer amaçlar için üretilmiş ya da elektrifikasyon yapılmış araçlar araştırılmıştır. Bunun yanısıra dizel araç simülasyonundan elde edilecek enerji tüketimi de doğru bir yaklaşım sayılabilir, fakat batarya kapasitelerinin belirlenmesi için benzer amaçlarda kullanılan araçların iki ayrı batarya pakedine ait araç için referans alınması daha mantıklı sayılabilir.

Binek araç olarak kullanılan full elektrikli araçların batarya kapasitesi literatürlerde de referans alınan Nissan Leaf için ilk etapla 44kWh, yeni modellerinde 60kWh olarak güncellenmiştir. Hafif ticari araç olarak verilebilecek örneklerden e-NV200 40kWh olarak tasarlanmıştır. Maksimum menzil için örnek olarak gösterebilecek diğer bir araç Tesla Model S 60kWh ve 85 kWh olarak iki varyant olarak tasarlanmıştır. Örnekler göz önüne alındığında batarya kapasitelerinin 44-85kWh olarak değiştiği söylenebilir.

Üretilen elektrikli araçlara bakıldığında aracın şehir içi ve şehir dışı için farklı menzil değerlerinden bahsedilir, fakat tasarlanacak araç konseptinin sürüş karakteristiği ve batarya kullanım oranı bilindiğinde menzil için oldukça gerçekçi sonuçlar elde etmek mümkündür.

Metodolojide belirtildiği gibi araçlar için iki ayrı batarya pakedine ait iki araç seçilmesi öngörülmüştür. Bu noktada araçların enerji tüketimine en büyük fark batarya pakedinin ağırlığından gelmektedir. Bu noktada batarya ağırlığı her bir paket için şu formülasyonla hesaplanmıştır:

$$M_{batarya}(kg) = \frac{Batarya\ Kapasitesi(Wh)}{Enerji\ Yoğunluğu\ (\frac{Wh}{kg})} \quad (2.18)$$

Lityum-ion bataryaların genel enerji yoğunluğu baz alınarak değer 150Wh/kg olarak alınmış ve 45kWh için 300kg, 85kWh için 566kg batarya yükü elde edilmiştir.

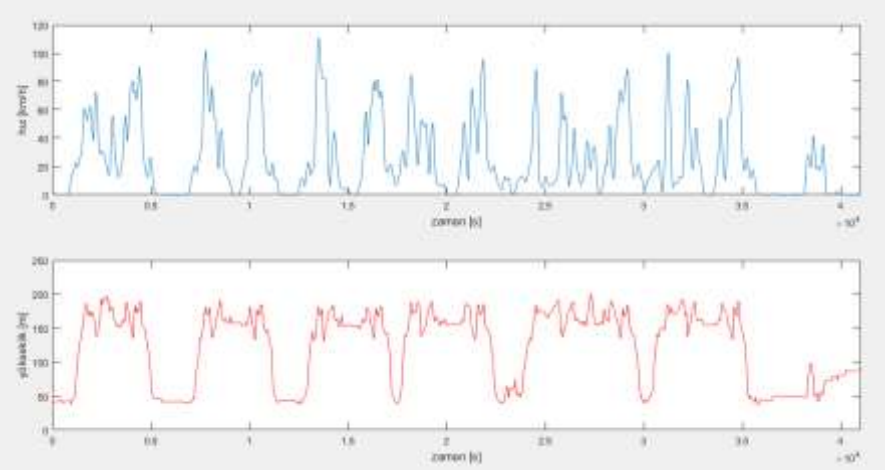
Bunların araç ağırlığına yük olarak eklenmesi enerji tüketimi açısından farklılık sağlayacaktır. Bu noktada rejeneratif frenin bir batarya paketiyle daha karşılaştırılması amacıyla oluşturulan model varyantları Tablo 2.1.10.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Elektrikli Araç Varyantlarının Fiziksel Özellikleri

	Araç A	**Araç B**	**Araç C**
Ağırlık	1800kg	1800kg	1800kg
Elektrik Motoru	120kW -PMSM	120kW -PMSM	120kW -PMSM
Projeksiyon Alanı	2,52 m^2	2,52 m^2	2,52 m^2
Lastik Boyutu	195/55 R16	195/55 R16	195/55 R16
Rejeneratif Fren	Var	Yok	Var
Batarya Kapasitesi	45kWh	85kWh	85kWh
Batarya Ağırlığı *	300kg	566kg	566kg

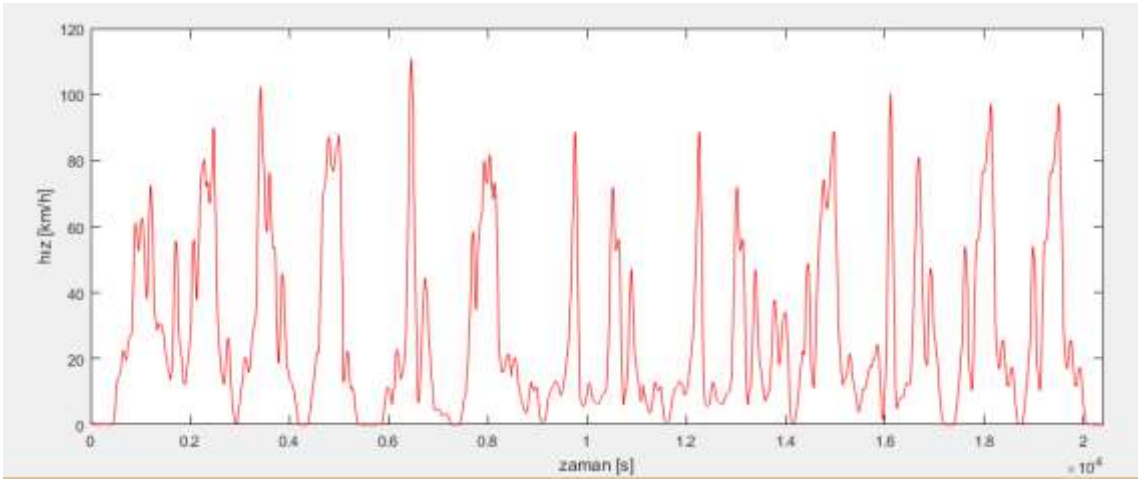
2.1.10. Yol Datasının Belirlenmesi

Gerçekçi bir simülasyon için bir dolmuşun tüm gününe ait hız ve yükseklik datası kullanılmıştır. Alınan kayıt araca ait kesintisiz tüm günün datasıdır, bu sebeple yol datasının motorun çalıştığı zamanlara göre düzenlenmesi gerekmektedir. Toplanan yol datasının 13.5 saatine ait hız ve yükseklik profili şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Dolmuş hattının Hız ve Yükseklik profili

Modellerin önemli parametrelerinden biri de aracın şarj ihtiyacı duymadan sürüş sağlayabileceği yolu hesaplamak oluğu için bekleme süreleri datadan temizlenerek aynı çevrimi defalarda koştuğu kabul edilecek şekle çevrilerek simülasyon datası olarak kullanılmıştır. Datanın tek bir çevrim haline getirilmiş hız profili şekil Şekil 2.17'de gözükmektedir

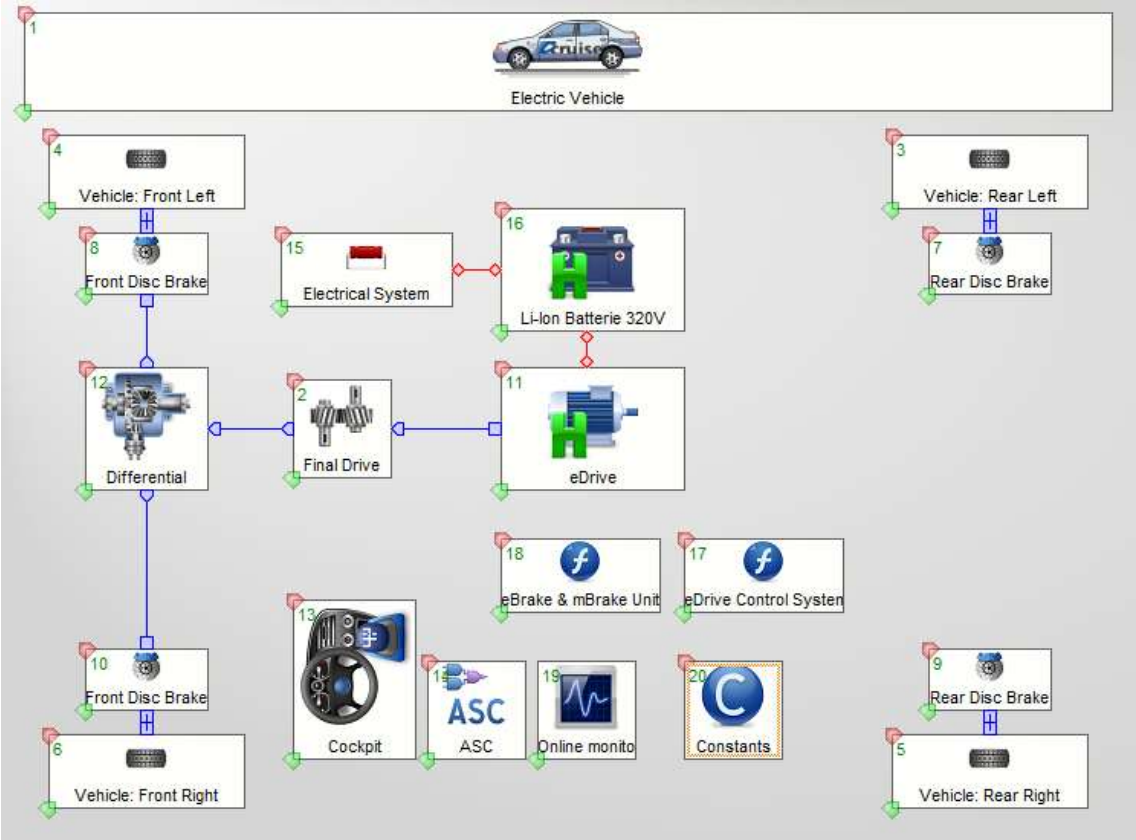


Şekil 2.17 Birleştirilmiş Simülasyon Hız Profili

2.1.11 A Aracı Modeli

A aracı rejeneratif frenin içine entegre edildiği minimum batarya kapasitesinde bir elektrikli aracı ifade eder.Aracın rejeneratif fren sayesinde menzilinin artacağı düşünülmüş ve batarya pakedinin sarı dolmuş hattı için uygunluğu test edilmiştir. Araç için Tablo 2.4.'teki özellikler entegre edilmiştir.

Bu varyantta amaç yolculuk sırasınca araca uygulanacak direnç kuvvetleri için doğru motor-batarya ilişkisini yakalamaktır. Yol datasının yükseklik ve hız profili Modelin gösterimi ve girilen inputlar aşağıdaki gibidir:



Şekil 2.18 A Aracının Model Görünümü

Araç Modeli: Sürüş dirençleri,ağırlığı ve ağırlık merkezi, araç boyutları(iz genişliği, projeksiyon alanı vs)

Elektrik Motoru: Tam yük eğrisi,maksimum hız nominal voltaj, jeneratör modu eğrisi, verim haritası.

Batarya: Batarya kapasitesi, batarya hücresi (cell) sayısı, nominal voltaj, rölanti voltaj eğrisi

Diferansiyel: Verimlilik yüzdesi

Fren Diskleri: Disklerin yüzey alanı, sürtünme katsayısı, verimi

Tekerler: statik ve dinamik dönme yarıçapı, üzerine düşen yük, yuvarlanma katsayısı eğrisi

Kokpit: Gaz ve fren pedal eğrileri, maksimum frenleme basıncı

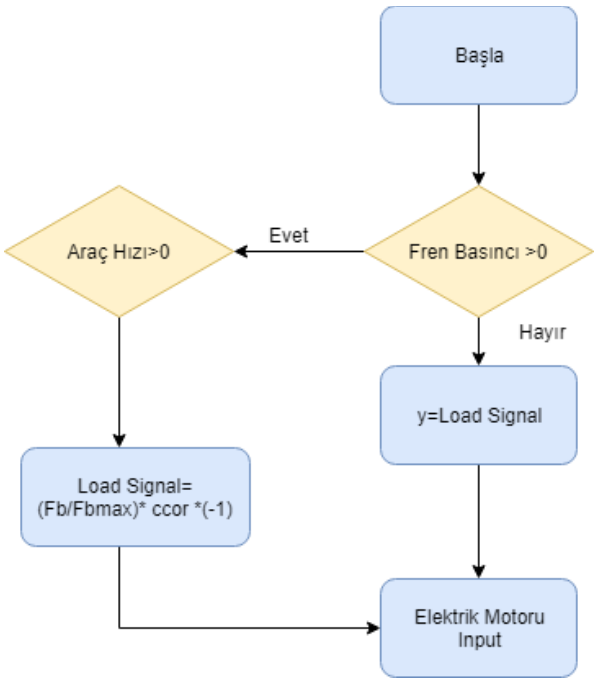
E-brake&M-brake: Frenleme kuvveti dağılım faktörleri, maksimum frenleme basıncı , son çevrim oranı (FDR)

Elektriksel sistem: Nominal Voltaj, voltaja bağlı direnç eğrisi

Modelin Rejeneratif Fren Entegrasyonu

Rejeneratif fren AVL Cruise içerisindeki bloklar yerine fonksiyon olarak modellenmiştir. Aracın frenlediği durumlardaki enerjinin geri kazanılması için rejeneratif fren bölümünde bahsedilen referansa göre ağırlık merkezi referans alınarak fren kuvvetleri dağılımı yapılmıştır. [18]

Frenleme kuvvetinin hesaplanması için "E-brake&M-brake" fonskiyonu kullanılmış ve elde edilen frenleme basıncı için ve rejeneratif frenin hesaplanması için kullanılan algoritma Şekil 2.19'da açıklanmıştır.



Şekil 2.19 Rejeneratif Fren Algoritması

Araç hızının azaldığı ve frenleme basıncının görüldüğü noktada elektrik motoru enerji vermez ve jeneratör modunda davranarak bataryayı besler, bu sebeple aracın torkunun negatif görüldüğü yerler rejeneratif freni ifade eder. Frenleme durumundaki $\boldsymbol{F_b}$ anlık frenleme basıncını, $\boldsymbol{F_{bmax}}$ ise maksimum frenleme basıncını ifade eder. İkisinin arasındaki oran motorun jeneratör olarak geri kazanacağı enerjiyi belirler.

2.1.12 B Aracı Modeli

B aracı modeli tıpkı A gibi temelde 90kW elektrik motoru, rejeneratif frenden oluşmaktadır. Tek farklılığı üzerindeki batarya pakedinin 85 kWh olarak büyütülmesiyle menzilin artışının sağlanmasıdır. Dolayısıyla aracın üzerine yük olarak eklenen batarya pakedi 566kg'a çıkmıştır.

Araçlara ait batarya pakedinin artışının ağırlık faktörü göz önüne alındığında aracın menzilinin benzer şekilde artacağı söylenemeyeceğinden pazarda bulunan maksimum kapasiteye sahip batarya pakedi seçilmiştir. Bu batarya pakedi için önemli bir farklılık da minivan tipi araç için tasarlanmış olmasıdır. Yaklaşık 45kWh pakedinin iki katı olan bu pakedin araca konumlanması yolcu araçlarından çok hafif ticari araçların alanının kısıtlanmasına sebep verecektir.

2.1.13 C Aracı Modeli

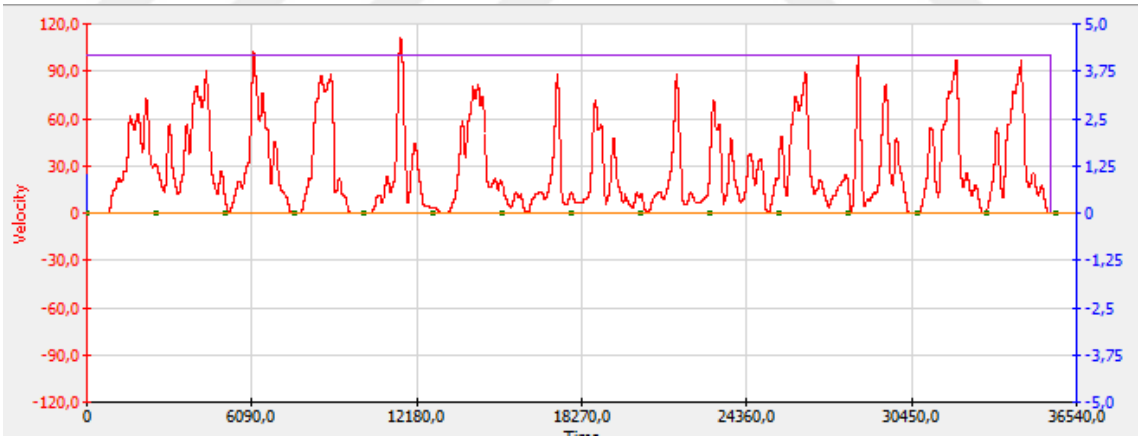
Tabloda gösterildiği gibi C modelinin amacı rejeneratif fren maliyet parametresinin bataryayla kompanze edilebilmesi ihtimalini görmektir. Bu sebeple araç modellerinden yüksek ikinci batarya paketi seçilerek 90kW motor için 85kWh kapasitede 556 kg ağırlıkta bir batarya yerleştirilmiştir. Bu sebeple aracın toplam ağırlığı 1800 kg bataryasız ağırlığına 566kg yük eklenerek simülasyon gerçekleştirilmiştir.

3
Sonuç ve Öneriler

Modellerin oluşumu ve çıkış noktası metodoloji kısmında detaylandırılmıştı, metodoloji kısmının önemli adımlarından biri farklı opsiyonlarda modellenen elektrikli araçların arasından rotalar için en uygun olanının seçilmesi ve son adım olarak planlanan $\boldsymbol{CO_2}$ emisyonu ve enerji tüketimi için uygun varyant olarak seçilmesidir.

Ardından optimum performansa sahip elektrikli araç, elektrifikasyonu planlanan dizel motorlu araçla karşılaştırılarak $\mathbf{CO_2}$ azaltımı ve enerji tüketimi hesaplanacaktır. Bunun için referans olarak seçilen yol datası Şekil 2.18'de gösterilen aracın sadece sürüş anlarını barındıran hız profilidir. AVL Cruise içerisine istenen hız profili şekil 3.1'de gösterildiği şekilde girilmiştir.

Bu toplam oluşturulan 4 model için de ortak olarak kullanılmıştır



Şekil 3.1 Modellerin simülasyonunda girilen hız profili

Bu sebeple araçlar için önemli birkaç parametre göz önüne alınması planlanmıştır.Bunlar şu şekildedir

- Aracın rotayı tamamlayabilmesi
- Enerji tüketimi (kWh/km)
- Toplam Enerji Tüketimi

- Komponentlerin Maliyeti

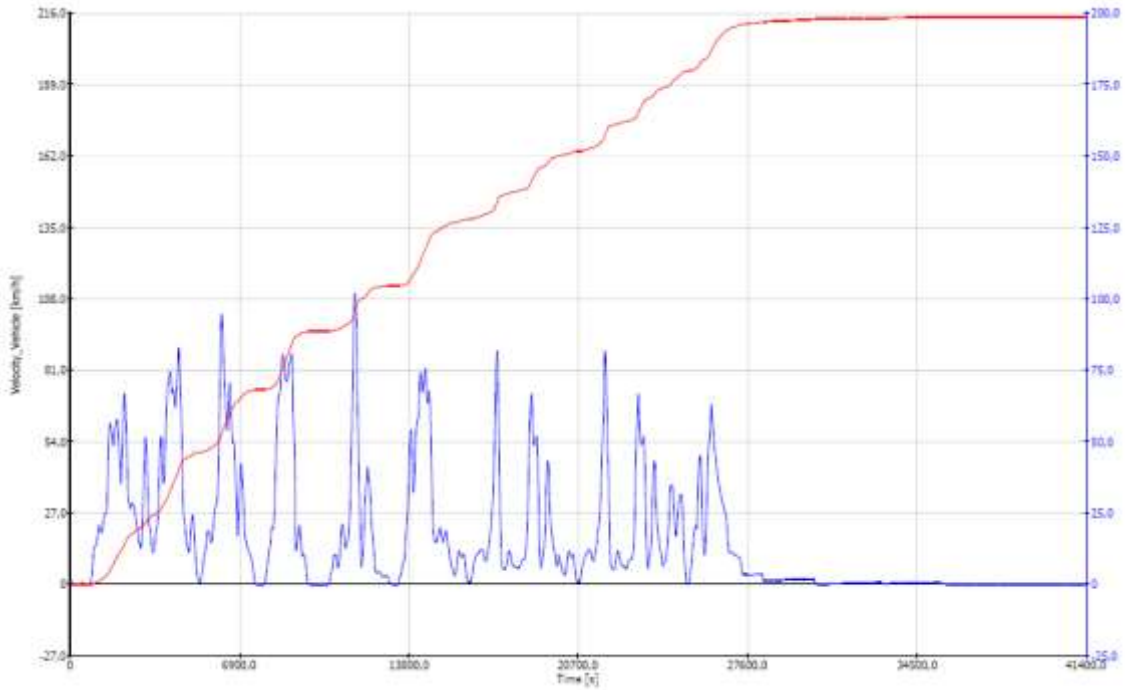
3.1 A Aracı Simülasyonu

A aracının Simülasyonu tablo 3.1'de gösterilmektedir. Bu varyanttaki amaç aracın tamamlayabileceği rota için ne kadar bataryaya ihtiyacı olduğunu belirlemektir. Bu sebeple Şekil 2.19'da gösterilen araç blok düzeninin tüm elektrikli araç konfigürasyonları için ortak olduğu söylenebilir. Rejeneratif frenin aktif ya da deaktif olması için rejeneratif fren algoritması bir anahtar yardımıyla aktive edilebilir ve isteğe göre input olarak belirlenebilir.

Tablo 3.1 A Aracı Özellikleri

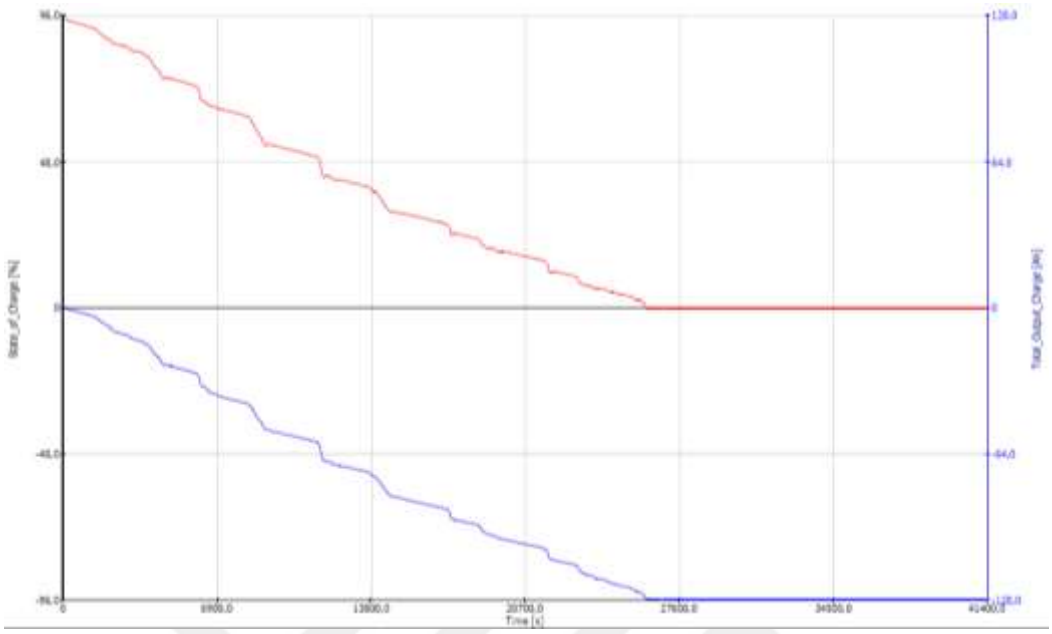
	Araç A
Ağırlık	1800kg
Elektrik Motoru	90kW
Projeksiyon Alanı	2,52 m^2
Lastik Boyutu	195/55 R16
Rejeneratif Fren	Var
Batarya Kapasitesi	45kWh
Batarya Ağırlığı *	300kg
Yolcu Yükü	800kg

Aracın hız profili ve katettiği mesafe Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Aracın 45kWh bataryayla 268km'lik rotanın tümünü tamamladığı görülmektedir.



Şekil 3.2 A Aracının hız ve katettiği mesafe

Seçilen bataryanın ağırlık faktörü göz önüne alındığında menzil ve batarya kapasitesi arasında doğru orantı kurulamadığı tahmin edilebilir. Bu sebeple B aracının daha farklı bir batarya kapasitesiyle simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Batarya kapasitesi ve harcadığı enerji için batarya çıktıları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

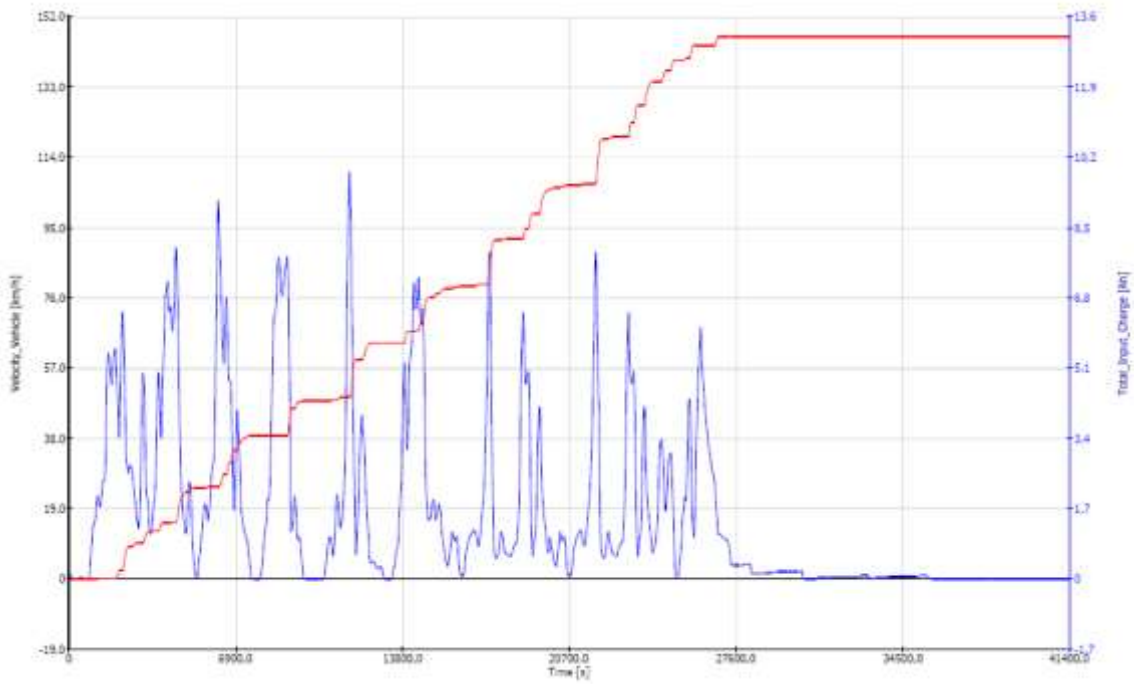


Şekil 3.3 A Aracı Bataryaya ait şarj yüzdesi ve harcadığı enerji gösterimi

Grafik incelendiğinde aracın batarya kapasitesinin çevrimi tamamlayamadığı görülmektedir.Aracın toplamda katettiği mesafe Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yaklaşık 198 kmlik rota tamamlanabilmiştir. Bu süreçte bataryanın harcadığı şarj ve enerji negatif olarak çizilmiştir. Toplamda aracın enerji tüketimi 50,8 kWh (127,5 Ah) olarak hesaplanmıştır.

Hareket boyunca harcanan enerjinin bulunması için bataryadan çıkan enerjinin yanısıra rejeneratif frenle geri kazanılan enerjinin de incelenmesi modelin enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir.

Rejeneratif frenin katkısı bataryanın geri kazandığı enerji bataryaya ait input şarjı olarak Şekil 3.4'te bataryanın geri kazandığı enerji gösterilmektedir. Aracın frenelemeler durumunda az da olsa enerji kazandığı fakat en büyük enerjinin aşırı hız düşüşünün sert olduğu bölgelerde gerçekleştiği görülmektedir.

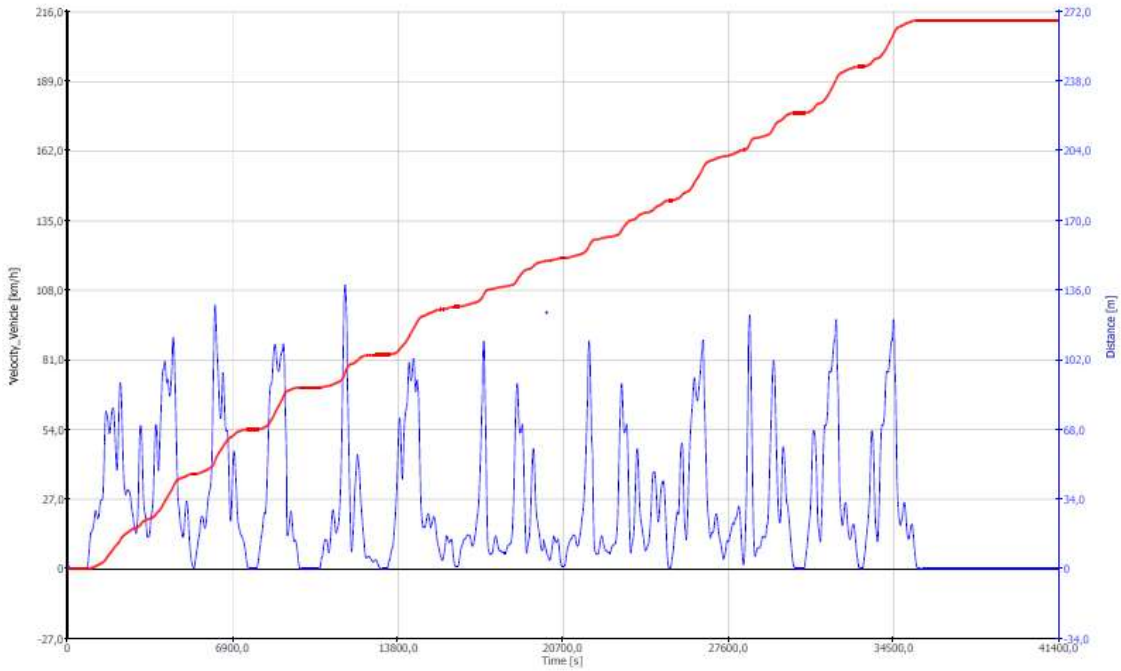


Şekil 3.4 A Aracı Rejeneratif Frenin Kazandığı Enerji Gösterimi

Bataryanın geri kazandığı enerji toplamda 5,24 kWh (13,1 Ah) kazandığı görülmektedir. Bu durumda harcanan enerji toplamda 51 kWh olarak bulunur. Bu durumda aracın km başına enerj tüketimi 248Wh/km olarak bulunur. Bu rota için rejeneratif frenin katkısı toplamda %11.5'lik bir katkı sağlamıştır.

3.2 B Aracı Simülasyonu

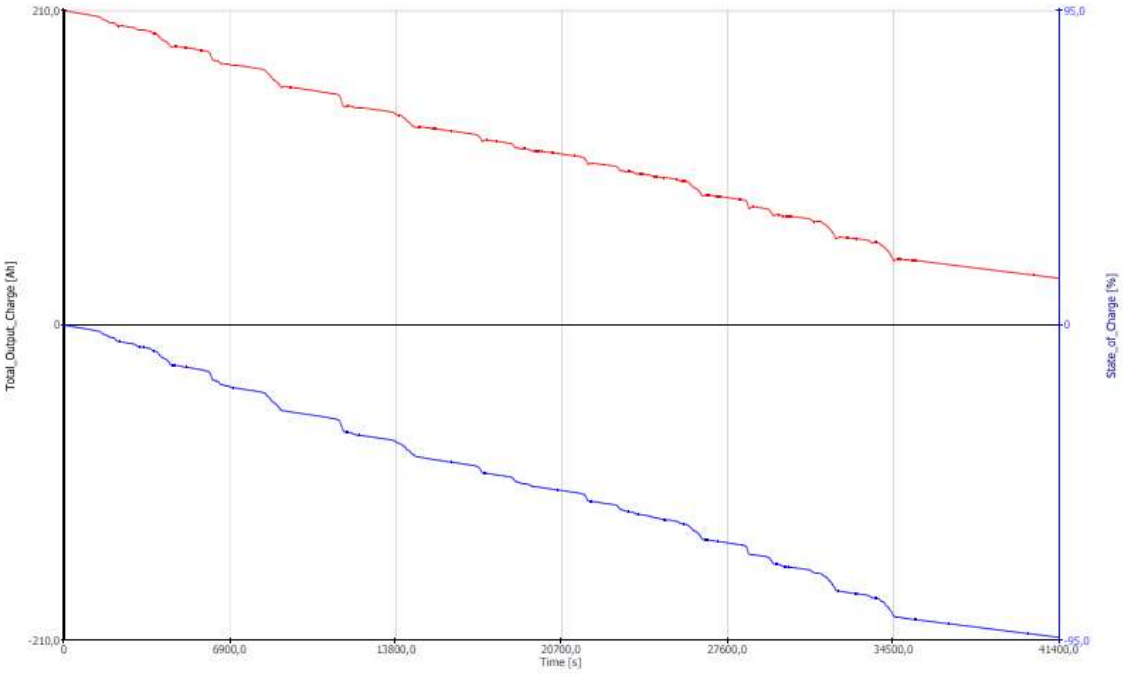
B aracının asıl amacı batarya kapasitesini değiştirerek araç için daha uygun bir batarya pakedi tasarlamaktır. Motor özellikleri, rejeneratif fren komponentleri aynıyken farklı olarak batarya pakedinin ağırlığı araca yük olarak eklenmiştir. Bu simülasyonun hız grafiği Şekil 3.5'te gösterildiği gibi gibi araç tüm çevrimi tamamlamış ve toplamda 268km yol katetmiştir.



Şekil 3.5 B Aracına ait hız ve katettiği mesafe

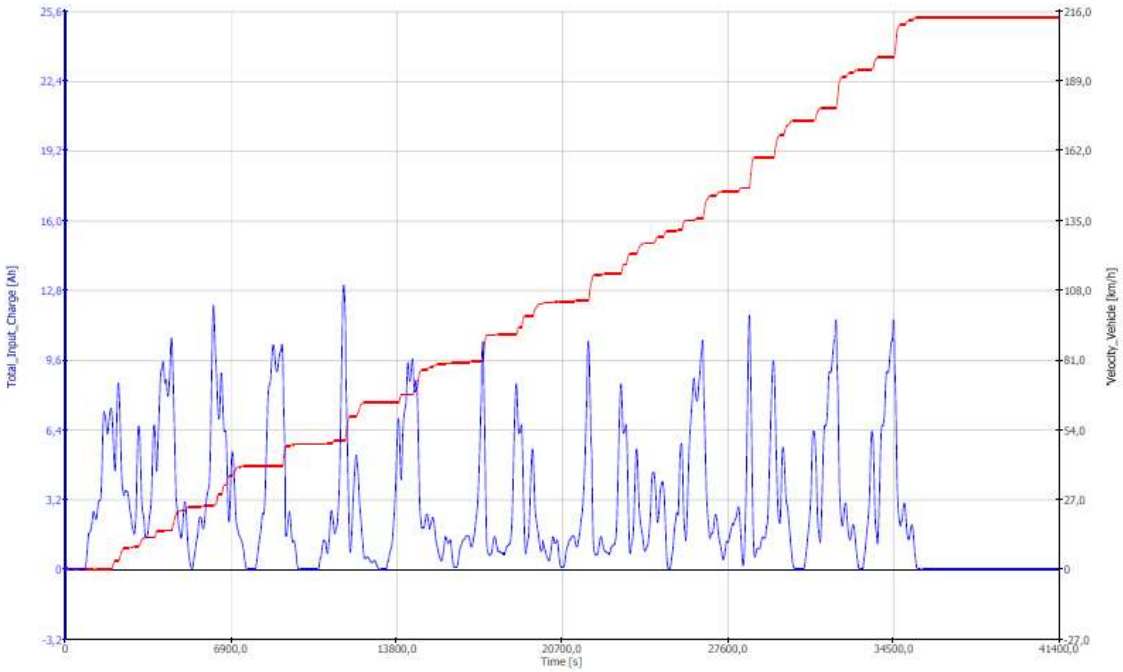
Bunun yanısıra simülasyonda ihtiyaç duyulan enerjinin bataryanın kullanım oranı da simülasyon sonuçlarını etkileyecektir. Buna dair sonuçlar Şekil 3.6'da görüldüğü üzere araç toplamda 77,6kWh (194Ah) harcanmıştır. Bataryanın şarj durumu görüldüğü gibi %95'ten %20'ye düşmüştür, toplamda 268km'lik çevrim bataryanın %75'ini tükenmiştir. Sürüş sırasında bataryanın harcadığı enerji harcadığı toplam enerji rejeneratif frenden kazanılan enerji çıkarıldığında elde edilir ve bu değer toplamda 67,2 kWh (168Ah) olarak ölçülmüştür.

B aracının A aracına göre en büyük artısı bataryanın henüz boşalmaması sayılabilir. Olası rota değişikliği ya da beklenmedik yük ya da seyahat süresindeki uzama aracın performansını ve dolayısıyla batarya tüketimini etkileyecektir. Bu anlamda bataryanın 85kWh'tan daha az bir boyutunun denenmesi daha verimli bir opsiyon oluşturabilir.



Şekil 3.6 B Aracının batarya datası

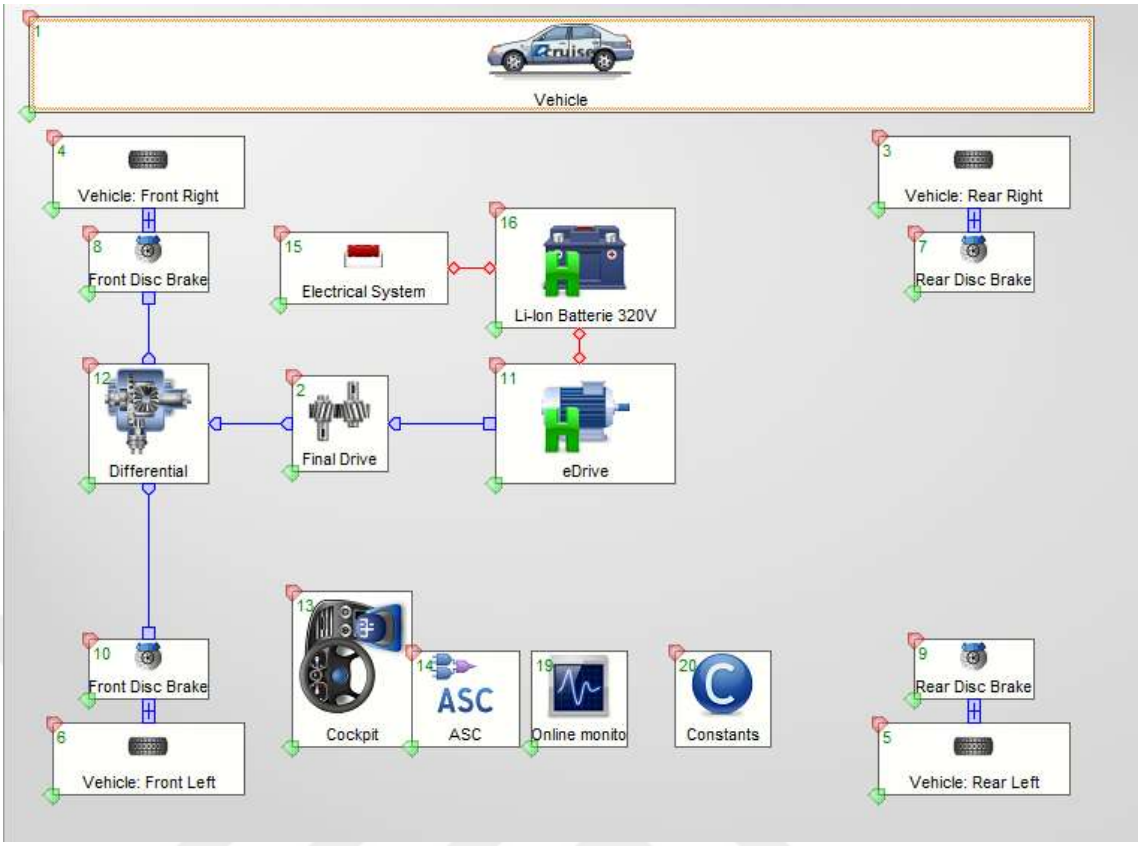
Aracın rejeneratif fren performansı aracın çevrim boyunca toplam harcadığı enerjiyi göstermesi için oldukça önemlidir. Şekil 3,7'de pozitif yönde bataryaya geri kazanılan enerji görülmektedir. Bu durumda araç 10,13 kWh (25,33Ah) geri kazanmıştır. Bu da aracın toplamda bataryadan harcadığı enerjinin %13'ünün rejeneratif frenden gelmesini sağlar. Rejeneratif frenin etkisi aracın potansiyel menzilinin artmasını sağlamıştır. Aynı zamanda enerji verimliliğinin artması için de öne çıkan bir opsiyon haline gelmesini sağlamıştır.Aracın sürüş çevrimi boyunca harcadığı toplam enerji 250Wh/km olarak bulunmuştur.



Şekil 3.7 B Aracının Rejeneratif Fren Enerji Kazanımı

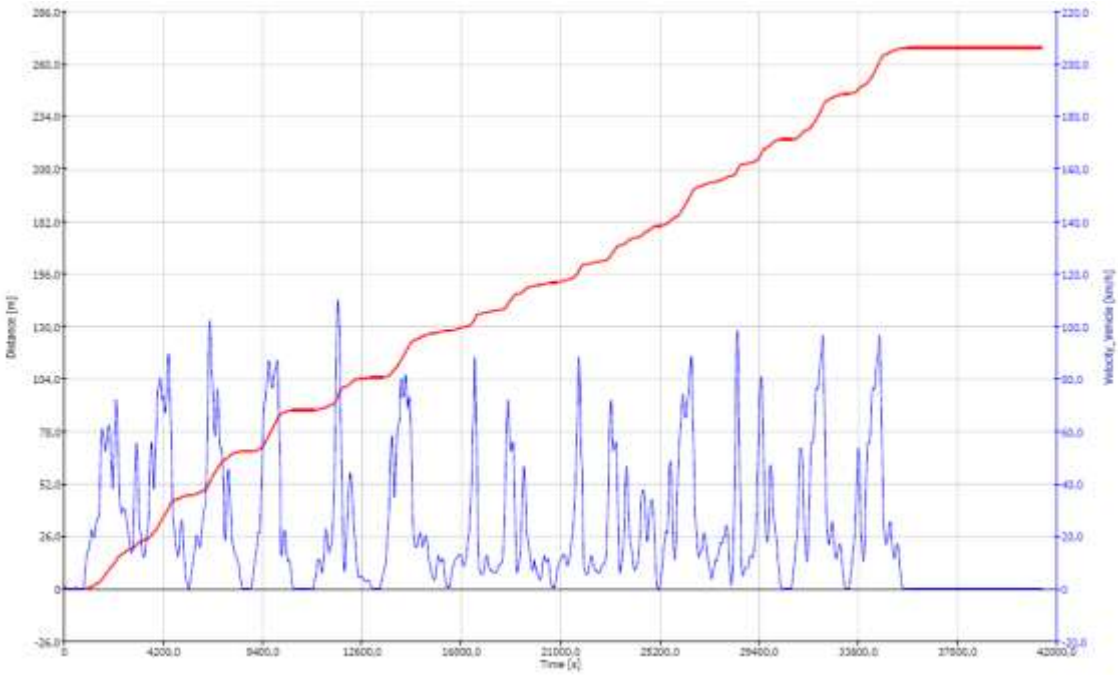
3.3 C Aracı Simülasyonu

C Aracı simülasyonu aracın üzerindeki rejeneratif fren etkisinin menzile katkısını görmek için yapılmıştır. Aracın geri kazanımı bataryaya geri beslenen enerji olarak incelenmiştir fakat buradaki amaç rejeneratif fren maliyetlerinin enerji geri kazanımıyla tolere edilebilirliğini görmektir. A ve B aracının rejeneratif fren katkılarına göre sadece bataryaya ait elektrikli aracın veriminin kayda değer bir değişikliğe sebep olmayacağı tahmin edilmektedir. Modelin komponentler Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 C Aracı Modeli Görünümü

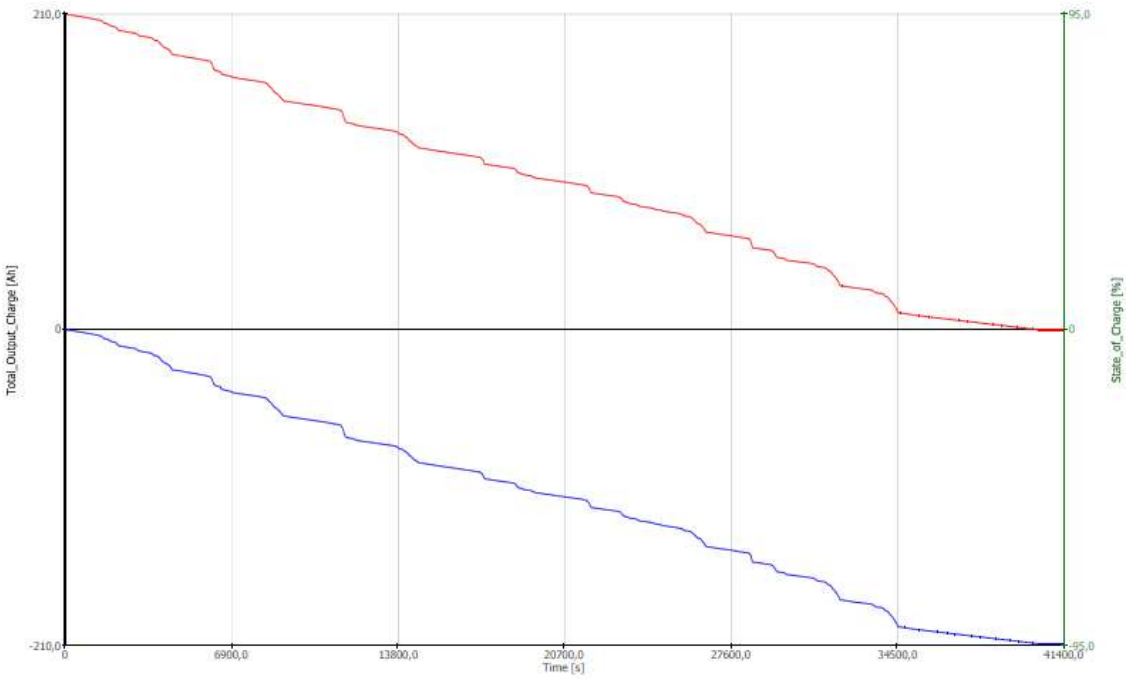
Aracın B modeliyle aynı batarya pakedi ve bataryayı kullanıldığı düşünüldüğünde aynı yol ve hız profili çıktılarını vermesi beklenmiştir. Tıpkı B aracı gibi C aracı da çevrimi hız hedeflerine ulaşarak tamamlamış ve toplamda 268km yol katetmiştir.



Şekil 3.9 C aracı Hız Profili ve Katettiği Yol

Bu süreçte aracın asıl kaybettiği şarj yüzdesi ve enerji tüketiminin iki model arasındaki temel fark olması beklenir. Şekil 3.10'da ise araca ait kullanılan şarj yüzdesi ve çevrim boyunca batarya tüketim yüzdesi görülmektedir. Aracın çevrim sonunda ulaştığı batarya yüzdesi %5 olurken toplamda tükettiği toplam enerji 77,6kWh(194Ah) tüketilmiştir. Bu durumda aracın km başına enerji tüketimi 289Wh/km olarak bulunmuştur.

Rejeneratif frenin iki bataryanın tüketimi arasındaki fark B aracında görüldüğü gibi 10,4 kWh'lık bir enerji tüketimi farkı varken bu batarya performansından %15'lik farka denk gelmiştir. Aracın bu yönü incelendiğinde batarya kapasitesinin azalması bataryanın tüm yüzdelerde aynı performansı sergilemediğinin bir göstergesidir.



Şekil 3.10 C Aracı Simülasyonunun Batarya Datası

3.4 Referans Modelin Belirlenmesi

Metodolojide belirtildiği gibi simülasyon sonuçları belirtilmiş üç araç modelinin simülasyon sonuçları incelenmiş ve modellere ait belli başlı çıktılar göz önüne alınarak aralarından en verimli araç modelinin seçilmesi gereklidir. Tablo 3.2 üç aracın simülasyon sonuçlarını özetlemektedir.

Tablo 3.2 Elektrikli Araç Modellerinin Simülasyon Sonuçları

	Araç A	**Araç B**	**Araç C**
Tamamlanan Yol	198 km	268 km	268 km
Batarya Pakedi	45 kWh	85 kWh	85 kWh
Boş Ağırlık	2100 kg	2366 kg	2366 kg
Ekstra Maliyet	Rejeneratif Fren	Rejeneratif Fren	Yok
Enerji Tüketimi	45 kWh	67,2 kWh	77,6 kWh
Birim Enerji tüketimi	455 Wh/km	250 Wh/km	289 Wh/km

Sonuçlara bakıldığında en düşük verimliliğe sahip olan aracın B varyantı olduğu söylenebilir. 45kWh her ne kadar pazarda seçilen bir batarya pakedi olarak referans alınsa da aracın kullanım amacı, menzili ve motor karakteristiğine göre verimi değişecek bir pakettir. Fakat yol koşulları ve referans alınan dizel aracı elektrifikasyonu için uygun bir alternatif olamamıştır.

B ve C aracının aynı batarya pakedine sahip olması aracın batarya durumuna rejeneratif frenin etkisinin görülmesidir. Bunun sebebi frenler üzerine kurulacak rejeneratif fren mekanizmasının araç üzerinde oluştuurduğu maliyettir. Enerjiden sağlanan tasarrufun rejeneratif frenin maliyetini kompanze etmesi beklenir.

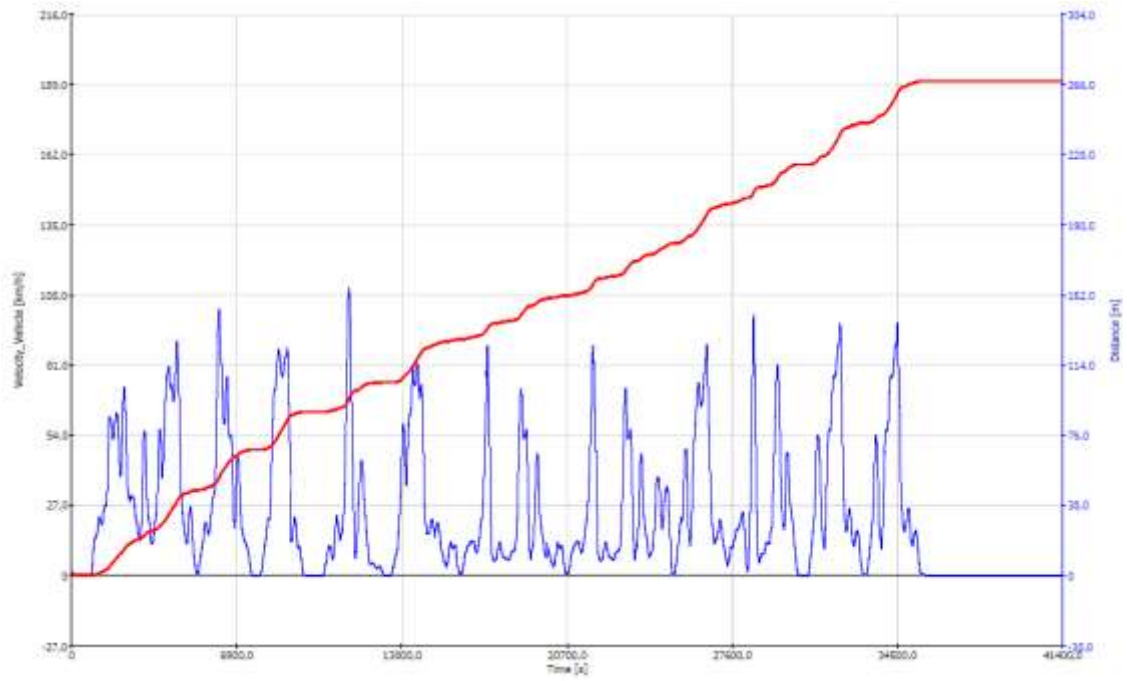
İki opsiyon arasındaki %15'lik fark yaklaşık olarak seçilen çevrim için harcanan enerjinin 1/5'ine denk gelmiştir.Bu da rejeneratif frenin enerji tüketiminde oldukça önemli bir katkısı olduğunu gösterir. Bu durumda üç varyant arasında en verimli ve rota koşullarına uygun opsiyon B aracı olmuuştur.

En verimli varyant olarak seçilen B aracına ait son adım ise dizel araçla CO_2 ve enerji tüketiminin karşılaştırılmasıdır.

3.5 Dizel Araç Simülasyonu

Metodoloji bölümünde bahsedildiği gibi araçların dış özellikleri aynı tutulurken güç aktarma organlarına ait motor ve batarya değişimi gerçekleştirilmiş konvansiyonel dizel aracın datası Şekil 3.11'de görülmektedir. Elektrikli araçlardaki gibi aracın

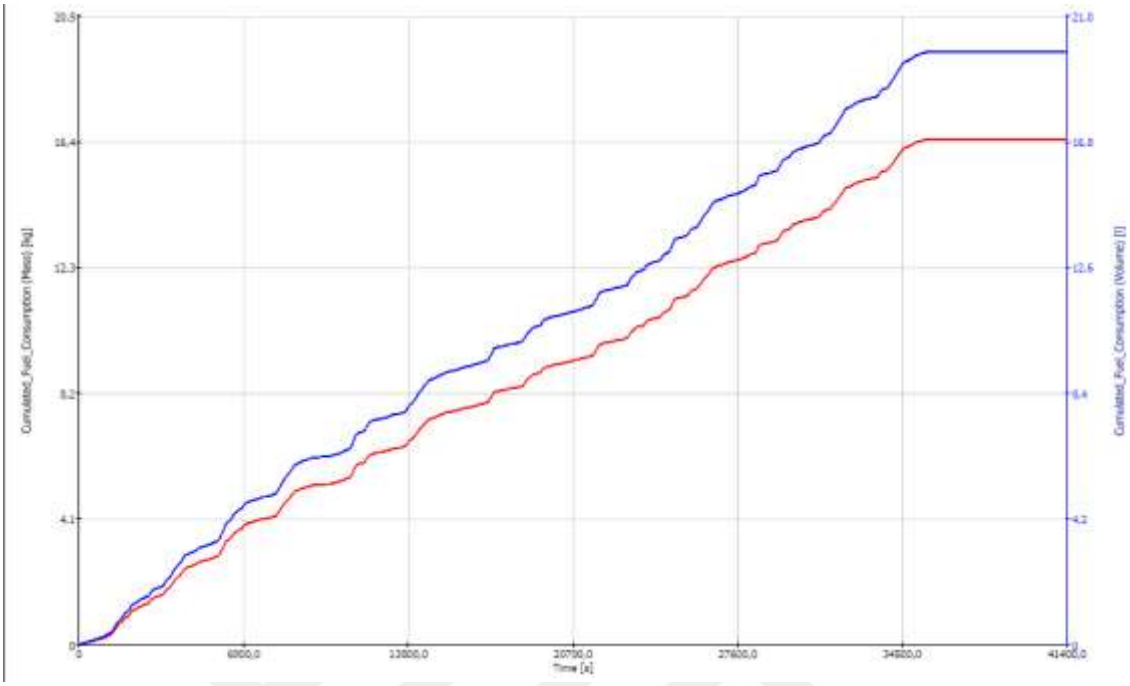
menzilini tamamlaması ya da doğru hıza ulaşması gibi sorunlar konvansiyonel dizel araçta görülmemiştir.



Şekil 3.11 Dizel Araç Hız Profili ve Sürüş Mesafesi

Önceki Simülasyonlardan farklı olarak dataların inputları farklı değerlendirilecektir. Burada güç kaynağı olarak kullanılan komponent batarya değil yakıt tüketimi olarak alınacak ve enerji tüketimi de motora ait harcanan enerjiden elde edilecektir. Şekil

3.11'de araca ait yakıt tüketimi gösterilmiştir. Araç 268 kilometrelik çevrim boyunca toplam 17,6 litre (14,64kg) yakıt tüketimi sağlamıştır.



Şekil 3.12 Dizel Araçın Sürüş Boyunca Yakıt Tüketimi

3.6 Karbondioksit Salınımı Oranları

Araca ait C02 üretimi referanslara göre 3,13gr C02/1gr yakıt olarak alınmıştır.Bu durumda çevrim sonucunda aracın toplam karbondioksit salınımı 45,83 kg olarak hesaplanmıştır.

Elektrikli araç için kullanılması gereken karbondioksit tüketimi için "tank to wheel" karbondioksit salınımı göz önüne alınmalıdır. Daha önceki referansta bahsedilen ülke bazında elektrik üretimi için karbondioksit salınımını göz önünde bulundurmanın en gerçekçi çözüme ulaşıldığından bahsedilmişti [4].

Bu durumda Türkiye'ye ait enerji üretim santrallerinin dağılımı incelenmiştir. Enerji Bakanlığı verilerine göre Bakanlığı verilerine göre 2018 yılında elektrik üretimimizin, %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden, ve %1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir [29]. Bu durumda ağırlıklı bir enerji tüketimi CO_2 oranı almak da tercih edilebilir fakat referans olarak en fazla üretimi gerçekleştiren kömürle çalışan termik santralleri referans alınmıştır. Türkçe

kaynaklarda Kömürle çalışan termik santrallerin karbondioksit salınımı 0,499kg/kWh (499 ton/GWh) olarak belirtilmiştir [30]. Bu durumda B aracının harcadığı enerji toplamda 60,72kWh ölçüldüğünden elektrikli aracın ortalama karbondioksit salınımı 30,29 kilogram olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda iki modelin sonuçları karşılaştırıldığında sadece bir günlük dataya göre karbondioksit salınımı 15,54kg azaltılmıştır. Sadece bu hatta ait bir günlük CO_2salınımı elektrifikasyonla %33,9 azaltılmıştır.

3.7 Enerji Tüketimleri

Seçilen referans model B 'ye ait enerji tüketimi enerji kaynağı batarya olduğundan simülasyon sonucundan 60,72 kWh olarak elde edilmişti. Fakat konvansiyonel araç için bu değer yalnızca dizel yakıtın enerji yoğunluğundan hesaplanabilmektedir. Referanslara göre dizel yakıtın enerji yoğunluğu 0,27 kWh/l (38,6MJ/l) olarak ölçülmüştür [31]. Bu durumda dizel aracın yol boyunca harcadığı enerji 188,26 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu durumda elektrikli araç çevrim boyunca dizel aracın enerjisinin yalnızca %32'sini harcamıştır.

3.8 Öneriler

- Test edilen tüm araç opsiyonları sarı dolmuşlara ait gerçek yol ve yükseklik datasıyla birlikte simüle edilmiştir.Elde edilen simülasyon sonuçlarında şu öneriler öne çıkmıştır.
- Küçük batarya pakediyle tasarlanan A aracı rotası daha kısa ve günlük menzili 190km'yi geçmeyecek rotalar için uygun bir optimizasyon varyantı sayılabilir.
- Araç modellemesi sırasında optimize bir araç için menzil belirlenirken aracın batarya pakedi ve ağırlığı göz önüne alındığında batarya pakedi ve menzil arasında doğru orantının olmadığı görülmüştür.
- Araca ait batarya davranışının her yüzdede aynı olmadığı, şarj yüzdesi düştükçe enerji tüketiminin arttığı görüşmüştür.
- Sarı dolmuş olarak kullanılan dizel araçların ve batarya pakediyle optimizasyon yapılarak mümkün hale getirilebilir elektrifike edilebilir.

- Elektrikli araçların tank-to wheel emisyon düşüşünün yanısıra trafikteki emisyon gazlarının zararlı etkileri oldukça azaltılır.
- Elektrik üretiminin karbon salınımı en yüksek olan termik santralden elde edilmesi durumunda bile optimize modelle % 35 karbondioksit emisyonu azalması görülmüştür.
- Elektrik üretiminin temiz enerjilere yönlendirilmesi durumunda karbondioksit salınımının %70'e ulaşması mümkündür.
- Güç kaynağının karbondioksit salınımının yanısıra aynı özelliklere sahip dizel aracın ihtiyaç duyduğu enerji ortalama verimle çalışan optimize edilmiş modele göre 3 kattan fazladır.
- Yeni konsepte uygun rejeneratif frenin entegrasyonuyla enerji tüketimlerinin optimizasyonu mümkün gözükmektedir.

Kaynakça

[1] H. editors, «History,» A&E Television Networks, 6 November 2009. [Çevrimiçi]. Available: https://www.history.com/topics/natural-disasters-and-environment/water-and-air-pollution. [Erişildi: 4 May 2019].

[2] T. B. a. R. Andres, "Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions," Carbon Dioxide Information Analysis Center , Oak Ridge, Tennessee, 2011.

[3] E. S. R. Laboratory, «https://www.esrl.noaa.gov,» National Oceanic and Atmospheric Administration , 24 January 2009. [Çevrimiçi]. Available: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/basics.html. [Erişildi: 5 May 2019].

[4] «Simulation of the impacts on carbon dioxide emissions from replacement of a conventional Brazilian taxi fleet by electric vehicles,» *Elsevier,* 2015.

[5] P. J. L. J. E. M. P. S. Oh Y, «Modeling effects of vehicle specifications on fuel economy based on engine fuel consumption map and vehicle dynamics,» *Elsevier,* no. 32, p. 287–302, 2014.

[6] ,. R. F. M.-B. D. A. H. ,. L. L. B. C. Clemens Lorf a, «Comparative analysis of the energy consumption and CO2 emissions of 40 electric, plug-in hybrid electric, hybrid electric and internal combustion engine vehicles,» *Elsevier,* no. 23, pp. 12-19, 2013.

[7] S. G. R. E. A. Wirasingha, «Source-to-Wheel (STW) analysis of plug-in hybrid electric vehicles.,» *IEEE Transaction on Smart Grid,* no. 3, pp. 316-331, 2012.

[8] J. V. M. J. C. Susana Alegre, «Modelling of electric and parallel-hybrid electric vehicle using Matlab/ Simulink environment and planning of charging stations

through a geographic information system and genetic algorithms,» *Elsevier,* Renewable and Sustainable Energy Reviews, no. 74, pp. 1020-1027, 2017.

[9] B. A. C. K. Chan CC, «Electric, hybrid, and fuel-cell vehicles: architectures and modeling,» *IEEE Trans Veh Technol,* no. 59, pp. 589-598, 2010.

[10] E. W. P. C. M. A. K. L. S. N. David Ord, «Powertrain Design to Meet Performance and Energy Consumption Goals for EcoCAR 3,» *SAE International,* 04 Jan 2014.

[11] N. L. S. Anderson, Comparison of Spur Gear Efficiency Prediction Methods,, USA: Defense Technical Information Center, 1983.

[12] A. K. R. H. Fiori C, «Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation,» *Applied Energy,* no. 168, 2016.

[13] R. H. A. K. M. K. Park S, «Virginia Tech Comprehensive Power-based Fuel Consumption Model (VT-CPFM): Model Validation and Calibration Considerations.,» *International Journal of Transportation Science and Technology,* no. 317-336, 2013.

[14] F. H. R. N. Zhai H, « A Vehicle-Specific Power Approach to Speed- and Facility-Specific Emissions Estimates for Diesel Transit Buses.,» *Environ Sci Technol,* 2008.

[15] J.-P. JL., «Understanding and quantifying motor vehicle emissions with vehicle specific power and TILDAS remote sensing,» *Massachusetts Institute of Technology,,* 1998.

[16] S. P. F. A.-M. Blaž Luin, «Microsimulation of Electric Vehicle Energy Consumption,» *Energy,* 2019.

[17] Z. J. L. Y. Y. Y. Lv C, «Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contributionto energy efficiency improvement of

electrified vehicles,» *Energy Conversion and Management,* no. 92, p. 469–482., 2015.

[18] «Simulation of the impacts on carbon dioxide emissions from replacement of a conventional Brazilian taxi fleet by electric vehicles,» *Elsevier,* 2015.

[19] Robert Bosch GmbH, Bosch Automotive Handbook, 2002.

[20] E. Toolbox, «Engineering Toolbox,» 2008. [Çevrimiçi]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html. [Erişildi: Mayıs 2019].

[21] J.B. Goodenough, «Electrochemical energy storage in a sustainable modern society,,» *Energy Enviromental Science,* no. 7, pp. 14-18, 2014.

[22] «Battery University,» 2010. [Çevrimiçi]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/archive/the_high_power_lithium_ion. [Erişildi: 3 Mayıs 2019].

[23] «Electrical Academia,» 1 2017. [Çevrimiçi]. Available: http://electricalacademia.com/induction-motor/torque-speed-characteristics-induction-motor/. [Erişildi: Mayıs 2019].

[24] E. F. you, «https://www.electrical4u.com,» 2016. [Çevrimiçi]. [Erişildi: Mart 2019].

[25] H.-U. S. a. Y. B. Kyo-Beum Lee, «Chapter 11-Basic Control of AC Motor Drives,» %1 içinde *Control of Power Electronic Converters and Systems*, Elsevier, 2018.

[26] E. Modder, «Eco Modder,» 2008. [Çevrimiçi]. Available: https://ecomodder.com/forum/showthread.php/paul-sabrinas-cheap-3-phase-inverter-ac-controller-10839-122.html. [Erişildi: 9 Mayıs 2019].

[27] X. C. Liang Zhang, «Control strategy of regenerative braking system in electric vehicles,» %1 içinde *CUE2018-Applied Energy Symposium and Forum 2018*, Shangai, 2018.

[28] E. Bakanlığı, «Enerji Bakanlığı Resmi Sayfasıı,» 2019. [Çevrimiçi]. Available: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik. [Erişildi: Mayıs 2019].

[29] E. Atlası, «Enerji Atlası,» Enerji Atlası, 2018. [Çevrimiçi]. Available: https://www.enerjiatlasi.com/haber/elektrik-uretiminde-karbon-salinimi. [Erişildi: Mayıs 2019].

[30] Wikipedia, «Wikipedia,» Wikipedia, 2017. [Çevrimiçi]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density. [Erişildi: Mayıs 2019].

[31] « https://alliedmarketresearch.wordpress.com,» [Çevrimiçi]. Available: https://alliedmarketresearch.wordpress.com/tag/permanent-magnet-synchronous-motor/.

[32] «Allied Market Research,» 2010. [Çevrimiçi]. Available: https://alliedmarketresearch.wordpress.com. [Erişildi: Mart 2019].

[33] «https://www.electrical4u.com,» 30 December 2018. [Çevrimiçi]. Available: https://www.electrical4u.com/fleming-left-hand-rule-and-fleming-right-hand-rule/

[34] «https://www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990/,» [Çevrimiçi].

[35] Health Effects Institute, «State of Global Air Report,» Health Effects Institute, Boston, USA, 2018.

[36] R. F. M.-B. ,. D. A. H. ,. L. L. B. C. Clemens Lorf a, «Comparative analysis of the energy consumption and CO2 emissions of 40 electric, plug-in hybrid electric,

hybrid electric and internal combustion engine vehicles,» *Elsevier,* pp. 12-19, 2013.

[37] A. K. R. H. l. Fiori C, «Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation.,» *Applied Energy,* 2016.

[38] D. M.-B. R. C. B. L. L. Howey, «Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles.,» *Transportation Research,* p. 459–464, 2011.

[39] «Chapter 11-Basic Control of AC Motor Drives,» %1 içinde *Control of Power Electronic Converters and Systems*, Elsevier, 2018.

[40] W. H. Organization, «World Health Organization,» World Health Organization, 31 12 2016. [Çevrimiçi]. Available: https://www.who.int/airpollution/en/. [Erişildi: 03.05.2019 May 2019].

[41] K. P. Paudel AM, « Design and performance analysis of a hybrid solar tricycle for a sustainable local commute.,» *Renew Sustain Energy Rev,* no. 41, pp. 473-482, 2015.

[42] H. R. a. M. Roser, «Our World in Data,» University of Oxford, 1 2017 April . [Çevrimiçi]. Available: https://ourworldindata.org/air-pollution. [Erişildi: 4 May 2019].

[43] L. L. G. H. D. T. Yuan X, «Energy and environmental impact of battery electric vehicle range in China,» *Elsevier,* pp. 75-84, 2015.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi:gosenayzeynep@gmail.com

Makaleler

1. An Electric Public Transportation Vehicle Modelling and Comparison with Conventional Diesel Vehicle, International Journal of Engineering Research and Advanced Technology (IJERAT), Nisan, 2019 ISSN: 2454-6135