

**ELEKTRİKLİ BİR ARACIN
GENEL PERFORMANS
SİMÜLASYONU VE GERÇEKLEMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Ali ÖZEK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2020

Bu tez çalışması 19 FEN. BİL 26 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ BİR ARACIN
GENEL PERFORMANS
SİMÜLASYONU VE GERÇEKLEMESİ
ALİ ÖZEK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2020

TEZ ONAY SAYFASI

Ali ÖZEK tarafından hazırlanan “Elektrikli Bir Aracın Genel Performans Simülasyonu ve Gerçeklemesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 24 / 07 / 2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Barış GÖKÇE
Necmettin Erbakan Üniversitesi,
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Teknoloji Fakültesi



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24 / 07 / 2020


Ali ÖZEK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKLİ BİR ARACIN GENEL PERFORMANS SİMÜLASYONU VE GERÇEKLEMESİ

Ali ÖZEK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Ulaşım insanların en temel ihtiyaçlarının başında gelmektedir. Bu temel ihtiyacın karşılanmasına yönelik yapılan çalışmalar teknolojinin de gelişmesine paralel olarak gün geçtikçe hızla artmaktadır. Son yıllarda elektrikli araçlara olan ilginin artmasıyla da otomotiv teknolojisi bu alanda yoğunlaşmaktadır. Elektrikli araçlar son yıllarda gündeme gelse de 1800'lü yıllarda ilk örneklerine rastlanmaktadır. Ancak o yıllarda batarya teknolojisindeki yetersizlik gibi nedenler elektrikli araçlara olan ilgiyi azaltmıştır. Günümüzde ise petrol rezervlerinin azalması, çevre kirliliği, batarya teknolojisinin gelişmesiyle aşılabilir menzil sorunu gibi nedenlerden dolayı elektrikli araçlar tekrar gündeme gelmiştir.

Bu tez çalışmasında taşıtlarda kullanılan tahrik sistemleri incelenmiş ve simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre belirlenen taşıt mimarisine uygun olarak elektrikli bir aracın matematiksel olarak modellenmesi yapılmış, taşıt parametreleri belirlenmiş ve belirli yol şartlarına uygun olarak simülasyonu tamamlanmıştır. Taşıtın simülasyonu MATLAB/SIMULINK ortamında modellenmiştir. Belirlenen taşıt parametrelerine uygun olarak taşıtın tasarımı SOLIDWORKS programında yapılmıştır. Son olarak simülasyonun doğrulanabilmesi için tasarımı yapılan taşıtın imalatı gerçekleştirilmiştir.

İmalatı yapılan taşıt üç elektrik motoruyla tahrik edilmektedir. Ön tekerleklerin her birinde 1.2 kW tekerlek içi BLDC motor, arka tekerleklerin tahriki için ise diferansiyel bağlı olarak 2.5 kW BLDC motor kullanılmıştır. Motorların ihtiyacı olan enerji 6 adet

12V 40 Ah kurşun jel aküden sağlanmaktadır. Tasarımı ve imalatı yapılan taşıt parametrelerine uygun olarak modellenen taşıt üç farklı tahrik sistemine göre NEDC çevrimin şartlarına uygun olarak simülasyonu tamamlanmıştır. 4WD tahrik sistemi daha verimli olduğu görülmüştür. Bu tahrik sisteminde ön tekerleklerde bulunan motorlar maksimum 17 Nm tork ve 0.7 kW güç gereksinimlerine ihtiyaç duymaktadır. Gerçekleştiren taşıt 4WD olarak simülasyonu tamamlamış ancak RWD ve FWD tahrik sistemlerinde istenilen hıza ulaşamamıştır. RWD tahrik sisteminde NEDC çevrimine göre elektrik motoru maksimum 33.17 Nm tork ve 3.17 kW güce ihtiyaç duyarken, FWD tahrik sisteminde ise motorların her biri 45.14 Nm tork ve 1.9 kW'lık bir güce ihtiyaç duyulmaktadır. İmalatı yapılan taşıtta kullanılan motorlar da bu değerlere ulaşamamıştır.

2020, xii + 85 sayfa

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, Taşıt dinamiği, Elektronik diferansiyel, Matlab/Simulink, Solidworks

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

GENERAL PERFORMANCE SIMULATION AND IMPLEMENTATION OF AN ELECTRICVEHICLE

Ali ÖZEK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Asst. Prof. İbrahim YAVUZ

Transportation is one of the most basic needs of people. Efforts to meet this basic need are increasing day by day in parallel with the development of technology. With the increasing interest in electric vehicles in recent years, automotive technology is focusing on this area. Although electric vehicles have been on the agenda in recent years, the first examples can be found in the 1800s. However, in those years, reasons such as the inadequacy of battery technology decreased the interest in electric vehicles. Today, electric vehicles have come to the fore again due to reasons such as the decrease in oil reserves, environmental pollution, and the range problem that has been overcome by the development of battery technology.

In this thesis, propulsion systems used in vehicles were examined and simulated. Mathematical modeling of an electric vehicle was made in accordance with the vehicle architecture determined according to the simulation, vehicle parameters were determined and the simulation was completed in accordance with certain road conditions. The simulation of the vehicle is modeled in MATLAB / SIMULINK environment. The design of the vehicle was made in the SOLIDWORKS program in accordance with the specified vehicle parameters. Finally, the designed vehicle was manufactured so that the simulation could be verified.

The vehicle manufactured is driven by three electric motors. A 1.2 kW in-wheel BLDC motor is used on each of the front wheels, and a 2.5 kW BLDC motor is used for the drive of the rear wheels, depending on the differential. The energy needed by the motors is provided by 6 12V 40 Ah lead gel batteries. The vehicle, which is modeled in accordance with the vehicle parameters designed and manufactured, has been simulated in accordance with the conditions of the NEDC cycle according to three different drive systems. The 4WD drive system has been found to be more efficient. In this drive system, the motors on the front wheels need a maximum of 17 Nm of torque and 0.7 kW of power. The vehicle implemented has completed the simulation as 4WD, but could not reach the desired speed in RWD and FWD drive systems. According to the NEDC cycle, the electric motor needs a maximum torque of 33.17 Nm and a power of 3.17 kW in the RWD drive system, while the FWD drive requires 45.14 Nm of torque and a power of 1.9 kW each of the motors. These engines used in the manufactured vehicle could not reach these values.

2020, xii + 85 pages

Keywords: Electric vehicles, Vehicle dynamics, Electronic differential, Matlab / Simulink, Solidworks

TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca maddi ve manevi her türlü desteğini esirgemeyen aynı zamanda tez amacının belirlenmesinde ve tez aşamalarında bilgi birikimini ve tecrübelerini benimle paylaşan çok saygı değer danışman hocam sayın Dr. Öğr. İbrahim Yavuz'a, çalışma sürecinde desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hüseyin Bayrakçıken'e, taşıtın modellenmesi ve simülasyonunda verdiği desteklerden dolayı Sayın Arş. Gör. Dr. Faruk Emre Aysal'a, elektronik aksamaları ve motor kontrolünde verdiği desteklerden dolayı Arş. Gör. İbrahim Çelik'e ve diğer tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmamı 19. Fen. Bil.29 numaralı proje ile maddi olarak desteklediği çalışmanın yürütülmesinde kolaylık sağladığı için Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAPK)'ya teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Ali ÖZEK

Afyonkarahisar 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	ii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Yapılan Çalışmalar	3
2.2 Elektrikli Araçlar	5
2.2.1 Tümü-Elektrikli Araçlar.....	15
2.2.2 Hibrit Elektrikli Araçlar	17
2.2.2.1 Seri Hibrit Elektrikli Araçlar	18
2.2.2.2 Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar	19
2.2.2.3 Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar	20
2.2.3 Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar	21
2.3 Hibrit ve Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motor Türleri	22
2.3.1 DC Motor	23
2.3.2 Asenkron Motorlar	24
2.3.3 Sürekli Mıknatıslı Motorlar	24
2.3.4 Anahtarlamalı Relüktans Motoru.....	25
2.4 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Türleri	25
2.4.1 Kurşun –Asit Batarya	26
2.4.2 Nikel-Metal Hidrit Batarya	27
2.4.3 Lityum – İyon Batarya	27
2.4.4 Metal-Hava Batarya	28
2.4.5 Süper Kapasitörler.....	28
3. MATERYAL ve METOT	30
3.1 Tasarım ve İmalat	30

3.1.1 Taşıtlarda Kullanılan Hareket Kontrol Sistemleri	31
3.1.1.1 Direksiyon Sistemi	31
3.1.1.2 Diferansiyel	32
3.1.1.3 Süspansiyon Sistemi.....	33
3.1.1.4 Taşıtlarda Kullanılan Tahrik Sistemleri	33
3.1.1.5 Fren Sistemleri	34
3.1.2 Motorlar ve Sürücüler	34
3.2 Matematiksel Modelleme	36
3.2.1 Doğrusal Hareket	37
3.2.1.1 Rüzgar Direnci	38
3.2.1.2 Yuvarlanma Direnci	39
3.2.1.3 Yokuş Direnci.....	40
3.2.1.4 İvmelenme Direnci	40
3.2.2 Yanal Hareket	42
3.2.2.1 Düşük Hızlarda Viraj Döngüsü	42
3.2.2.2 Yüksek Hızlarda Viraj Döngüsü	44
3.2.3 Dikey Hareket	49
3.2.4 Tekerleklerin Modellenmesi	50
3.2.5 Elektrik Motorlarının Matematiksel Modellemesi.....	51
3.2.6 Bataryaların Matematiksel Modellemesi	54
3.2.7 PID Denetleyici.....	56
3.3 Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (NEDC).....	58
4 BULGULAR	60
4.1 Matematiksel Modellemeden Elde Edilen Bulgular.....	60
4.1.1 4WD Tahrik Sistemi	61
4.1.2 RWD Tahrik Sistemi.....	67
4.1.3 FWD Tahrik Sistemi	69
4.2 Taşıtların Direnç Kuvvetlerinin Elektrik Motorlarına Etkisi	72
4.3 Elektronik Diferansiyel Simülasyon Sonuçları.....	73
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	76
6. KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	84
EKLER.....	85

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

kg	Ağırlık
kJ	Enerji
kWh	KiloWatt saat
km	Kilometre
Km/h	Kilometre/saat
kW	KiloWatt
Pb/A	Kurşun/Asit
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
PbO ₂	Kurşun Dioksit
Wh / kg	Özgül enerji
W / kg	Özgül güç
Ni-Fe	Nikel demir
Ni-Zn	Nikel çinko
Ni-MH	Nikel metal hidrit
LiCoO	Lityum kobalt oksit
LiMn ₂ O ₄	Lityum mangan dioksit
LiFePO ₄	Lityum demir fosfat
η (eta)	Verim
W	Devir
Ah	Amper-Saat
m	Kütle
g(m/s ²)	Yerçekimi ivmesi

Kısaltmalar

4WD	Dört tekerlekten çekiş (Four-wheel drive)
AC	Alternating current (Alternatif Akım)
AJP	Ackermann – Jeantand prensibi
DC	Direct current (Doğru akım)
EA	Elektrikli araçlar
ECE-15	Şehir içi sürüş çevrimi
FDAM	Fırçasız doğru akım motoru
FWD	Önden çekiş (Front-wheel drive)
HEA	Hibrit elektirikli araç
IM	Induction motor (Asekron motor)
İYM	İçten yanmalı motorlu araçlar
NDEC	Yeni avrupa sürüş çevrimi
OPEC	Organization of the petroleum exporting countries
PHEA	Plug-in hibrit elektrikli araçlar
PID	Proportional-integral-derivative (Oransal-integral-türev)
PMSM	Permanent magnet synchronous motor (Sabit mıknatıslı senkron motor)
RWD	Arkadan itiş (Rear-wheel drive)
SOC	State of charge (Şarj durumu)
SRM	Switched reluctance motor (Anahtarlamalı relüktans motor)
TEHAD	Türkiye elektrikli ve hibrid araçlar derneği

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Türkiye’de kümülatif sera gazı emisyonları	12
Şekil 2.2 TEHAD mart 2019 verilerine göre şarj istasyonu haritası.	14
Şekil 2.3 2050 yılına kadar öngörülen araç dağılımları	15
Şekil 2.4 Farklı TEA konfigürasyonu	17
Şekil 2.5 Seri hibrit elektrikli araç tahrik sistemi yapısı	19
Şekil 2.6 Paralel hibrit elektrikli araç tahrik sistemi yapısı.	20
Şekil 2.7 Seri-Paralel hibrit elektrikli araç tahrik sistemi yapısı.	20
Şekil 2.8 Seri-Paralel plug-in hibrit elektrikli araç konfigürasyonu.	22
Şekil 2.9 EA’lar da kullanılan motor türlerinin bazı özelliklerine göre karşılaştırılması.	23
Şekil 2.10 HEA ve EA da kullanılan bataryaların karşılaştırılması	26
Şekil 3.1 Gerçekleştiren yapılan taşıtın tahrik mimarisi.	30
Şekil 3.2 Tasarımı yapılan elektrikli aracın görünümü.	30
Şekil 3.3 Kremayer dişli sistemi kullanılan direksiyon kutusu.	32
Şekil 3.4 Taşıtta kullanılan tahrik sistemleri	34
Şekil 3.5 Taşıtta kullanılan fren sistemi	34
Şekil 3.6 SAE’e göre taşıtın koordinat sistemindeki hareketlerinin incelenmesi.	37
Şekil 3.7 Doğrusal eksenindeki taşıta etkileyen kuvvetler	38
Şekil 3.8 Hareket halindeki taşıta da oluşan yuvarlanma direnci.	39
Şekil 3.9 Hareket halindeki taşıtı etkileyen dirençler.	42
Şekil 3.10 Ackermann Geometrisi	43
Şekil 3.11 Kinematik yanal taşıt dinamiği modeli	44
Şekil 3.12 Yüksek hızlarda oluşan direksiyon açıları.	46
Şekil 3.13 Elektronik diferansiyel Simulink modeli.	48
Şekil 3.14 Taşıt üzerindeki kuvvetler	49
Şekil 3.15 Tekerlekler etki eden kuvvet ve momentler	50
Şekil 3.16 Magic Formula tekerlek modeli	51
Şekil 3.17 Dc motor serbest gövde diyagramı	52
Şekil 3.18 Simulink’de oluşturulan Dc motor bloğu.	53
Şekil 3.19 Elektrik motorlarının devir, tork ve güç değişimi.	54

Şekil 3.20 Dinamik eşdeğer batarya modeli.....	54
Şekil 3.21 Matlab/Simulink batarya modeli.....	56
Şekil 3.22 Geri beslemeli kontrol sisteminin yapısı.....	57
Şekil 3.23 Yeni avrupa sürüş döngüsü NEDC	58
Şekil 3.24 Şehir içi sürüş çevrimi ECE-15.....	58
Şekil 3.25 Genel simülasyon bloğu.....	59
Şekil 4.1 Simülasyonu yapılacak olan taşıtın referans hızı.....	61
Şekil 4.2 Referans hıza bağlı olarak motorların referans devir değişimi	62
Şekil 4.3 Mekanik diferansiyelden alınan aks tork ve devirleri	63
Şekil 4.4 Taşıtın hareketi için taşıta etkileyen direnç kuvvetleri	63
Şekil 4.5 Taşıtı etkileyen toplam direnç kuvvetleri.....	64
Şekil 4.6 Ön tekerlekte kullanılan motorların güç, tork ve devirleri.....	65
Şekil 4.7 Arka tekerleklerin tahriki için kullanılan motorun güç, tork ve devirleri.....	66
Şekil 4.8 Elektrik motorunun güç, tork ve devir eğrisi	68
Şekil 4.9 Mekanik diferansiyelde oluşan devir ve tork değişimi	69
Şekil 4.10 Elektronik diferansiyelden alınan referans motor devirleri	70
Şekil 4.11 Hub motorların devir, tork ve güç verileri	71
Şekil 4.12 Taşıtın yol ile yaptığı açının taşıt performansına etkisi	72
Şekil 4.13 Aerodinamik direnç katsayısının motor performansına etkisi	73
Şekil 4.14 Referans taşıt hızı.....	74
Şekil 4.15 Elektronik diferansiyelde belirlenen referans motor devirleri.	74
Şekil 4.16 Referans hız ve ön tekerleklerde oluşan hız farkı	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 TEHAD ekim 2019 raporuna göre Türkiye’de satılan EA ve HEA sayısı ve yıllara göre karşılaştırılması.	13
Çizelge 2.2 Bazı HEA ve EA modellerinde kullanılan motor türleri.....	23
Çizelge 3.1 Yuvarlanma direnci katsayıları	40
Çizelge 3.2 Batarya model parametreleri	55

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 1882 yılında Ayrton ve Perry tarafından geliştirilen üç tekerlekli bisiklet.....	6
Resim 2.2 Morris ve Salomon'un Electrobats elektrikli aracı.....	6
Resim 2.3 1916 Detroit Electric tarafından geliştirilen ve Autoworld müzesinde sergilen EA	7
Resim 2.4 Fiat tarafından deneysel prototip olarak geliştirilen X1/23.	10
Resim 2.5 İlk seri üretimi gerçekleştirilen HEA olan Toyota- Prius.....	10
Resim 2.6 TOGG tarafından geliştirilen yerli aracımız.....	15
Resim 3.1 İmalatı tamamlanan elektrikli araç-1	31
Resim 3.2 İmalatı tamamlanan elektrikli araç-2	31
Resim 3.3 Taşıtta kullanılan ön düzen sistemleri	33
Resim 3.4 Arka tekerleklerin tahriki için kullanılan 2.5 kW elektrik motoru	35
Resim 3.5 Ön tekerleklerin tahriki için kullanılan 1.2 kW elektrik motoru	35
Resim 3.6 Motor kontrol sürücüsü.....	36
Resim 3.7 Taşıtta kullanılan bataryalar.....	36

1. GİRİŞ

Elektrikli araçlar teknolojisi ilk olarak 1835 yılında Profesör Straitingh tarafından geliştirilmiştir. Ancak o dönemlerde batarya teknolojisinin yetersiz olmasından kaynaklanan menzil problemleri gibi nedenlerden dolayı ayrıca Charles Kettering'in marş motorunu bulması ve Henry Ford'un içten yanmalı motorlu araçları seri üretimine başlamasıyla araç maliyeti düştüğünden dolayı Elektrikli Araçlar (EA) olan ilgiyi azalmıştır (Kerem 2014).

Son yıllarda artan taşıt sayısının çevreye ve insan sağlığına olumsuz birçok etkisi söz konusudur. Örneğin bir taşıtın üretimi, kullanımı ve imhası sırasında çevreye olumsuz etkileri vardır. Taşıtın üretiminde kullanılacak malzemelerin hammadde olarak çıkarılmasıyla başlayan üretim sürecinin tamamında görünen çevre etkilerinin yanı sıra, otomobilin kullanılmaya başlamasıyla çevreye ve toplum sağlığına verdiği zarar daha fazla artmaktadır. Tüm bunların yanında İçten Yanmalı Motorlu (İYM) araçların enerji ihtiyaçları fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların yakılması sonucunda oluşan karbondioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NOX) metan (CH₄), kükürt dioksit (SO₂) gibi sera gazlarının çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin yanı sıra ülke ekonomisi ve küresel güç dengelerini de bozmaktadır (Vaidyanathan vd. 2011).

Yaşanılan tüm bu çevre sorunları ve ülke planlamaları doğrultusunda EA tekrar dünya gündemine gelmiştir. 1980 yılında ABD enerji bakanlığı tarafından desteklenen ETX-1 aracı tasarlanmış ve daha sonra 1988 yılında ise araçta kullanılan alternatif akım sürücü sistemi geliştirilerek modern temeli olarak görülebilecek ETX-2 örnek model olarak prototip üretilmiştir. Batarya teknolojisi hızla gelişmeye devam ederken Hibrit Elektrikli Araçlara (HEA) geçiş olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu doğrultuda yakıt tüketimi fazla olan büyük araçlar yerine daha küçük HEA tasarlanmıştır. 1997 yılında ilk olarak seri üretim HEA Toyota firmasının Prius modeli olmuştur. Dışardan şarj sistemine ihtiyaç duymayan bu araç yenilikçi teknolojisiyle otomotiv sektöründe devrim niteliği taşımaktadır (Larmine vd. 2003, Chau vd. 2002).

Günümüzdeki elektrikli araçların temel problemlerinin başında menzil gelmektedir. Bu sorunun çözümü için batarya kapasitesinin artırılması ve batarya sistemlerindeki değişik yeni teknolojiler bir çözüm oluştursa da motorları tahrik etmek için kullanılan enerjinin doğru kullanılması gerekmektedir. Piyasadaki elektrikli araçlar incelendiğinde, konvansiyonel araçlarda kullanılan vites kutusu ve diferansiyel mekanizmasının da bu araçlarda kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan bu güç aktarma sistemlerindeki kaybedilen enerjinin yanında taşıtın ağırlığı arttığı için taşıt tarafından ekstra enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca güç aktarma sistemlerin boyutu büyük ve ağır olduğu için taşıt da fazladan yer işgal etmekte ve taşıtın aerodinamik yapısını da etkilemektedir. elektrikli araçlar da kullanılan elektrik motorlarının kullanım alanlarına göre birçok çeşit de ve boyut da bulunduğu ve ayrıca İYM'lere oranla daha iyi kontrol edildiklerinden dolayı elektrikli araçlar tasarım olarak birçok esneklik taşımaktadırlar. Oluşan bu kolaylıkla elektrikli araçlarda güç aktarma sistemlerinin hiçbirine gerek duyulmadan HUB motor teknolojisiyle direk olarak tekerleklere yerleştirilebilmektedir. Dört tekerleğe dört ayrı motor yerleşilebildiği gibi iki tekerleğe iki motor ile de kontrol sağlanabilmektedir. Bu da menzil artırımını önemli oranda etkilemektedir (Aggarwal 2013).

1.1 Tezin Amacı

Literatür çalışmaları incelendiğinde elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmaların birçoğunda güç elektroniği yönetimi ve elektronik kontrol konuları ele alınmaktadır. Bununla birlikte elektrikli araçların taşıt dinamiği açısından matematiksel tasarımı üzerine çalışmaların yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada dört tekerlekten tahrikli elektrikli bir taşıtın taşıt dinamiği matematiksel olarak tasarlanması ve gerçekleştirilmesinin yapılması amaçlanmıştır. MATLAB/SIMULINK'de matematiksel olarak modellenen elektrikli bir taşıtın gerçekleştirilmesinin yapılması üzerine durulmuştur. Ayrıca modellenen taşıtta farklı tahrik sistemleri ve taşıt direnç parametrelerinin simülasyonu yapılarak elektrikli araçlarının motor parametreleri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Yapılan Çalışmalar

Son dönemlerde elektrikli araçlara olan ilginin artmasıyla yapılan çalışmalar da artmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak elektrikli araçlar farklı farklı alt sistemlere ayrılmıştır. Yapılan bu ayrıştırma çeşitli bilgisayar programları vasıtasıyla simülasyonu, elektronik diferansiyel ve motor kontrolünün farklı yöntemlerle sağlanması ve optimizasyonu, elektrikli araçların çevresel, ekonomik vb. etkilerinin sınıflandırılması ve elektrikli araçlarda kullanılan farklı motor ve batarya türlerinin incelenmesi olarak sıralanabilmektedir.

Mahmoudi vd.(2015) yaptıkları çalışmada elektrikli araçların geçmişten günümüze kadar kullanılan tahrik sistemleri açıklanmaktadır. Anlatılan her bir elektrikli aracın alt kategori konseptlerinin son teknolojisi gözden geçirilmiştir. Tahrik sistemlerindeki ana problemleri ve çözümlerini vurgulayan güç yönetimi stratejilerini ve şarj tekniklerini detaylandırmaktadır. Ayrıca elektrikli araçların kontrol yöntemlerini incelemiş ve kural tabanlı kontrolörlerin uygulamasının kolay olduğunu ancak gerçek enerji tüketimi optimizasyon tabanlı yöntemler kullanılarak sağlanabileceğini vurgulamıştır. Shareef vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçların çevreye ve ülke ekonomilerine olan etkilerinden bahsedilmektedir. Ayrıca elektrikli araçların şarj sistemleri ve şarj istasyonları hakkında kapsamlı bir inceleme sunulmuştur. Gelişen teknolojiyle birlikte elektrikli araç pazarının günümüz ve gelecekteki beklentileri üzerine genel bir yaklaşım sunulmaktadır.

Hofer vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada hafifletilmiş malzemeler kullanılarak yapılan ağırlık azaltmanın İYM ve Tüm Elektrikli Araçlarda (TEA) enerji kullanımı ve üretim maliyetleri üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Genel kullanım modellerine bağlı olarak İYM ve TEA'lar benzer sonuçlar göstermiş olup %22 ile %39 arasında bir enerji tasarrufunun sağlandığı tespit edilmiştir. Elektrikli araçlarda ayrıca güç aktarma sistemleri yeniden boyutlandırılır veya ortadan kaldırılırsa ağırlık önemli oranda azalmış olacağından aynı menzil ve performans için kullanılan batarya kapasitesi

azalacak ve motor küçüleceğinden dolayı Elektrikli araçların satış maliyetlerinin de önemli oranda azalacağını vurgulanmıştır. Bull (2017), tarafından yapılan bu çalışmada Elektrikli araçların alüminyum şaseden yapılmasıyla ağırlığın önemli oranda azalmasından dolayı daha az pil gücü ihtiyacı olacağı ve satın alma maliyetinin düşeceği vurgulanmıştır.

Mutoh (2009), yaptığı çalışmada başlangıçtan maksimum hıza kadar etkili tork üretimi, kullanılan sistemle beraber taşıt menziline artması ve çalışma performanslarının yükseltilmesi için yeni bir tahrik sisteminin geliştirilmesini amaçlamıştır. Çalışmasında birden fazla ve farklı türlerdeki motorlar ile taşıt tahrik ettirilmiştir. Ayrıca kullanım alanlarına göre seçilecek motor türleri ve belirlenen motor türlerinin taşıt parametrelerine uygun olarak örneğin düşük hızda veya yüksek hızlarda çalışmalarının kontrolü sayesinde enerji verimliliğinin sonucuna varmıştır.

Hartani vd. (2015) yapmış oldukları çalışmada dört tekerlekten dört adet Sabit Mıknatıslı Sekron Motor (SMSM) kullanılmasıyla tahrik edilen bir taşıt mimarisi geliştirmişlerdir. Bu çalışmada tüm motorlar tek invertör kullanılarak kontrol edilmiş ve bu kontrol için elektronik diferansiyel sisteminin oluşturulması için master-slave tabanlı DTC stratejisi geliştirilmiştir. Tüm bu sistem MATLAB/SIMULINK' de modellenmiş ve EA'lar da kullanım için yeni bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. Jiang vd. (2008), ise dört tekerlekten tahrikli EA'ların bağımsız sürüş kabiliyeti ve enerji verimliliğini artırdığını düşünmektedirler. Yaptıkları çalışma ile üst seviye bir kontrol algoritması tasarlamışlar ve prototip olarak bir taşıt geliştirmişlerdir. Geliştirilen aracın dinamometre testleri yapılarak motorların verimlilikleri ölçülmüştür. Ayrıca yapılan çalışmada taşıtların aks tahriklerine göre enerji kullanımları, sürüş döngülerindeki enerji verimliliği simülasyonu optimize edilerek taşıtın kontrol algoritması düzenlenerek toplam enerji kullanımının kilometre başına 0,117-0,426 *kJ*'e kadar azaltılabileceğini göstermektedirler.

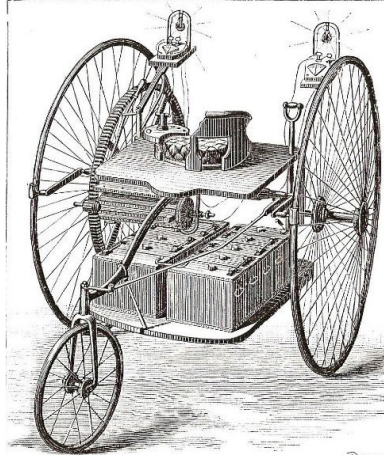
Park vd. (2015), ise yine HUB motor teknolojisinin önemini vurgulamış ve MATLAB/SIMULINK ve CARSIM gibi programlarda yol şartları ve taşıt parametrelerine uygun olarak kontrol algoritması geliştirmeye çalışmışlardır. Belirlediği

parametrelere göre bulanık mantık teoremini kullanarak optimizasyonu sağlamaya çalışmışlardır. Kahveci (2013), yaptığı çalışmada Fırçasız Doğru Akım Motoru (FDAM) kullanarak bulanık mantık tabanlı Elektronik diferansiyel sistemini değişik çalışma koşulları altında kontrolünü sağlamaya çalışmıştır. Ayrıca motorların hız denetimi için PI, histerezis bant ve bulanık mantık denetleyicilerin birlikte kullanıldığı bir model geliştirmiştir. Elde ettiği denetim modellerini aracın düz ve virajlı yollarda veya yokuş durumundaki istenilen performans değerlerine göre oluşturmaya çalışmıştır. Köse vd. (2013) yaptıkları çalışmada sabit mıknatıslı fırçalı bir Doğru Akım (Direct Current (DC)) motorunun hız kontrolü, PID ve Bulanık Mantık kontrol yöntemleri kullanılarak gerçek zamanlı uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Sistem girişine farklı ve sürekli değişen referans sinyalleri uygulanarak motor hızının her iki kontrol yönteminde de istenilen referans değerinde tutulmasını amaçlamışlar ve PID ve Bulanık mantık kontrol yöntemleriyle elde edilen deneysel sonuçları karşılaştırılmışlardır. Aktaş vd. (2020) yaptıkları çalışmada, elektrikli araçlarda kullanmak amacıyla 20 hücreli batarya paketi için pasif hücre dengeleme metodu temel alınarak Batarya Yönetim Sistemi (BYS) tasarlanmışlar ve üç hücreli BYS uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Li-ion bataryalar kullanılarak tasarımda 20 adet seri batarya hücresinin dengelenmesini pasif şekilde yapabilecek; aşırı gerilim, düşük gerilim ve sıcaklık koruması olan ve ayrıca bataryaların SoC'lerini belirleyebilen, merkezi BYS yapısında bir kartın tasarımı gerçekleştirilmiş ve donanımsal devrenin gerçek çalışma durumu test etmişlerdir.

2.2 Elektrikli Araçlar

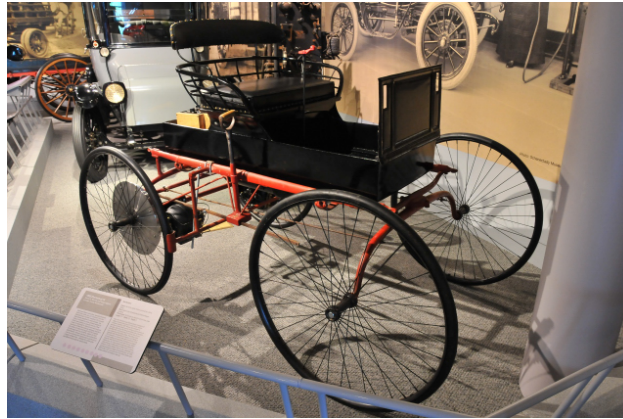
EA'ların tarihi incelendiğinde, 1800 yılında Alessandro Volta tarafından geliştirilen elektrik enerjisinin depolanması konusundaki ilk başarılı girişimiyle başlayan ve daha sonra volta yığını olarak adlandırılan bataryanın doğuşuyla başlamıştır. Bir sonraki en önemli olay ise Michael Faraday, 1821 yılında elektrik motorunun temel prensiplerini açıklamasıyla elektrik ve elektronik teknolojisinin temellerini atmıştır. Tüm bu gelişmeler hafif bir elektrikli aracın var olabileceğini düşündürmüştür. İlk olarak 1835 yılında Hollanda'nın Groningen kentinde Profesör Stratingh tarafından küçük bir model üretilip sergilenmiştir. ABD'de ise 1837 yılında Thomas Devenport'un EA geliştirdiği söylenmektedir (Westbrook 2007).

Farklı EA denemeleri yapılsa da 1874 yılında bugün genel olarak İYM araçların marş aküsü olarak kullanılan kurşun-asit bataryaların geliştirilmesiyle, değiştirilebilir bataryalara sahip EA yaygınlaşmaya başlamıştır. 1882 yıllarında İngiltere’de William Ayrton ve John Perry sürücünün altına yerleştirilmiş doğru akım motoru ve 1,5 kWh kapasiteye sahip on kurşun asit batarya kullanarak üç tekerlekli bir taşıt geliştirmişlerdir (Resim 2.1).



Resim 2.1 1882 yılında Ayrton ve Perry’nin geliştirdikleri üç tekerlekli bisiklet (Westbrook 2007).

1895 yılında ise Morris ve Salomon’un geliştirdiği iki kişilik “Electrobats” isimli EA belki de dönemin en önemli hamlesi olmuştur. Geliştirdikleri bu araç Resim 2.2’de görülmektedir. 1896 yılında ise İngiltere’de “Londra Elektrikli taksi Şirketi” (London Electrical Cab Company) tarafından geliştirilen ve 48 km menzile sahip olduğu söylenen 15 ticari taksi kullanılmaya başlanmıştır.



Resim 2.2 Morris ve Salomon'un Electrobats elektrikli aracı (İnt. Kyn. 1).

1897 yılında Paris'te M.A. Darracq tarafından tanıtılan EA'da ise şimdiki teknolojik EA vazgeçilmezi haline gelen rejeneratif frenlemenin kullanıldığı ilk araç olarak literatüre geçmiştir. EA'daki tüm bu gelişmeler devam ederken İYM araçlarda hızla gelişimini sürdürmeye devam etmektedir. 1900'lü yıllarda EA'nın maliyeti fazla olmasına rağmen Amerika'da satılan araçların yaklaşık %38'i EA'dır. EA, İYM araçlara olan üstünlüğü 1899 yılında yapılan yarışta elektrikli bir taşıtın hız rekoru elde etmesiyle tescillenmiştir. Bu araç Fransa'da Camille Jenatezy tarafından geliştirilmiş ve yarış için özel olarak yapılmış elektrikli yarış arabasıyla 100 km/h'i aşan ilk taşıt olarak tarihe geçmiştir. Mermiye benzer aerodinamik yapıya sahip bu taşıt da ayrıca pnömomatik lastik kullanılmıştır. Sahip olduğu bu hız rekoru ancak 3 yıl sonra benzinli İYM bir araç tarafından egale edilmiştir (Leitman 2009).

1901'den 1930'lu yıllara kadar özellikle Amerika, İngiltere ve Fransa'da EA üreten birkaç şirket tarafından günlük kullanıma uygun araçlar geliştirmiştir. 1915 yılında Detroit elektrik tarafından geliştirilen ve nikel-demir pil kullanılan EA kullanıcılarına sessiz, temiz ve güvenilir bir sürüş sunmasının yanında 40 km/h maksimum hıza çıkabilmekte ve tek şarjla 129 km menzile sahipti. Bahsedilen bu taşıt Şekil 2.3'de gösterilmiş ve günümüzden Autoworld müzesinde sergilenmektedir. O dönem şartlarında EA piyasa için daha caziptir. Çünkü İYM araçlar manuel olarak çalıştırılmaları ve diğer bir rakip olan buhar motorlu araçların termal verimsizliği EA'lar üzerindeki ilgiyi arttırmaktadır (Chan 2011).

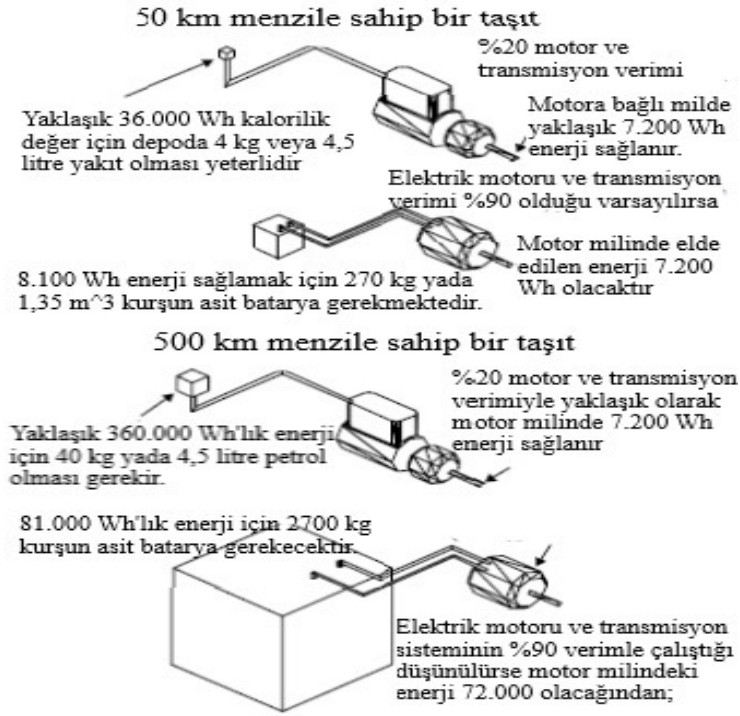


Resim 2.3 1916 Detroit Electric tarafından geliştirilen ve Autoworld müzesinde sergilen EA (İnt. Kyn. 2).

EA'da menzil ve performans arttırmaya yönelik yeni araştırmalar devam etmiştir. Belki de bunların en iyisi elektrik ve benzinli motorların birlikte kullanıldığı hibrit otomobil çalışmaları gösterilebilir. 1900 yılında Fransa'da geliştirilen "Elektroautomobile" ve 1903 yılında Kringer'in geliştirdiği hibrit araç en büyük örneklere olarak gösterilebilir. Ferdinand Porsche ise hibrit araç yerine tekerlek gbklerine yerleştirilen (HUB) iki adet elektrik motoru kullanarak EA'lara yeni bir yaklaşım kazandırmıştır. 1902 yılında Lohner-Porsche dört tekerlekten de 1,5 kW elektrik motorlarıyla tahrik edilen ve 1800 kg'lık batarya kullanarak geliştirdikleri yarış aracı o dönemin en yenilikçi çalışması olmuştur. Ayrıca Porsche deneysel olarak geliştirdiği ve "Mixt-Wagen" isimli HEA geliştirilmiştir. 1912 yılında ise 1750 dolar gibi yüksek bir maliyete satışı yapılan Centruy Electric Roadster geliştirilmiştir (İnt. Kyn. 3).

EA'ların altın çağını yaşadığı bu yıllarda maliyet problemleri bir adım ne çıkararak var olan bu ilgiyi azaltmaya başlamıştır. Örneğin Woods hibrit araç 2650 dolara satışı yapılırken 1909'da 850 dolara satılan kitlesel olarak üretilen Model T, 1925 yılında 260 dolara satılmaktaydı (Leitman 2009). Aynı yılda EA ise 1750 dolar civarlarında satışı yapılmaktaydı. İYM araçlardaki bu gelişmelerin yanında petrol türevi yakıtların özgül enerjisinin, akülere nazaran daha fazla olmasıdır. Örneğin tipik bir kıyaslama yapılacak olursa benzinin özgül enerjisi 9000 Whkg^{-1} iken, kurşun asit bir akünün özgül enerjisi 30 Whkg^{-1} civarındadır. O dönem Şartlarında bile toplam verimlilik %20 civarlarında olduğu düşünülürse İYM'nin verimi 1800 Whkg^{-1} olurken, %90 verimlilikle alışan EA sadece 27 Whkg^{-1} enerji elde edilir. Yani 50 km hareket ettirilecek bir taşıt 4 kg ağırlığında ve 4.5 litre yakıtla İYM araçta sağlanırken, Elektrikli bir taşıt da ise aynı enerji 270 kg ağırlığında kurşun asitle sağlanabilir. Bir de dolun süreleri düşünülürse bataryanın Şarj süresi minimum birkaç saat sürerken benzinin dolunu sadece birkaç dakika da doldurulabilir. Bu durumlar göze alındığında 20. Yüzyılda İYM nin piyasada üstünlüğünü kurarken 1930'larda EA'lar yok olmaya başlamıştır (Larmine vd. 2003).

Şekil 2.1'de o dönem Şartlarında batarya teknolojisindeki yetersizlik bir İYM taşıtla karşılaştırılarak anlatılmıştır.



Şekil 2.1 19.yy başlarında İYM ve EA'ların yakıt verimliliklerinin karşılaştırılması (Larminie 2013).

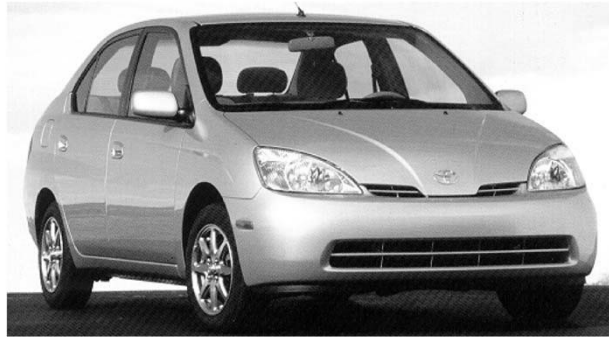
1960 yılına kadar EA üzerine çok az çalışma yapılmıştır. Artan taşıt sayısına paralel olarak çevre kirliliği sorunları dikkat çekmiş ve yeni araştırmalar başlamıştır. İlk ciddi çalışma 1966 yılında Enfield şirketi tarafından şehir içi kullanıma yönelik geliştirilen bu araçta, kurşun-asit batarya kullanılırken 8.000 adet üretilmiştir. 15 Ekim 1973 yılında OPEC petrol krizi petrol fiyatlarının aşırı artmasına sebep olmuştur. Petrol fiyatlarındaki bu artış EA tekrar gündeme gelmesine sebep olmuştur. 1980'li yıllarda gelindiğinde ABD, İngiltere, Almanya, Japonya gibi o dönemin otomotiv endüstrisinde söz sahibi olan ülkeler EA üzerine AR-GE çalışmalarını başlatmış, deneysel ve prototip amaçlı bir çok EA geliştirilmiştir. Özellikle ABD'de konvansiyonel araçların EA'a çevrilmesi üzerine birkaç çalışma başlatmıştır. 1976 yılında İtalyan taşıt üreticisi Fiat tarafından geliştirilen 2 kişilik şehir arabası konseptiyle deneysel bir prototip olarak Fiat X1/23'ü geliştirmiştir. Geliştirilen taşıt da 14 kW elektrik motoru kullanılmış ve rejeneratif fren sistemi ile desteklenerek 80km menzile dönemin en kapsamlı taşıtı olmuştur (Leitman 2009). Bu taşıt Resim 2.4'de görülmektedir.



Resim 2.4 Fiat tarafından deneysel prototip olarak geliştirilen X1/23 (İnt. Kyn. 4).

1980’li yıllarda çevresel sorunların artmasına kayıtsız kalamayan hükümetler EA’lara ilgi duymaya ve prototip araç geliştirilmesi için otomotiv firmalarına maddi desteklerini artırmıştır. ABD enerji bakanlığı tarafından desteklenen ve Ford/GM tarafından prototip olarak ETX-1 geliştirmiştir. İlk geliştirilen bu araçta 200V’luk kurşun-asit bataryalar kullanılmış ve Darlington transistör tabanlı invertör ile birlikte 37 kW’lık 2 fazlı AC motoru tahrik etmek için kullanılmıştır. Ford Araştırma Laboratuvarlarında sodyum-sülfür batarya teknolojisi geliştirilmiş ayrıca elektrik motoru ve invertörlerdeki gelişmeler sonucunda 1988 yılında ETX-2 prototipi üretilmiştir. 160 km menzil, 96 km/h hızı olan ve sodyum-sülfür batarya kullanılan bu araç ABD enerji bakanlığına teslim edilmiştir.

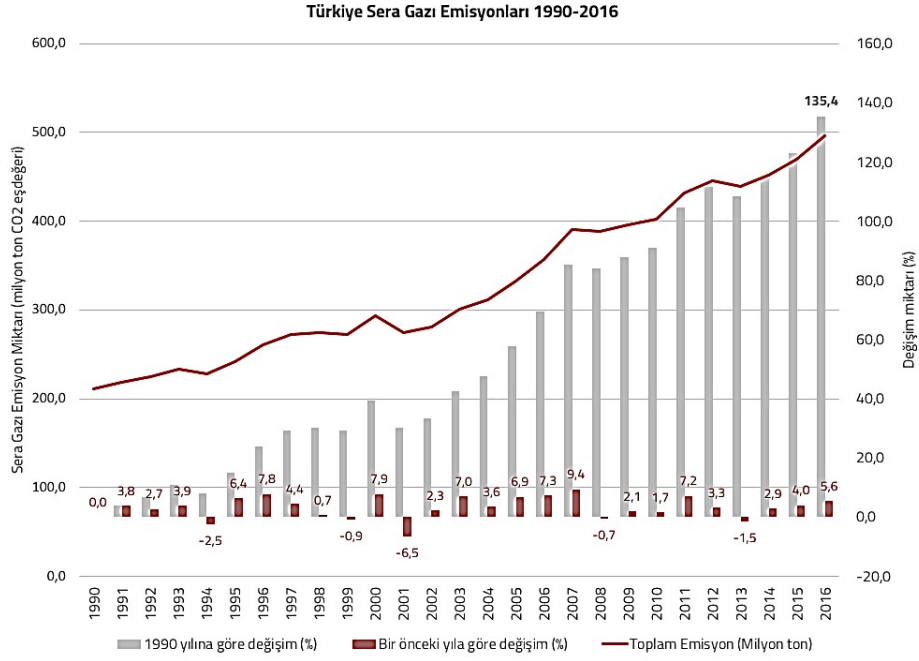
EA’ların günümüzde de devam eden temel sorunları menzil ve satın alma maliyetlerinin fazla olmasıdır. O dönemler de bu sorunlar EA’ların seri üretime geçmesine engel oluşturmaktaydı. 1997 yılında ise seri üretime geçen ilk HEA olan “Prius” Toyota tarafından piyasaya sürüldü. Dışardan şarj sistemine ihtiyaç duymayan bu araç dünya piyasasına damga vurdu. Geliştirilen bu araç Resim 2.5’de görülmektedir.



Resim 2.5 İlk seri üretimi gerçekleştirilen HEA olan Toyota- Prius (İnt. Kyn. 5).

21.yüzyılın başlarında neredeyse tüm otomotiv firmaları seri üretim olarak HEA çıkarmaya başlamıştır. Bu dönemlerde özellikle pil teknolojisindeki gelişmeler ve lityum-iyon pillerin EA'larda kullanılmasıyla menzil önemli oranlarda artırılmış oldu. HEA'nın sağladığı yakıt tasarrufu ve farklı hibrit türleriyle emisyon değerlerinin düşürülmesi ve yakıt tasarrufunun sağlanmasından dolayı EA'a olan ilgi artırmıştır. 2003 yılında bir grup mühendis tarafından kurulan Tesla ise 2006 yılında dünyaya tanıttığı ve 2008 yılında üretime başlanan Tesla Roadster modeliyle otomotiv sektörünü tamamıyla değiştir. Lityum-iyon batarya kullanılan ve tam bir şarjda 320 km'den fazla gidebilen bu spor aracın maksimum hızı 201 km/h iken 0-100 km/h hıza sadece 3,9 saniyede ulaşabilmektedir.

2000'li yıllarda başlayan çevresel kaygılar ve 2008 krizi sonucunda zirveye ulaşan ekonomik kaygılarla beraber aşırı yakıt tüketen büyük araçlar yerlerini küçük çevre dostu araçlara yöneltmiştir. Bu yönelimin temel iki sebebi vardır. Bunlardan ilki petrol fiyatlarındaki artış ve gelecekteki petrol rezervlerinin tükenme ihtimaline karşılık endüstriyel bir olarak hazırlanmasıdır. İkinci temel problem ise ulaşımdan kaynaklanan çevresel problemlerdir. Özellikle dizel araçlarda egzozdan atılan partikül maddelerinin azaltılması hatta sıfır emisyonlu araçlara geçilmesi gerekmektedir. Aralık 2015 yılında açıklanan ve Kasım 2016 yılında yasalaşan Paris Anlaşmasına göre küresel sıcaklık artışının 1,5 santigrat derecenin altına düşürülmesi için yapılan çalışmaların devamı yönünde yapılan anlaşmaya varılmıştır. Bu anlaşma sonucunda emisyon standartlarına uymakta zorlanan birçok firma dizel araç üretimini durdurmuştur. Şekil 2.2'de Ülkemizdeki sera gazının yıllara göre artışı gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere yıllara göre artan sera gazının toplum sağlığı için etkilerinin artacağından dolayı önlemlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 2.2 Türkiye’de Kümülatif Sera Gazı Emisyonları (İnt. Kyn. 6).

Tüm bu gelişmeler sonucunda birçok firma EA veya HEA olarak geliştirdikleri modelleri piyasada yer edinebilmek için piyasaya sürmeye başlamıştır. Ülkemizde 2012 yılından itibaren görülmeye başlayan bu araçlar TEHAD üçüncü çeyrek verilerine göre EA ve HEA sayısı marka ve model olarak ayrıca son beş yıla ait satış rakamlarıyla birlikte Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 TEHAD Ekim 2019 Raporuna göre Türkiye’de satılan EA ve HEA sayısı ve yıllara göre karşılaştırılması.

Marka- Model	Segment	2019	2018	2017	2016	2015
BMW İ3(i3sdhl) Elektrikli	C2	25	37	35	24	83
BMW İ8 (Roadster dhl) Plug-in Hibrit	F6	1	5	16	51	106
VMW 740L xDrive Plug-in Hibrit	F1	4	10	-	-	-
Hyundai IONIQ Hibrit	C1	13	220	166	-	-
Honda NSX Hibrit	F6	-	3	1	-	-
Honda CR-V Hibrit	D7	2	-	-	-	-
İnfiniti Q50 Hibrit	D1	-	0	-	1	-
Jaguar I-PACE Elektrikli	E7	76	38	-	-	-
Kia NIRO Hibrit	C2	3	199	118	-	-
Land Rover RR SPORT SE Hibrit	F7	22	0	-	-	-
Land Rover RR Hibrit	F7	94	0	-	-	-
Lexus LS500 Hibrit	F1	0	6	4	1	-
Lexus GS300 Hibrit	E1	1	2	4	-	-
Lexus CT200 Hibrit	C2	6	18	5	-	-
Lexus IS300 Hibrit	D1	2	8	13	-	-
Lexus ES Hibrit	D1	6	1	-	-	-
Lexus NX300 Hibrit	D7	2	8	13	-	-
Lexus RX450 Hibrit	E7	2	4	2	2	-
Mercedes Benz C200 Hibrit	D1	-	2	-	-	-
Mercedes Benz GLC350e Plung-in Hibrit	E7	3	13	-	-	-
Porsche PANEMERA Plung-in Hibrit	F1	-	-	-	-	-
Renault ZOE Elektrikli	B2	26	79	42	20	36
Smart EQ Elektrikli	A6	11	1	-	-	-
Toyota AURİS Hibrit	C2	14	364	314	-	-
Toyota AURİS Touring Hibrit	C3	-	51	-	-	-
Toyota C-HR Hibrit	C7	1677	2576	3381	28	-
Toyota CAMRY Hibrit	E7	13	-	-	-	-
Toyota COROLLA Hibrit	C1	5302	-	-	-	-
Toyota PRIUS Hibrit	C2	1	2	4	-	-
Toyota RAV4 Hibrit	D7	205	254	248	-	-
Toyota YARİS Hibrit	B2	47	126	163	835	-
Volvo S90 Plung-in Hibrit	E1	-	0	-	-	-
Volvo XC60 Plung-in Hibrit	E7	-	0	-	-	-
Volvo XC90 T8 Plung-in Hibrit	F7	7	11	11	32	-
ELEKTRİKLİ		138	155	77	44	119
HİBRİT		7424	3876	4451	950	106
TOPLAM		7562	4031	4528	994	225

*TESLA'nın distribütör kanalı olmadığından, DMA ve Renault Fluence ZE üretimleri olmadığından satış rakamları mevcut değildir. Ülkemizde bilinen 300 adet Tesla marka otomobil bulunmaktadır.

EA ve şarj edilebilir HEA'ların yaygınlaşmasıyla beraber şarj problemleri de artmaya başlamıştır. Bu araçların enerji sistemlerinden şarj edilmesi enerji yükünü olumsuz etkileyeceği ve şarj süresinin artacağından dolayı özellikle kamuya açık alanlarda ve daha çok araçların park edildiği bölgelerde kurulacak olan şarj istasyonlarıyla bu sorun ortadan kalkabilir. Dünya genelinde bu şarj istasyonları büyük otopark ve alışveriş merkezlerinin otoparklarında kurulmaya devam etmektedir. Ülkemizde Mart 2019 TEHAD verilerine göre 11 firmanın yatırımlarıyla gerçekleştirilen şarj istasyonlarında toplam 582 adet soket sayısına ulaşılmıştır. Bu sayı birçok Avrupa ülkesinin üzerinde bir rakamdır. Ülkemizin şarj istasyon haritası Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



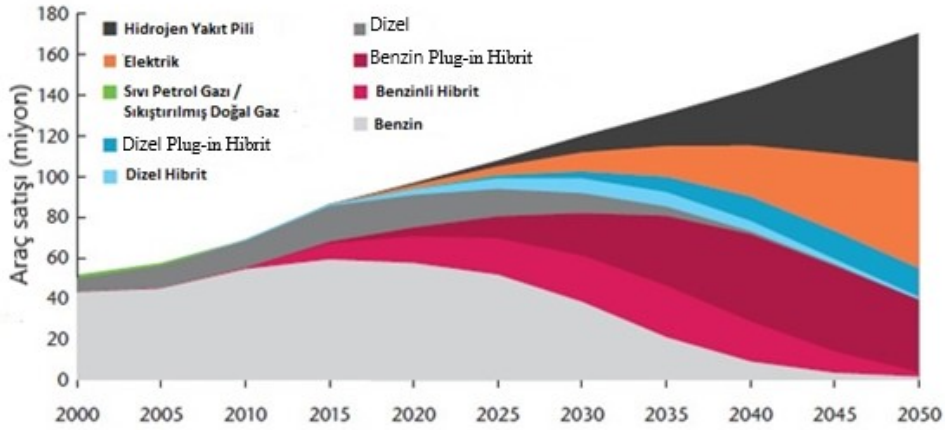
Şekil 2.3 TEHAD Mart 2019 verilerine göre şarj istasyonu haritası.

Ülkemiz de küresel taşıt üreten ülkeler arasında prestij sahibi olmak ve ülke ekonomisi için EA çalışmaları başlatılmıştır. Bu kapsamda Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu Sanayi ve Ticaret A.Ş. (TOGG) dünyayla rekabet edecek, fikri mülkiyet haklarına sahip bir otomotiv markası yaratma hedefi ile güçlerini birleştiren Anadolu Grubu, BMC, Kök Grubu, Turkcell, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Zorlu Grubu ortaklığında 25.06.2018 tarihinde kurulmuştur. İki farklı segment olarak kullanıcılarına sunulacak olan bu otomobillerde 30 dakikanın altında %80 doluluğa ulaşan şarj ve 300+ ve 500+ km menzil seçeneği sunacaktır. Resim 2.6'da ise lansman tanıtımı gerçekleştirilen yerli aracın SUV modeli gösterilmiştir (İnt. Kyn. 7).



Resim 2.6 TOGG tarafından geliştirilen yerli araç (İnt. Kyn. 7).

Çevre kirliliğinin azaltılması için emisyon azaltma politikaları ve batarya teknolojisindeki gelişmeler EA'ları daha kullanılabilir hale getireceği ayrıca tanıtımlar ve devlet destekleriyle de birlikte EA'lara olan ilginin artacağı öngörülmektedir. Bu ilginin de satışlara yansıtacağı tahmin edilirse Şekil 2.4'te 2050 yılına kadar yıllara göre farklı konfigürasyondaki öngörülen araç dağılımlarının grafiği verilmiştir.



Şekil 2.4 2050 yılına kadar öngörülen araç dağılımları (İnt. Kyn. 10).

2.2.1 Tümü-Elektrikli Araçlar

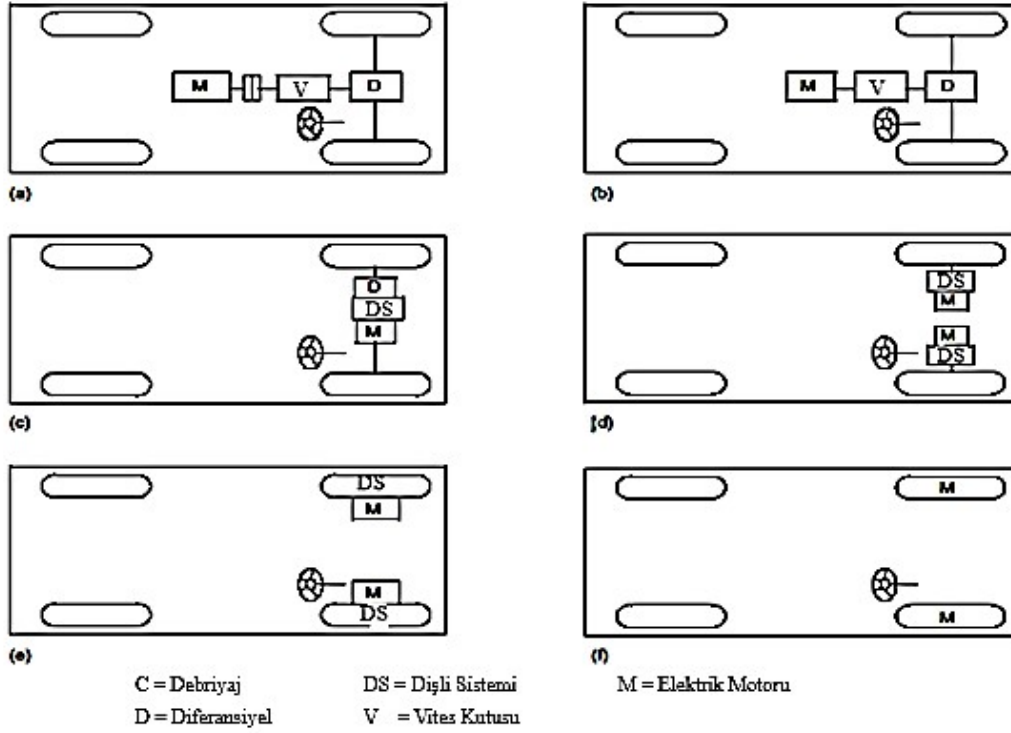
Tümü-elektrikli araçlar (TEA) çekiş için sadece bir veya birden fazla elektrik motoru kullanan ve enerji ihtiyaçlarını kimyasal piller, yakıt pilleri, ultrakapasitör veya volanlardan sağlayan taşıtlardır. TEA'larda emisyon problemlerinin olmaması, yüksek

verimliliğe sahip olmaları, petrol ve türevi ürünlerden bağımsız olmaları, sessiz ve güvenilir olmaları gibi birçok sebepten dolayı İYM araçlara göre birçok avantajları vardır. Tüm bu avantajların yanında günümüzde halen TEA'ların birçok dezavantajları da vardır. Satın alım maliyetlerinin yüksek olması veya menzil problemleri TEA'ların en büyük dezavantajlarıdır. Tüm bunların yanında elektrik enerjisinin kontrol edilebilir esnekliği taşıt üretiminde birçok kolaylık sağlar. Tahrik sisteminin dışında yardımcı alt sistemlerde de ekstra enerji veya güç kaynağına gerek yoktur. Örneğin fren sistemi veya direksiyon sisteminde hidrolik veya diğer sistemlerin kullanılmasına gerek yoktur. Ayrıca rejeneratif sistemler sayesinde kaybedilen enerjinin bir kısmı da geri kazanılmaktadır. Öte yandan %95 verimle çalışabilen bu sistemler taşıt verimliliğine de önemli oranda artırmıştır (Chan 2001).

Günümüzde çıkan birçok tümü-EA'ların tahrik sistemleri konvansiyonel araçlara benzerlik göstermektedir. Yeni teknolojiler ve AR-GE çalışmalarında ise bazı farklı konfigürasyonlar geliştirilmeye başlanmıştır. Şekil 2.5'te ise kullanılan batarya ve motor özelliklerine göre bazı TEA konfigürasyonu verilmiştir.

- a) Genel olarak günümüzdeki konvansiyonel araçların tahrik sistemine benzer olarak yerleştirilmiş bir elektrik motoru görülmektedir. Debriyaj, şanzıman ve diferansiyel gibi güç aktarma organları kullanılmıştır.
- b) Debriyaj sisteminin kullanılmadığı genel olarak otomatik şanzıman sisteminin kullanıldığı konvansiyonel araç sistemine benzer bir konfigürasyon türüdür.
- c) Genel olarak piyasada bulunan EA sistemlerinde kullanılan tahrik sistemidir. Aks üzerinde aktarma organları toparlanmıştır.
- d) İki elektrik motorunun dişli sistemiyle tork döngüsü sağlanarak yerleştirilmiş tahrik sistemidir. Mekanik diferansiyel yerine elektronik diferansiyel kullanılır ve mekanik diferansiyelin ağırlığından ve enerji kaybından oluşan verimsizlik azaltılmış olur.
- e) Genel olarak tekerleklerin göbeğine yerleştirilmiş dişli sistemiyle (örneğin planet dişli sistemi) taşıtın tork artışı sağlanmış olur. Yine mekanik diferansiyel yerine elektronik diferansiyel kullanılır.

- f) Elektrik motoru direk tekerleklerin göbeklerine yerleştirilmiştir (HUB motor). Aracın harekete geçirilmesi için yüksek tork ihtiyacı duysa da herhangi bir dişli sistemi olmadığı için yüksek verimle çalışmaktadırlar. Motorların hız kontrolleri direk olarak taşıtın hızına oranla yapılır.



Şekil 2.5 Farklı Tümü-EA konfigürasyonu (Ensani vd. 2005).

2.2.2 Hibrit Elektrikli Araçlar

İYM sahip konvansiyonel araçlar, petrol yakıtlarından kaynaklanan yüksek enerji yoğunluğunu kullanarak iyi bir performans ve geniş menzil aralıklarına sahiptir. Bununla birlikte düşük yakıt ekonomisi ve çevre kirliliğine sahiptirler. Düşük yakıt ekonomisinin en büyük temel sebebi ise özellikle şehir içi kullanımlarda dur-kalk dan kaynaklanan yakıt sarfiyatıdır. Diğer yandan TEA yüksek verimlilik ve sıfır emisyon gibi avantajları varken performans, menzil, sarj süresinin uzunluğu ve şarj istasyon problemleri gibi dezavantajları vardır. İki güç kaynağına sahip HEA'da ise, hem İYM'nin hem de EA'nın avantajlarına sahip olmalarına karşılık dezavantajlarını da önemli oranda azaltmışlardır (Bayındır 2011).

Temel olarak herhangi bir güç aktarma sisteminden, araç performans taleplerini karşılamak için gerekli gücü sağlaması, sürüş için gerekli menzili sağlayacak enerjiyi depolaması, yüksek verimlilik göstermesi ve çevreyi olabildiğince daha az kirletmesi beklenir. Genel olarak ise İYM veya hidrojen-yakıt hücresi-elektrik motoru sistemi gibi birden fazla enerji kaynağına sahip olan enerji dönüştürücülerine (güç kaynağı) hibrit araç denir.

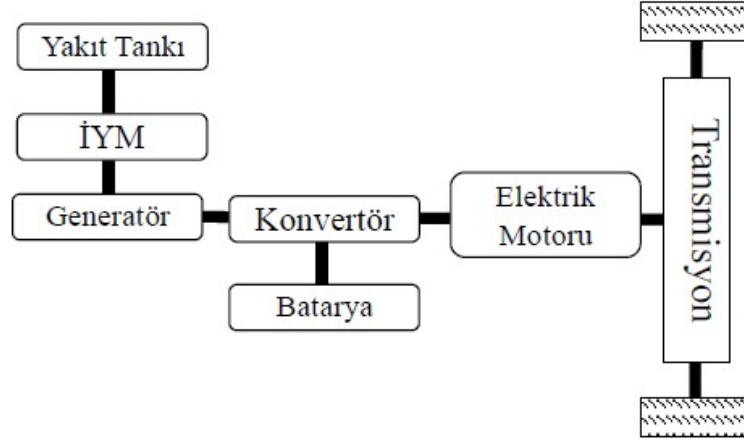
HEA'lar hibridizasyon oranı ve güç dönüştürücülerinin bağlantı durumlarına göre ve kullanım alanlarına göre farklı konfigürasyonlara ayrılır. Temel olarak üç farklı HEA tahrik sistemi vardır.

2.2.2.1 Seri Hibrit Elektrikli Araçlar

Seri HEA genel olarak TEA tahrik sistemine benzemektedir ve yapısal olarak en basit HEA tahrik sistemidir. Genel olarak araç elektrik motoruyla tahrik edilir. İYM ise direkt olarak tahrik sistemini desteklemez. Yani tekerlekler elektrik motoruyla tahrik eder. İYM ise sadece elektrik motorunun enerji ihtiyacını karşılamak için jeneratör görevi görür.

İYM'nin genel olarak tahrik sisteminde kullanılmaması yol şartlarında elektrik motorunun gerekli tork ihtiyacını karşılayamaması gibi dezavantajları olsa da İYM'nin optimum şartlarda çalıştırıldığı için yakıt tasarrufu ve emisyon değerlerinin düşük olmasıyla bazı avantajlar da sunar. Ayrıca taşıtın hareketi için tüm ihtiyaçlarını elektrik motorundan sağladığı için daha büyük elektrik motoru kullanıldığı için maliyetin artmasına sebep olur. Bu yüzden seri HEA'nın en büyük dezavantajıdır. Genel olarak büyük hacimli araçlarda tercih edilir (Mahmoudi 2014).

Seri HEA tahrik sistemi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



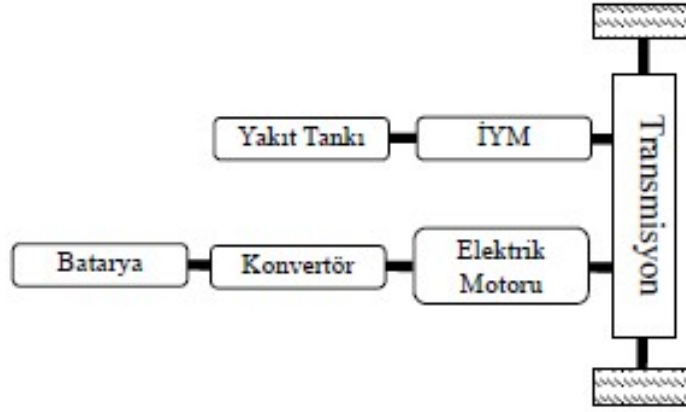
Şekil 2.6 Seri Hibrit Elektrikli Araç Tahrik sistemi yapısı (Boyraz 2019).

2.2.2.2 Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

Paralel HEA'lar da ise taşıt da bulunan iki farklı tahrik sistemi de birbirinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Bu tahrik sistemleri aynı anda kullanabildiği gibi farklı durumlarda ise tek olarak çalışabilmektedirler. Genel olarak şehir içi kullanımlarda elektrik motoru kullanılırken belirli devirlerin üzerinde ise İYM kullanılır. Dolayısıyla paralel HEA da İYM tahrik sistemine direkt olarak katkı sağlar. Bu da seri HEA'nın bazı dezavantajlarını ortadan kaldırır. Örneğin İYM'nin düşük hızlardaki verimsizliği elektrik motorundan sağlanırken, Yüksek hızlardaki taşıtın tork ihtiyacı ise İYM ile sağlanır. Bu da taşıtın verimliliğini artırdığı gibi emisyon değerlerini de düşürür. Ayrıca Seri HEA da olduğu gibi rejeneratif frenleme ile bataryalar sarj edilebildiği gibi yüksek hızlarda genellikle elektrik motoru geri besleme yaparak bataryaları şarj eder.

Paralel HEA da gerekli enerji tamamen elektrik motorundan sağlanmadığı için TEA'a oranla daha az maliyetlidir. Çünkü hem daha düşük boyutlarda elektrik motoru kullanılır hem de daha az kapasiteli bataryalar tercih edilir (Mahmoudi 2014).

Paralel HEA tahrik sistemi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

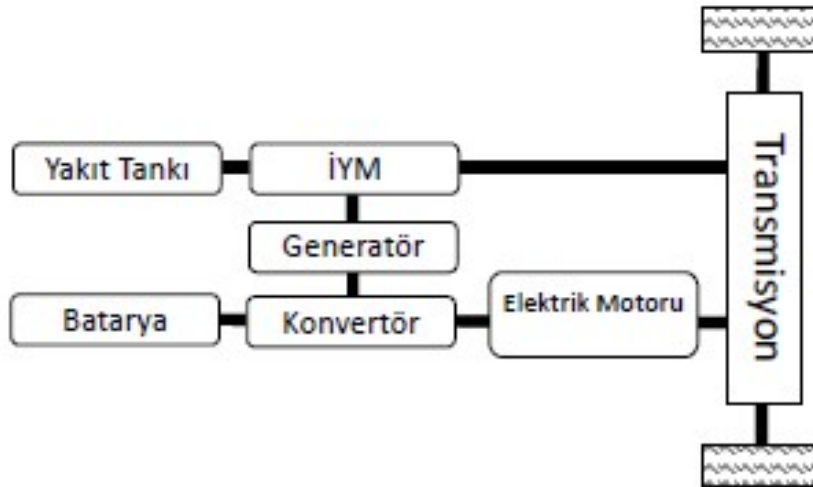


Şekil 2.7 Paralel Hibrit Elektrikli Araç Tahrik sistemi yapısı (Boyras 2019).

2.2.2.3 Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

Seri ve paralel HEA tahrik sistemlerinin avantaj ve komplikasyonlarını birleştirir. İYM hem tekerlekleri doğrudan tahrik edebilir (Paralel Hibrit) hem de elektrik motoruna güç sağlayabilir (Seri Hibrit). Bu sistem taşıtın güç ihtiyaçlarını daha dengeli olarak motorların uygun verimlilikte çalışmasını sağlar. Yani taşıtın kalkış anında ve yüksek devirlerde paralel hibrit gibi çalışırken düşük devirlerde ise seri hibrit gibi çalışır. Bu yakıt tasarrufu ve performans sağladığı gibi klasik bir paralel HEA’ya nazaran yüksek maliyete sebep olur. HEA’ın piyasaya yayılmasında en büyük etken olan Toyota Prius ise seri-paralel HEA’a örnek olarak gösterilebilir. (Mahmoudi 2014).

Seri-Paralel HEA tahrik sistemi Şekil 2.8’de gösterilmiştir



Şekil 2.8 Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araç Tahrik sistemi yapısı (Boyras 2019).

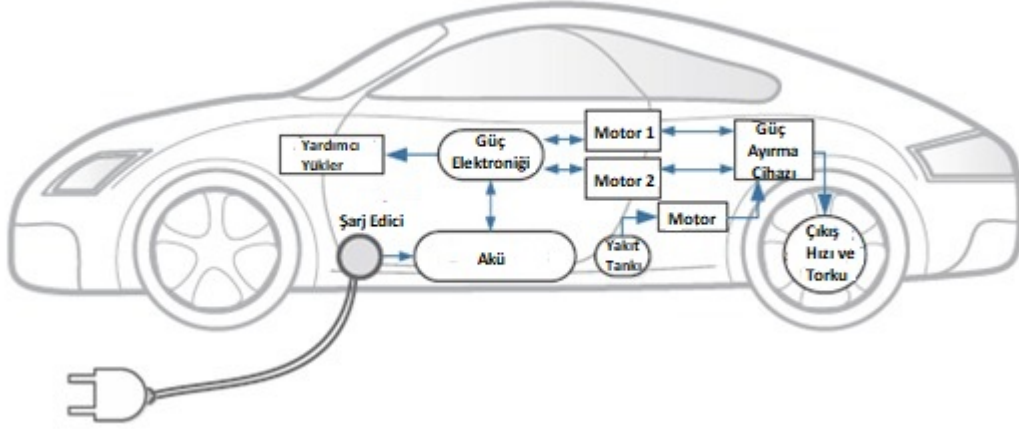
2.2.3 Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar

Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEA) hem elektrik hem de petrol türevi yakıtlarla çalışan HEA'lar ve EA'ların işlevlerini büyük ölçüde birleştirir. TEA'lara nazaran daha küçük pil kapasitelerine sahip olmalarına rağmen klasik bir HEA'dan beş kat daha fazladır. Büyük pil kapasiteleri PHEA'ların mümkün olduğunca tamamen elektrik modunda çalışmasını sağladığı için yakıt tüketimini önemli oranda azaltır. ABD Ulusal Laboratuvarları tarafından hazırlanan rapora göre konvansiyonel bir araca göre PHEA % 45 oranında yakıt tasarrufu sağlar. Yakıt tüketimine bağlı olarak emisyon değerleri azalacağı için daha çevreci araçlardır. Bununla birlikte pil maliyetlerinden dolayı TEA'lara nazaran elektrikli sürüş menzilleri daha azdır. Bu nedenle elektrikli sürüş modu genel olarak şehir içi kullanımlarda sınırlı kalır. Akü gücü belirli bir seviyeye kadar deşarj edildikten sonra EA modundan çıkarak daha çok HEA modunda çalışmaya başlar ve menzil sorunu ortadan kaldırılır. Araç kullanıcıları tarafından tercih edilmelerinin temel sebebi ise bu özelliği gösterilebilir. Ayrıca şehir içi kullanımlarında İYM ve bileşenleri normal taşıtlara göre küçüldüğünden ve daha az kullanıldıkları için bakım masraflarını önemli oranda azaltır (Yang vd. 2016).

Batarya kapasitesinin düşük olmasının elektrikli tahrik menzilini kısaltmasına rağmen PHEA'ların şebekeden şarj edilebilir hale getirir. Bu da kamuya ait şarj istasyonu aramak yerine garaj ve evlerde şarj edilebilme avantajı sağlar. PHEA'larda aküyü şarj etme özelliği, aracı doğrudan harici elektrik prizlerine takarak HEA'lara kıyasla bir başka önemli fark yaratır.

HEA'larda olduğu gibi PHEA'larda Seri, Paralel, Seri-paralel gibi konfigürasyonlar da güç dönüştürücülerinin mekanik ve elektronik bağlantıları benzer bir şekilde bağlanabilir.

Şekil 2.9'de ise örnek olarak seri-paralel bağlı Plug-in HEA tahrik sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Seri-Paralel Plug-in Hibrit Elektrikli Araç Konfigürasyonu (İnt. Kyn. 10).

2.3 Hibrit ve Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motor Türleri

Motor, aküden aldığı elektrik enerjisini, aracın hareket etmesini sağlayan mekanik enerjiye dönüştürür. Aynı zamanda, rejeneratif eylem sırasında enerjiyi bataryalara geri gönderen bir jeneratör görevi görür. İhtiyaçlarına göre, EA'lar da farklı fonksiyonları gerçekleştirir.









EA'lar da kullanım alanı ve tasarlanan taşıt tahrik sistemine göre farklı sayılarda elektrik motoru kullanılabilir. Örneğin Toyota Prius'da tek bir elektrik motoru kullanılırken Acura NSX'de üç tane elektrik motoru kullanılır. Bir elektrik motorundan ise yüksek tork, verimlilik, düşük maliyet ve sağlamlık beklenir. Genel olarak önceki yıllar da EA'larda DC motorları tercih edilse de motorların verimsizliği ve hantal oluşu ayrıca güç elektroniğinin genişlemesi ve ilerleyen otomotiv teknolojisi farklı motor türlerinin geliştirilmesine sağlamıştır.

Piyasada üretimi yapılan EA modelleri incelendiğinde genel olarak DC motor, IM ,PM ve SRM kullanılmaktadır. Bu motor türlerinin birbirleri arasında birçok avantaj ve dezavantajları bulunsa da günümüzde EA'larda genellikle IM motorlar ve SRM motorlar tercih edilmektedir. Çizelge 2.2'de ise önemli EA üreticilerinin taşıtlarında kullandıkları motor türleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 Bazı HEA ve EA modellerinde kullanılan motor türleri (Asaei 2008).

Marka- Model	Tahrik Sistemi
PSA Peugeot-Citroen/ Berlingo	DC motor
Holden/ECOMmodore	SRM
Nissan-Tino	PMSM
Hondo-Insight	PMSM
Toyota-Prius	PMSM
Renault-Kangoo	IM
Chevrolet-Silverado	IM
DaimlerChrysler-Durango	IM
BMW-X5	IM

TEA ve HEA kullanılan elektrik motorlarından aranan özellikler ve piyasada en çok tercih edilen motor türlerinin karşılaştırılması ise Şekil 2.10'da verilmiştir. Bu şekilde yapılan karşılaştırmaya göre ise en güvenilir motor IM olarak belirlenmiştir.

Tahrik Sistemi				
Özellikleri	DC	IM	PM	SRM
Güç Yoğunluğu	2.5	3.5	5	3.5
Verim	2.5	3.5	5	3.5
Kontrol Edilebilirlik	5	5	4	3
Güvenilirlik	3	5	4	5
Teknolojik Olgunluk	5	5	4	4
Maliyet	4	5	3	4
Σ Toplam	 22	 27	 25	 23

Şekil 2.10 EA'lar da kullanılan motor türlerinin bazı özelliklerine göre karşılaştırılması (Asaei 2008).

2.3.1 DC Motor

DC motorlar, armatür sarımı adı verilen bir başka bobin setinden veya stator adı verilen bir dizi sabit mıknatıstan oluşur. Bobinlere bir voltaj uygulanması, armatürde bir

hareketle sonuçlanan bir tork üretir. DC motorlar sargı türlerine genel olarak Fırçasız DC Motorlar, Şönt Motor, Seri Motor, Kompunt Motor, Fırçalı DC motorlar olmak üzere dörde ayrılır.

DC motorlar, akı ve torkun basit kontrolü ve ayrıştırılması nedeniyle eski zamanlardan beri ilgi konusu olmasına rağmen fırça ve halkalara sahip olmaları bakım sorunları oluşturmaktadır. Bu nedenle, DC motorların EA'lar da kullanımı azalmıştır. DC motorlar düşük güç gerektiren alanlarda ise düşük maliyet ve kolay kontrol edilebildiklerinden dolayı kullanımı devam etmektedir. Örneğin konvansiyonel araçlarda silecek motorları, klima ve fanlar da kullanıldığı gibi küçük ev aletlerinden yapı malzemelerine kadar birçok alanda kullanılır.

2.3.2 Asenkron Motorlar

Asenkron motorlar, düşük maliyetle yüksek verimlilik elde edilebilirliği ve daha az bakım gerektirmelerinden dolayı endüstriyel alanlarda özellikle yüksek güç gerektiren EA'lar da yaygın olarak kullanılmaktadır. Asenkron motorlar faz sayılarına göre de sıralansalar da genel olarak iki kategoride toparlamak mümkündür. Bunlar sincap kafes ve sargı rotorlu yapılardır. Genel olarak faz girişlerine uygulanan gerilimle stator sarımından bir akım akmasıyla manyetik bir alan oluşur (Demir vd. 2018).

DC motorlarda genel olarak sabit hız kontrolü yapılıdır. Ancak EA'ların dinamik performansının artırılması için vektör kontrolü yapılması gerekir. Asenkron motorlarda ise vektör kontrolü yapılabilir. Bu da motorların maksimum hız sınırlarının yükselmesine neden olur. Hız değişimleri voltaj frekansı değiştirilerek elde edilir. Genel olarak EA'larda sincap kafes asenkron motorlar tercih edilmektedir.

2.3.3 Sürekli Mıknatıslı Motorlar

Rotor döngüsünün sağlanması için manyetik alan oluşturulması gerekmektedir. Manyetik alan için SM motorlarda, bakır sargı yerine mıknatıs kullanılır. Bakım gereksinimleri önemli oranda azalır. Genel olarak Senkron ve Kare Dalga (Fırçasız DC motor) olarak iki gruba ayrılır. Mıknatıs teknolojisi kullanıldığı için ihtiyaca uygun

olarak ve yüksek performans elde etmek için farklı özelliklerde motorlar geliştirilebilir. Kontrol için hem vektör kontrolü hem de alan kontrolü yapılabilir. Asenkron motorlara göre başlangıç akımı daha düşüktür buda pil ömrünün uzatır. Ayrıca motor kontrolü de daha kolaydır (Huynh vd. 2018).

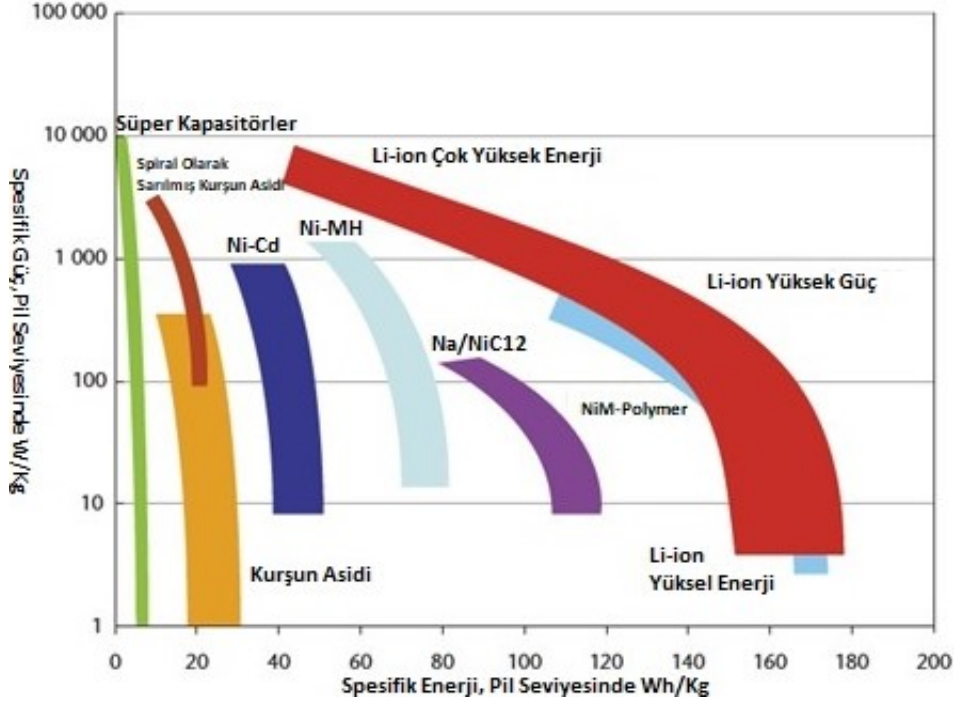
2.3.4 Anahtarlama Relüktans Motoru

Anahtarlama relüktans motorları (SRM), basit yapıları, kontrol esnekliği, yüksek verimlilik, düşük maliyet ve arıza koşullarında çalışacak sağlamlıkları nedeniyle diğer elektrik motorlarına kıyasla bazı avantajlara sahiptir. Makine rotorunda çok yüksek hızlı tahrik uygulamaları için uygun olan herhangi bir sargı veya sabit mıknatıs yoktur. Bunların yerine ince çelik manyetik alan tabakalarının üst üste yerleştirilmesiyle oluşturulur. Anahtarlama Relüktans Motor Sürücüleri (SRD), DC ve AC motor sürücülerinden daha gelişmiş kontrol teknolojisine ihtiyaç duyar. Yüksek tork dalgalanması, yüksek gürültü ve titreşimler SRM'nin en önemli dezavantajlarıdır (Zabihi vd. 2016).

2.4 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Türleri

Günümüzde EA'lar piyasaya giriş yapsa da kullanılan batarya teknolojisi ve maliyetleri halen geliştirilmelidir. Mevcut sistemde piyasaya sürülen araçların genelinde Lityum-iyon batarya kullanılır. Araç performans açısından günümüz teknolojisinde halen bazı sorunlar vardır. Bunların başında batarya kapasitesi, maliyet, şarj süresi, deşarj döngülerinin sayısı, dayanıklılık, yaşam beklentisi, enerji yoğunluğu, sıcaklık gibi bir dizi sorunların iyileştirilmesi gerekmektedir. Batarya teknolojisi açısından enerji yoğunluğu yüksek yeni pil kimyasallarının geliştirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalara bakıldığında ise, lityum-kükürt ve lityum-metal / lityum-iyon polimer piller üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

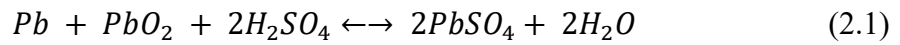
EA ve HEA'larda kullanılan motor ve tahrik sistemi konfigürasyonuna göre farklı batarya türleri kullanılır. Şekil 2.11'de farklı batarya türlerinin özgül enerji ve gücü görülmektedir.



Şekil 2.11 HEA ve EA da kullanılan bataryaların karşılaştırılması (İnt. Kyn. 10).

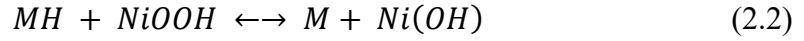
2.4.1 Kurşun –Asit Batarya

Kurşun / asit (Pb / A) aküler, araçlarda kullanılan en eski akü türüdür. Genel olarak günümüzde İYM araçların hemen hemen hepsinde kurşun –asit akü kullanılır. EA pillerinin en eski teknolojisidir ve fiyatlar en düşük düzeydedir. Bununla birlikte, özgül enerjileri diğer pil teknolojilerine kıyasla düşüktür. Bir EA için tipik bir kurşun- asit pil, yaklaşık 35 Wh / kg özgül enerjiye ve 250 W / kg özgül güce sahiptir Akü negatif elektrotları temel kurşun (Pb) içerirken, pozitif plakalar yüklü durumda aktif malzeme olarak kurşun dioksit (PbO₂) içerir. Elektrotlar, bir sülfürik asit (H₂SO₄) elektrolitine daldırılır. Boşaltılırken, negatif elektrotların kurşunları ve pozitif elektrotun kurşun dioksitleri sülfürik asit ile reaksiyona girer. Kurşun sülfat elektrotlar üzerinde oluşur ve elektrolit çözünmüş sülfürik asidini kaybeder ve su olur. Kimyasal reaksiyon sırasında enerji açığa çıkar ve enerji eklendiğinde süreç tersine döner. Genel reaksiyon denklem (2.1)'de verilmiştir.



2.4.2 Nikel-Metal Hidrit Batarya

Akünün pozitif elektrotunda nikel kullanan dört tip nikel bazlı pil vardır; nikel demir (Ni-Fe), nikel çinko (Ni-Zn), nikel kadmiyum (Ni-Ca) ve nikel metal hidrit (Ni-MH). Ni-Zn ve Ni-Fe piller, kısa ömürleri ve düşük özgül güçleri nedeniyle EA'lar da kullanımı uygun değildir. Ni-Ca kadmiyum esaslı pillerin en uygun teknolojisidir. Ni-MH ile karşılaştırıldığında benzer özelliklere sahiptir. Ni-MH pilin avantajı, kadmiyum kullanmaması ve bu nedenle çevre dostudur. Nikel metal hidrit piller 1991'deki tanıtımından bu yana hızla gelişmiştir. Yüksek özgül güçleri nedeniyle Honda Civic hibrid ve Toyota Prius gibi hibrid araçlarda kullanılmaktadır. Akü, pozitif elektrotta bir metal hidrid içinde emilen hidrojen kullanır. Boşaltım sırasında nikel oksihidroksit nikel hidroksit haline gelir. Negatif elektrotta deşarj sırasında metal üreten su ve elektronlardan hidrojen açığa çıkar. Genel reaksiyon denklem (2.2)'de verilmiştir.



Genel olarak Lityum pillere kıyasla daha uzun ömürlü ve şarj-deşarj döngüsü daha uzun ömürlü olduğu için ancak maliyet bakımından bakımdan fazladır.

2.4.3 Lityum – İyon Batarya

Lityum iyon bataryalar, EA'lar da baskın pil teknolojisi olma potansiyeline sahiptir. Son yıllarda cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar gibi küçük tüketici elektroniğinde kullanılmak üzere hızla gelişmeye devam etmektedirler. Lityum iyon batarya kullanan EA'lara örnek olarak Tesla Roadster ve Mitsubishi iMie verilebilir. Lityum iyon bataryalar, lityum metalin ana özellikleri nedeniyle yüksek performanslı EA için çok uygundur.

Tüm metallerden lityum en yüksek standart potansiyele ve elektrokimyasal eşdeğere sahiptir. Ayrıca çok da hafiftir. Genel olarak kullanım alanlarına göre farklı kimyasal bileşenlere sahip olabilirler. En yaygın olarak lityum kobalt oksit ($LiCoO$), lityum mangan dioksit ($LiMn_2O_4$) veya lityum demir fosfattan ($LiFePO_4$) oluşan yapılarla sahiptirler. Lityum- polimer piller ise EA'lar için geleceğin pil teknolojisi olarak

görülmektedir. Lityum polimer piller, lityum iyon pillerle aynı özelliklere sahiptir, ancak elektrolit olarak bir polimer jel kullanır. Polimer pil, yaygın bir lityum-iyon pilden daha incedir ve daha hafiftir ve ince şekilli pillerin gerekli olduğu uygulamalarda kullanılabilir. Polimer pilinin bir dezavantajı, 600 derin çevrimin kısa ömrü ve lityum pilden daha düşük olan 250 (W / kg) 'a kadar spesifik bir güce sahip olabilir.

2.4.4 Metal-Hava Batarya

Genel olarak bataryalar ters akım verilerek şarj edilir. Ancak metal-hava bataryalar ise ters akımla şarj olmazlar bunun yerine elektrotları yenileriyle değiştirilmeleri gerekmektedir. Yapıları bakımından bataryalara benzese de özellikleri itibariyle yakıt hücreleriyle kıyaslanabilirler.

Piyasada mevcut olarak kullanılan sadece çinko hava pilleridir ve birkaç hava pili için de çalışmalar yapılmaktadır. Alüminyum hava, magnezyum hava, demir hava ve lityum hava gibi piller için ise herhangi bir çalışma olmasa da bazıları gelecekte belirli alanlarda kullanılabilir. Çinko hava pili, örneğin işitme cihazlarında yıllardır mevcuttur. Pilin büyük enerji yoğunluğu, uzun süre dayanan bir pile ihtiyaç duyan küçük cihazlarda çok kullanışlıdır. Aküdeki çinko hava ile reaksiyona girerek çinko oksit oluşturur. Genel reaksiyon denklem (2.3)'de verilmiştir.



Günümüz teknolojisinde bu pil türlerinin EA da kullanımı söz konusu değildir. Ancak gelecek yıllarda özellikle lityum- hava pilleri EA da kullanılabilir.

2.4.5 Süper Kapasitörler

Süper kapasitörler diğer kimyasal pillerden farklıdır. Piller enerjilerini bir süper kapasitörün fiziksel olarak depoladığı yerde kimyasal olarak depolar. Tek bir süper kapasitör hücresinde, bir elektrolitte bir ayırıcı ile ayrılmış iki plaka (toplayıcı) bulunur. Kondansatör, enerji elektrounu toplayıcılara statik olarak depolar. Kolektörler çok yüksek yüzey alanına sahip bir malzemedir yapılmıştır. Süper kapasitörler akülerden

çok daha hızlı şarj ve deşarj edilebilir ve rejeneratif frenlemeden enerji depolamak, tepelere tırmanmak veya ani hızlanma için çok uygundur. Süper kapasitör, 5000 W / kg'a kadar yüksek özgül güce ve 300.000 devirden fazla çevrim ömrüne, ancak 5 Wh / kg'lık düşük enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu nedenle süper kapasitör yalnızca bir EA için enerji depolama olarak kullanılamaz. Ancak enerji depolama sisteminin değişmez bir parçasıdır (Bakker 2010).

Tasarımı tamamlanan taşıt Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Taşıt Teknolojileri Atölyesinde imalatı yapılmıştır. İmalatı yapılan taşıt ise Resim 3.1 ve Resim 3.2’de verilmiştir.



Resim 3.1 İmalatı yapılan elektrikli aracın arka motor bağlantısı ve genel görünümü.

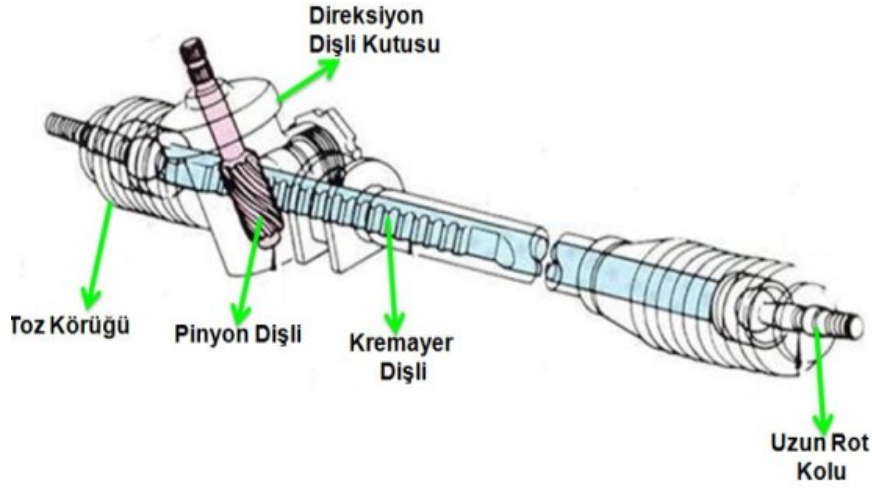


Resim 3.2 İmalatı yapılan elektrikli aracın yandan görünümü.

3.1.1 Taşıtlarda Kullanılan Hareket Kontrol Sistemleri

3.1.1.1 Direksiyon Sistemi

Sürücü tarafından direksiyon simidine uygulanan çevirme hareketini, tekerleklere aktararak yönlendirilmesini sağlayan sisteme direksiyon sistemi denir. Farklı türlerde direksiyon sistemi olsa da bu çalışmada kullanılan direksiyon sistemi Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3 Kremayer dişli sistemi kullanılan direksiyon kutusu.

Pinyon dişlisinden aldığı hareketi doğrusal olarak tekerleklere iletilen bu sistemde dişli oranı sayesinde hem sürücünün yönlendirme için sağladığı kuvveti azaltır hem de yönlendirme açısını artırarak sürüş konforu sağlar. Geleneksel bir direksiyon kutusunda dişli oranı 1/18 dir (Çetinkaya 2004).

3.1.1.2 Diferansiyel

Diferansiyel sabit bir dişli oranına sahiptir. İmalatı yapılan taşıtta kullanılan diferansiyelde ise 3,36 oranında dişli sistemi bulunmaktadır. Diferansiyel taşıt tekerleklerinin viraj esnasında farklı hızlarda dönebilmesine izin verirken, tekerleklere eşit miktarda tork gönderilmesini sağlar. Ayrıca taşıtın hareketi için gerekli olan torkun sağlanabilmesi için diferansiyel motordan gelen torku dişli oranında artırır (Fırat vd. 2012).

Diferansiyelin matematiksel olarak modellenebilmesi için denklem (3.1) ve denklem (3.2) kullanılır.

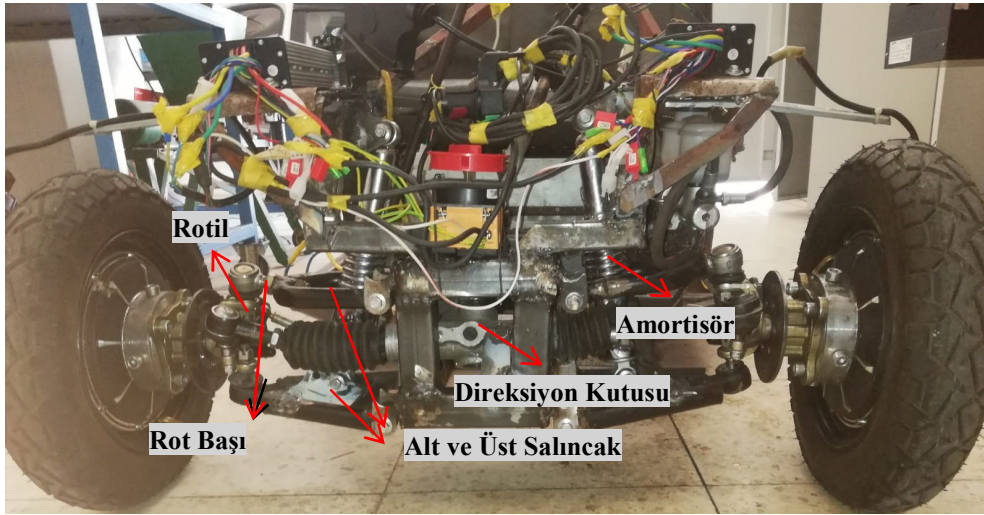
$$\tau_{t-i} = \frac{\tau_{in} \rho_{dif} \eta_{dif}}{2} \quad (3.1)$$

$$w_{in} = \rho_{dif} \frac{(w_{sağ} + w_{sol})}{2} \quad (3.2)$$

Denklem (3.1) ve denklem (3.2)'de ρ_{dif} dişli oranını, η_{dif} diferansiyel verimini, w_{in} diferansiyelin girişindeki döndürme devrini, τ_{in} ise diferansiyelin girişindeki torku ifade etmektedir.

3.1.1.3 Süspansiyon Sistemi

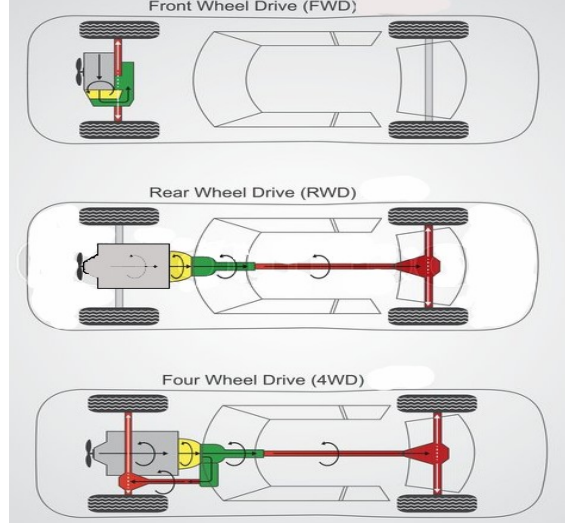
Süspansiyon sistemleri araç gövdesi ile aks ve tekerlekler arasında yer alan yapılardır. Yoldan kaynaklanan hareket bozukluklarını sönümleyen sürüş konforu ve güvenliği doğrudan performans ve yakıt tüketimi açısından ise dolaylı yoldan ihtiyaç duyulan sistemlerdir (Gündüz 2010). Bu çalışmada taşıt ağırlığı fazla olmadığı için sadece amortisör kullanılmıştır. İmalatı yapılan taşıtın amortisör bağlantısı, direksiyon sistemi ise Resim 3.3'de gösterilmiştir.



Resim 3.3 Taşıtta kullanılan ön düzen sistemleri.

3.1.1.4 Taşıtlarda Kullanılan Tahrik Sistemleri

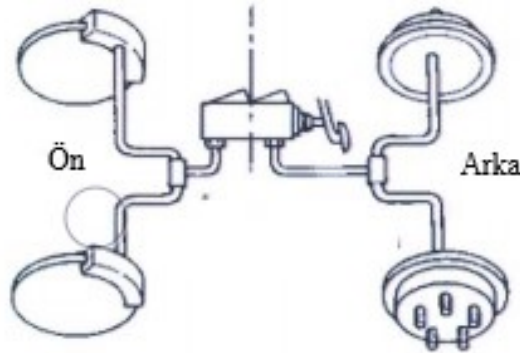
Tahrik sisteminin temel görevi motordan aldığı hareketi tekerleklere ilemesidir. Tahrik edilecek aks ise motorun konumuna, araç dinamiğine, yakıt verimliliğine ve aracın ağırlığına göre RWD (Arkadan itişli), FWD (Önden çekişli) ve 4WD (Dört tekerlekten çekiş) olarak sıralanabilir.



Şekil 3.4 Taşıtta kullanılan tahrik sistemleri (İnt. Kyn. 6).

3.1.1.5 Fren Sistemleri

Fren sistemi, taşıtlarda güvenlik için bulunan en önemli donanımlardan birisidir. Taşıtlarda tek bir fren sistemi bulunmaz. Genel olarak taşıtlarda hidrolik fren sistemine ek olarak mekanik bir fren sistemi olarak el freni kullanılır. Bu çalışma da arka tekerleklerde kampana ön tekerleklerde ise disk fren kullanılmıştır. İmalatı yapılan taşıtta kullanılan fren sistemi Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Taşıtta kullanılan fren sistemi (İnt. Kyn. 9).

3.1.2 Motorlar ve Sürücüler

Bu çalışmada belirlenen taşıt mimarisine uygun olarak üç adet elektrik motoru ve bunların kontrolü için sürücülerini birlikte kullanılmıştır. Ön tekerleklerin tahrik edilmesi için iki adet 60 V 1200 W tekerlek içi fırçasız doğru akım motoru ve arka

tekerleklerin tahriki için ise diferansiyele bağlı olarak 60 V 2500 W fırçasız doğru akım motoru kullanılmıştır. Kullanılan motorlar ise Resim 3.4 ve Resim 3.5’de gösterilmiştir.



Resim 3.4 Arka tekerleklerin tahriki için kullanılan 2,5 kW elektrik motoru.



Resim 3.5 Ön tekerleklerin tahriki için kullanılan 1,2 kW elektrik motoru.

Taşıtta kullanılan motorların kontrolü için her bir motorun özelliklerine uygun olarak sürücülerin kullanılması gerekmektedir. Kullanılan sürücüler gaz pedalından alınan verilere uygun olarak motorların devirlerini ayarlar. Taşıtta kullanılan sürücüler (Resim 3.6)’de gösterilmiştir.



Resim 3.6 Motor kontrol sürücüsü.

Taşıtta kullanılan bataryalar ise ORTEC marka 12 V 40 Ah 6 adet kurşun jel akülerden oluşmaktadır. Aküler motorların çalışması için gerekli voltajı sağlayabilmeleri için seri olarak bağlanmıştır. Resim 3.7’de ise taşıtta kullanılan aküler gösterilmiştir.



Resim 3.7 Taşıtta kullanılan bataryalar.

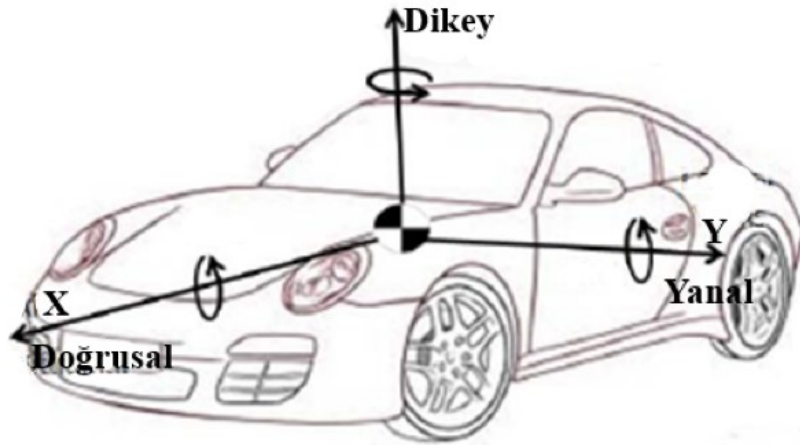
3.2 Matematiksel Modelleme

Elektrikli bir aracın modellenmesi, gerçekleştirilmesi yapılacak olan taşıtın dinamik davranışları ve performans değerlerinin hesaplanmasını ve bu değerler doğrultusunda taşıt tasarımının revizyon edilmesine olanak sağlar. Ayrıca sürüş çevrimlerine göre simülasyonun yapılmasıyla da batarya ömür, menzil gibi testlerin yapılabileceği gibi kullanılan motorların dinamik davranışları da gözlemlenebilir. Modellemenin ve

simülasyonun bir diğer avantajı ise farklı güç aktarma sistemlerinin incelenmesi ve kararlı ve optimum dengenin kurulabilmesine olanak sağlar. Bu da özellikle HEA'larda hibridizasyon oranının belirlenmesi ve kullanılacak motorların performans/güç dengesinin daha verimli olmasını sağlar.

Bir taşıtın hareketinin incelenebilmesi için aracın ağırlık merkezine yerleştirilmiş ve sabit bir kütle gibi düşünülerek koordinat sistemindeki hareketleri incelenerek bulunabilir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi SAE'ye göre koordinatlar incelenecek olursa;

- X- Aracın doğrusal hareketini,
- Y- Aracın yanal hareketini,
- Z- Aracın dikey hareketini temsil eder.



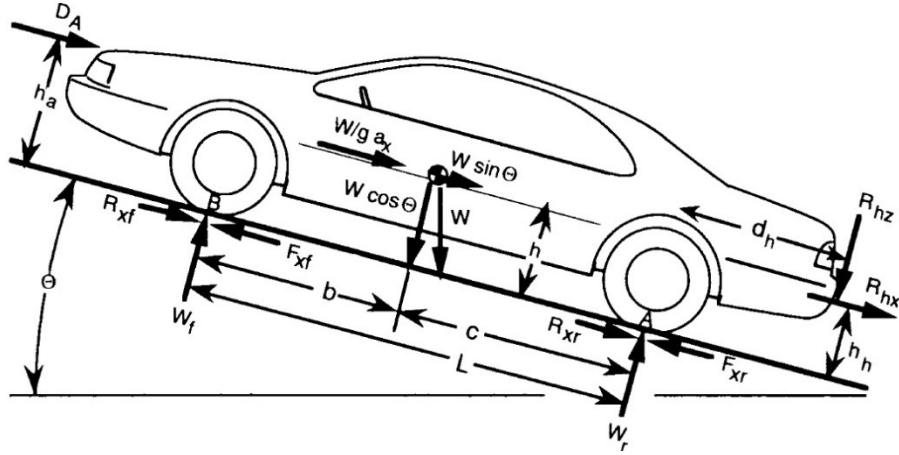
Şekil 3.6 SAE'ye göre taşıtın koordinat sistemindeki hareketlerinin incelenmesi.

3.2.1 Doğrusal Hareket

Bir taşıtın doğrusal hareketini yani X-eksenindeki hareket edebilmesi için motorlar tarafından elde edilen gücün, hareket esnasında oluşan dirençleri yenebilmesi gerekmektedir. Tüm bu dirençler motor gücünden çıkartıldığında ise tahrik kuvveti elde edilir. Şekil 3.7'de ise doğrusal eksenindeki taşıt üzerindeki direnç kuvvetleri görülmektedir. Taşıt üzerinde oluşan kuvvetler ise;

- Rüzgar direnci,
- Yuvarlanma direnci,

- Yokuş direnci,
- İvmelenme direnci ve
- Tahrik kuvveti'dir.



Şekil 3.7 Doğrusal eksendeki taşıta etkileyen kuvvetler (Gillespie 1992).

$$F_i = F_{xf} + F_{xr} - F_{aero} - R_{xf} - R_{xr} - F_y \quad (3.3)$$

Doğrusal eksen de taşıta etkileyen kuvvetler denklem (3.3)'te verilmiştir. Denklem 3.3'de F_{xf} ön tekerleklere gelen tahrik kuvvetini, F_{xr} arka tekerleklere gelen tahrik kuvvetini F_{aero} hava direncini, R_{xf} ön tekerleklere etki eden sürtünme kuvvetini R_{xr} arka tekerleklere etki eden sürtünme kuvvetini F_y yokuş direncini F_i ise ivmelenme direncini ifade eder.

3.2.1.1 Rüzgar Direnci

Taşıtların hareketi sırasında hava ile taşıt arasında taşıtın hareketine zıt yönde bir kuvvet oluşur. Hava direnci taşıtın hızının karesiyle doğru orantılıdır. Taşıtın hızı arttıkça rüzgar direnci de artar. Ayrıca rüzgar direnci taşıtın aerodinamik yapısına, havanın yoğunluğuna, taşıtın ön kesit alanına ve eğer rüzgâr varsa rüzgârın yönü ve hızına bağlıdır (Güven 2006).

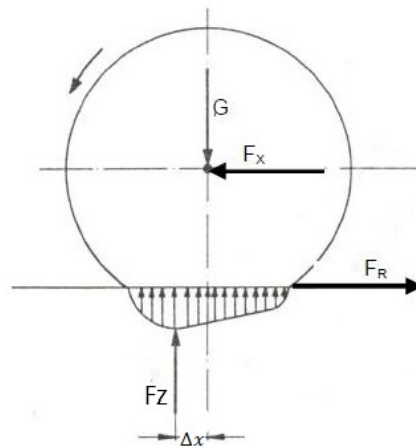
$$F_{aero} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times C_w \times (V + V_r)^2 \quad (3.4)$$

Hava direnç kuvveti denklem (3.4)'de verilmiştir. Denklem (3.4)'de ρ havanın yoğunluğunu, A aracın hareket yönündeki dik kesit alanı, C_w rüzgâr direnci katsayısını, V aracın hızını, V_r ise rüzgâr hızını ifade eder.

Yukarıdaki ifadelerde ρ hava yoğunluğu 20 °C sıcaklıktaki ölçülen hava yoğunluğunu ifade eder ve $\rho = 1,22 \text{ kg/m}^3$ alınabilir. A hareket yönündeki iz düşüm alanıdır. İz düşüm alanı taşıt projeksiyon alanlarındaki testler sonucunda hesaplanabilir. C_w ise rüzgâr direnç katsayısı olarak adlandırılır ve taşıtın aerodinamik yapısına göre değişir. Bu değer karmaşık bir hesaplama sistemine sahip olduğu için rüzgâr tünellerinde ölçülür.

3.2.1.2 Yuvarlanma Direnci

Tekerleklerin dönmesi sırasında yol ve lastikteki şekil değişikliklerinden kaynaklanan dirence yuvarlanma direnci denir. Yuvarlanma direnci genel olarak taşıtın ağırlığından kaynaklanan ve lastiklerin pnömatik yapısından dolayı bir miktar çökmesinden dolayı basınç merkezi bir miktar kayar. Bu kayma miktarı ve tekerlek yarıçapına göre yuvarlanma direnci katsayısı belirlenir. Şekil 3.8'de ise tekerlekteki çökme miktarı ve basınç dağılımı gösterilmiştir. Genel bir ifadeyle yuvarlanma direnci lastiğin yapısına, yol şartlarına, taşıtın türüne, ivmelenme ve frenlenme kuvvetlerine ve lastiğin üretim parametrelerine göre farklılık gösterir.



Şekil 3.8 Hareket halindeki taşıt da oluşan yuvarlanma direnci (Çetinkaya 2004).

$$R_x = \frac{\Delta x}{r} \times F_z \quad (3.5)$$

Denklem 3.5’de Δx , kayma miktarını, r tekerlek yarıçapını, F_z tekerleğe etki eden ağırlığı ifade eder.

$$R_x = f_r \times m \times g \quad (3.6)$$

Denklem (3.5)’de verilen $\left(\frac{\Delta x}{r}\right)$ değeri yerine, yuvarlanma direnci katsayısı olarak kabul edilen (f_r) sabiti yazılabilir. Çizelge 3.1’de ise bazı yol şartları ve taşıtlarda kullanılan lastik tiplerine göre belirlenen yuvarlanma direnci katsayısı verilmiştir.

Çizelge 3.1 Yuvarlanma direnci katsayıları (Gillespie 1992).

Lastik Tipi	Beton Yüzey	Sert Toprak Yüzey	Kum Yüzey
Binek Otomobil	0.015	0.08	0.30
Kamyon	0.012	0.06	0.25
Traktör	0.02	0.04	0.20

Denklem (3.3)’de yuvarlanma direnci katsayısı hıza bağlı olarak kullanılırsa;

$$f_r = 0.01 \times \left(1 + \frac{v}{160}\right) \quad (3.7)$$

3.2.1.3 Yokuş Direnci

Eğimli bir yolda taşıtın ağırlığıyla birlikte etkileyen hareket yönüne ters kuvvete yokuş direnci denir ve denklem (3.8)’de gösterilmiştir. Şekil 3.8’de (β) taşıtın yol ile yaptığı açığı ifade eder.

$$F_y = m \times g \times \sin \beta \quad (3.8)$$

3.2.1.4 İvmelenme Direnci

İvmelenme direnci taşıtın hızlanma sırasında oluşan, öteleme ve dönen kütlelerin hareketinden kaynaklan kuvvettir.

$$F_{ik} = m \times \ddot{x} \quad (3.9)$$

$$F_{id} = \frac{\sum I \times \dot{\omega}}{r} \quad (3.10)$$

Denklem (3.9)'de öteleme yapan kütlelerden kaynaklanan ivmelenme direnci formülize edilmiştir. Ayrıca Denklem 3.10'de ise dönen kütlelerden kaynaklanan ivmelenme direncidir. Bu denklemlerde ise $\dot{\omega}$ tekerleğin açısal ivmesini, $\sum I$ tahrik sistemindeki dönen kütlelerin atalet momentini, r tekerlek çapını ifade eder. Denklem (3.9) ve denklem (3.10) birleştirilecek olursa denklem (3.11) elde edilir.

$$\dot{\omega} = \frac{\ddot{x}}{r} \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)'de bulunan ifade, denklem (3.10)'da yazılırsa denklem (3.12) elde edilir.

$$F_{id} = \left(m + \frac{\sum I}{r^2} \right) \times \ddot{x} \quad (3.12)$$

Döner kütlelerin atalet momenti eşitliği ise denklem (3.13)'de gösterilmiştir.

$$\sum I = I_{4t} \times 2 \times J_m \times \eta^2 \quad (3.13)$$

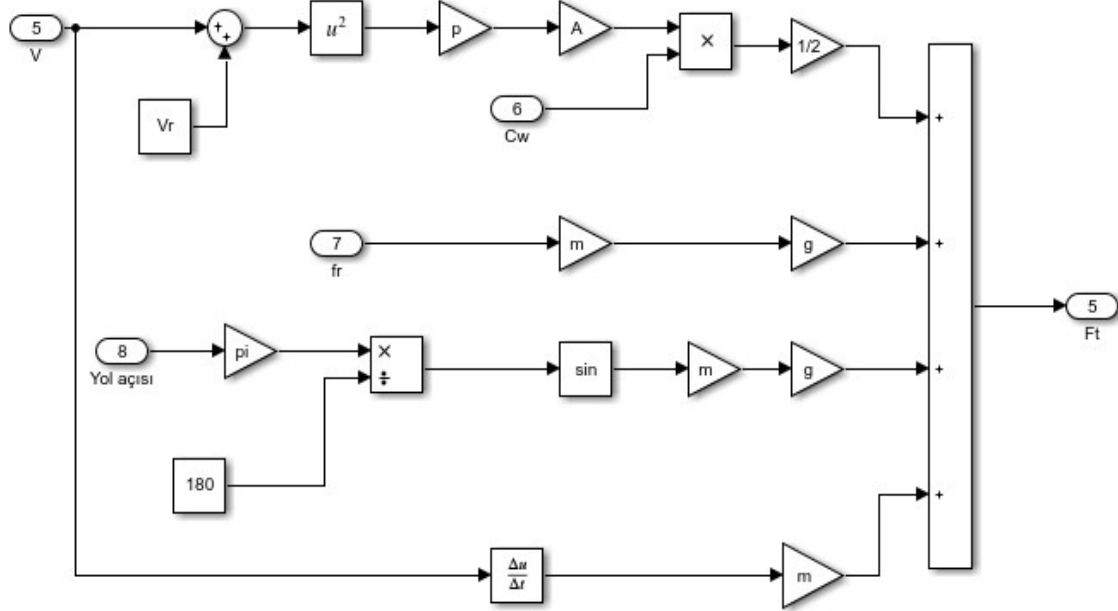
Denklem (3.13)'de I_{4t} tekerleklere gelen atalet momentini, J_m elektrik motorunun atalet momentini η^2 dişli oranını ifade eder.

$$\lambda = 1 + \frac{\sum I}{m \times r^2} \quad (3.14)$$

$$F_i = m \times \ddot{x} \times \lambda \quad (3.15)$$

Denklem (3.14)'de döner kütlelerden etki faktörü gösterilmektedir. Toplam ivmelenme direnci ise denklem (3.15)'de verilmiştir.

Hareket halindeki taşıtı etkileyen dirençlerin matematiksel olarak; denklem (3.4)'de hava direnci, denklem (3.6)'da yuvarlanma direnci, denklem (3.8)'de yokuş direnci ve denklem (3.15)'de ivmelenme direnci formülize edilmiştir. Şekil 3.9'da ise MATLAB/SIMULINK de modellemesi yapılmıştır.



Şekil 3.9 Hareket halindeki taşıtı etkileyen dirençler.

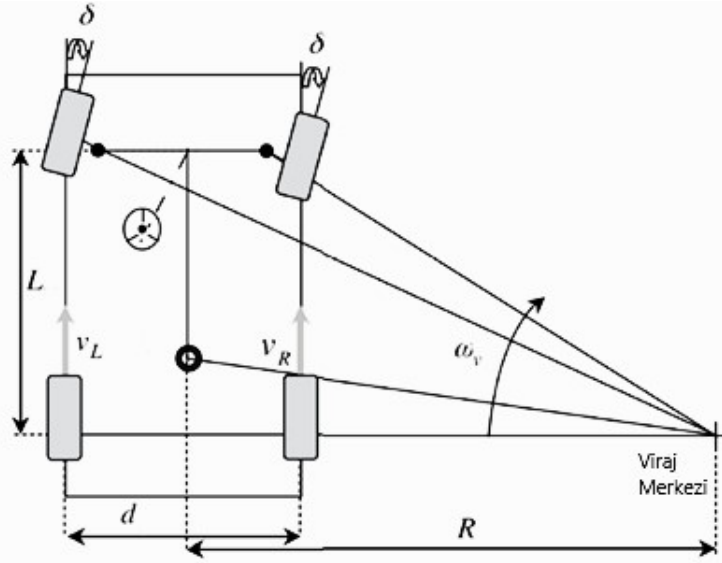
3.2.2 Yanal Hareket

Genel olarak bir taşıtın yanal hareketlerinin incelenmesi doğrusal ve dikey hareketlerine oranla daha karmaşıktır. Aracın yol tutuş özellikleri, direksiyon hareketleri ve aracın yönlendirilmesini etkileyen (rüzgar ve yol bozuklukları) verdiği tepki ifade edilmesi gerekir. Yanal hareket genellikle taşıtın sürüş esnasında direksiyon sistemiyle yönlendirilmesini kapsadığı gibi viraj esnasında taşıtın fiziksel tepkisinin de incelenmesi gerekmektedir.

3.2.2.1 Düşük Hızlarda Viraj Döngüsü

Düşük hızlarda viraj döngüsünde taşıtın yanal kuvvetleri ihmal edilebilir. Yani tekerleklerin kaymadan yuvarlandığı varsayılmaktadır. Bu varsayımlarla oluşturulacak en uygun modelleme ise Rudolph Ackerman tarafından geliştirilen Ackerman geometrisi kullanılabilir. Oluşturduğu bu geometride dönüş esnasında ön tekerleklerde

oluşan açığa göre taşıt tekerleklerinin hızı belirlenir ve arka tekerlekler taşıt merkezinin izdüşümüne göre hareket eder. Şekil 3.10'de Ackerman geometrisi verilmiştir.



Şekil 3.10 Ackermann Geometrisi (Hartani vd. 2009).

Klasik bir taşıt da tekerlekler arasındaki hız farkı diferansiyel mekanizmasında bulunan dişliler yardımıyla ayarlanır. Bu çalışma ise arka tekerleklerin viraj esnasında hız farkları diferansiyel tarafından mekanik olarak belirlenir. Ancak ön tekerleklerde bulunan iki ayrı elektrik motorunun viraj esnasında hızlarının ayarlanması gerekmektedir. Bu hız farkları mekanik diferansiyelin çalışma şartları ve kısıtlarına uygun olarak elektronik olarak ayarlanır.

Şekil 3.11'de belirtilen ifadeler de V_L sol tekerleğin doğrusal hızını, V_R sağ tekerleğin doğrusal hızını, δ ackerman açısını, R viraj çapını, d tekerlekler arasındaki mesafeyi, L ön ve arka dingil arasındaki mesafeyi, W_l sol tekerlekte bulunan motorun açısal hızını, W_r sağ tekerlekte bulunan motorun açısal hızını ifade eder.

Her bir tekerleğin doğrusal hızı, araç hızının ve viraj çapının bir fonksiyonu olarak ifade edilir; viraj esnasında sol tekerleğin doğrusal hızı denklem (3.16)'da sağ tekerleğin doğrusal hızı ise denklem (3.17)'de ifade edilmiştir.

$$V_L = W_v \times \left(R + \frac{d_w}{2} \right) \quad (3.16)$$

$$V_R = W_v \times \left(R - \frac{d_w}{2}\right) \quad (3.17)$$

Viraj çapı ise, iz genişliği ve direksiyon açısı ile ilgilidir. Denklem (3.18)'de sol tekerleğin devri, denklem (3.19)'da ise sağ tekerleğin devri verilmiştir.

$$W_{rL} = \frac{L_w + \left(\frac{1}{2} \times d_w \times \tan \delta\right)}{L_w} \times W_v \quad (3.18)$$

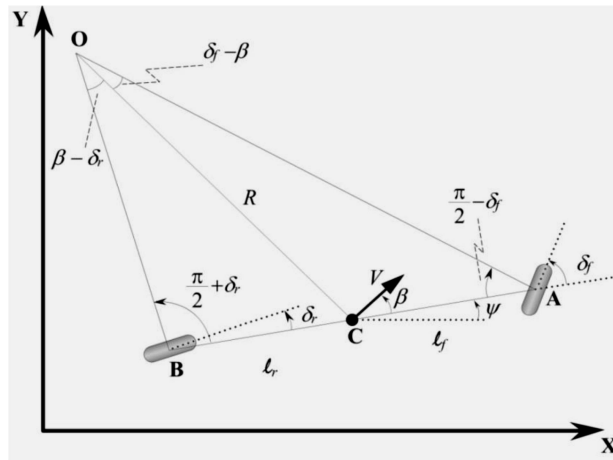
$$W_{rR} = \frac{L_w - \left(\frac{1}{2} \times d_w \times \tan \delta\right)}{L_w} \times W_v \quad (3.19)$$

Örneğin elektronik bir diferansiyelde direksiyon açısının sayısal değerine göre viraj yönü belirlenebilir;

- $\delta > 0$ ise sağa dönüş,
- $\delta = 0$ ise düz sürüş,
- $\delta < 0$ ise sola dönüştür.

3.2.2.2 Yüksek Hızlarda Viraj Döngüsü

Taşıtın yanal hareketi Şekil 3.11'de verilmiştir. Bu şekilde hareketi etkileyen kuvvetler dahil edilmemiştir. Hareket denklemleri sadece sistemi yöneten geometrik şekillere dayanır.



Şekil 3.11 Kinematik yanal taşıt dinamiği modeli (Genta 1997).

Şekil 3.11'deki üçgenlerin benzerlik oranlarından modellenmesi yapılacak olan taşıtın sapma oranı denklem (3.22)'de verilmiştir.

$$\dot{\varphi} = \frac{V_x}{R} \quad (3.20)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{V_x \cos(\beta)}{l_f + l_r} (\tan(\delta_f) - \tan(\delta_r)) \quad (3.21)$$

X- yönündeki taşıt hızı denklem (3.22)'de verilmiştir.

$$\dot{X} = V_x \cos(\varphi + \beta) \quad (3.22)$$

Y- yönündeki taşıt hızı (denklem 3.23)'de verilmiştir.

$$\dot{Y} = V_x \sin(\varphi + \beta) \quad (3.24)$$

Yukarıdaki kullanılan denklemler ve Şekil 3.7'deki ifadelerden aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\tan(\delta_f) \cos \beta - \sin \beta = \frac{l_f l_r}{R} \quad (3.25)$$

$$(\sin \beta - \cos \beta \tan \beta) l_f = \frac{l_f l_r}{R} \quad (3.26)$$

Denklem (3.25) ve denklem (3.26) eşitlenir ve β ifadesi çekilirse, denklem (3.27) elde edilir.

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{l_r \tan(\delta_f) + l_f \tan(\delta_r)}{l_f + l_r} \right) \quad (3.27)$$

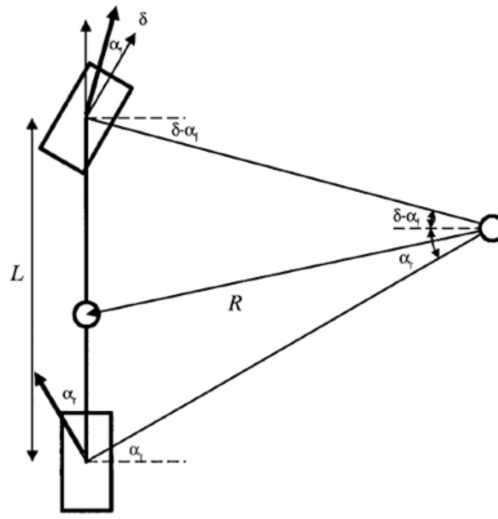
Taşıta etkileyen yanal kayma ise denklem (3.28)'de verilmiştir.

$$m a_y = F_{yf} + F_{yr} \quad (3.28)$$

Ön tekerleklere gelen yanal kuvvet (F_{yf}) denklem (3.28)'de, arka tekerleklere gelen yanal kuvvet ise (F_{yr}) denklem (3.29)'da verilmiştir. Şekil 3.12'de ise yüksek hızlarda oluşan direksiyon açıları verilmiştir.

$$F_{yf} = 2C_{af}a_f = 2C_{af}(\delta - \theta_{vf}) = 2C_{af}\left(\delta - \beta - \frac{l_f\psi}{V}\right) \quad (3.29)$$

$$F_{yr} = 2C_{ar}a_r = 2C_{ar}(\delta - \theta_{vr}) = 2C_{ar}\left(\delta - \beta - \frac{l_r\psi}{V}\right) \quad (3.30)$$



Şekil 3.12 Yüksek hızlarda oluşan direksiyon açıları.

Ön tekerleklerdeki dönme açısı ise Denklem 3.31'de verilmiştir.

$$\delta = \frac{L}{R} + a_f - a_r \quad (3.31)$$

Ön tekerleklerdeki çapraz hareket açısı (a_f) denklem (3.32)'de, arka tekerleklerdeki hareket açısı (a_r) denklem (3.33)'de verilmiştir.

$$a_f = \frac{m_f V^2}{2C_{af}R} \quad (3.32)$$

$$a_r = \frac{m_r V^2}{2C_{ar}R} \quad (3.33)$$

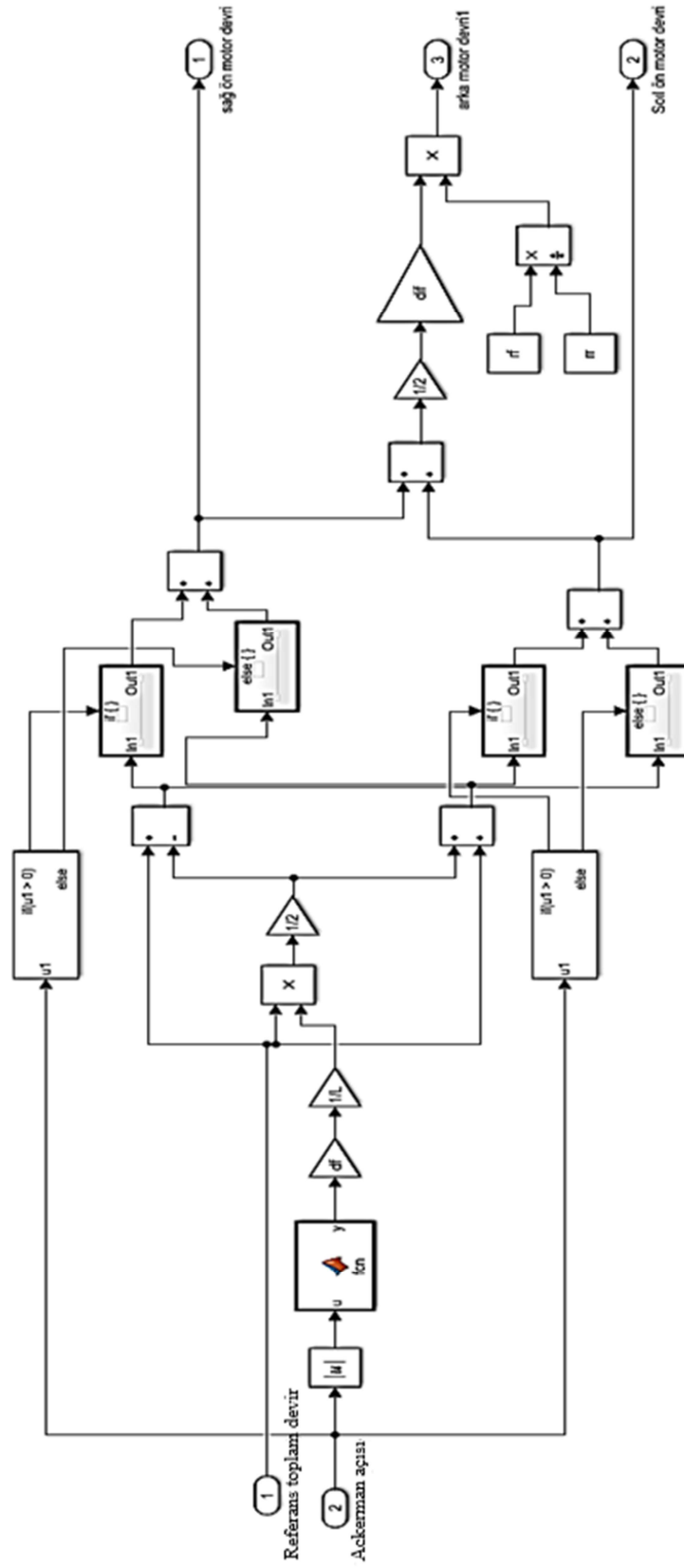
Viraj esnasında taşıta etkileyen yanal kuvvetlerin hesaplanabilmesi için viraj çapının hesaplanması gerekmektedir. Aracın dönüş esnasındaki kuvvetlerin merkezkaç kuvvetine eşit olduğu varsayılırsa denklem (3.34)'de elde edilir.

$$ma_y = F_{yf} + F_{yr} = \frac{mV^2}{R} \quad (3.34)$$

Lineer bisiklet modeli kullanılarak viraj yarı çapı denklem (3.35)'de olduğu gibi hesaplanabilir.

$$R = \sqrt{l_r^2 + L^2 \cot^2 \delta} \quad (3.35)$$

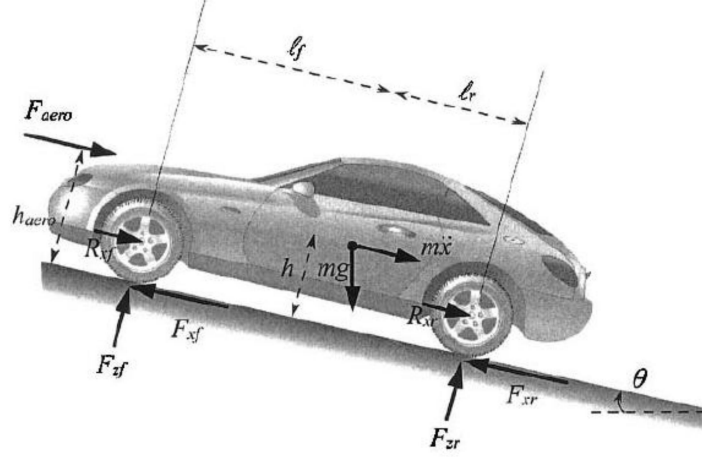
Şekil 3.13'de ise MATLAB/SIMULINK'de oluşturulan elektronik diferansiyel modeli verilmiştir.



Şekil 3.13 Elektronik diferansiyel Simulink modeli.

3.2.3 Dikey Hareket

Şekil 3.14’de taşıt üzerindeki kuvvetler gösterilmiştir. Şekilde arka ve ön aksa etki taşıt ağırlığını F_{zr} ve F_{zf} değerleriyle ifade edilir.



Şekil 3.14 Taşıt üzerindeki kuvvetler (Rahmani 2006).

Arka tekerleklerin yola temas ettiği noktadan moment alınırsa, denklem (3.36) elde edilir.

$$F_{zf}(l_f + l_r) + F_{aero}h_{aero} + m\dot{x}h + mgh \sin \theta - mgl_r \cos \theta = 0 \quad (3.36)$$

Ön tekerleklerin yola temas ettiği noktadan moment alınırsa, denklem (3.37) elde edilir.

$$F_{zr}(l_f + l_r) - F_{aero}h_{aero} - m\dot{x}h - mgh \sin \theta - mgl_r \cos \theta = 0 \quad (3.37)$$

Denklem (3.36) ve denklem (3.37) ’dan F_{zr} ve F_{zf} ifadeleri çekilirse denklem (3.38) ve denklem (3.39) elde edilir (Gürmeriç 2015).

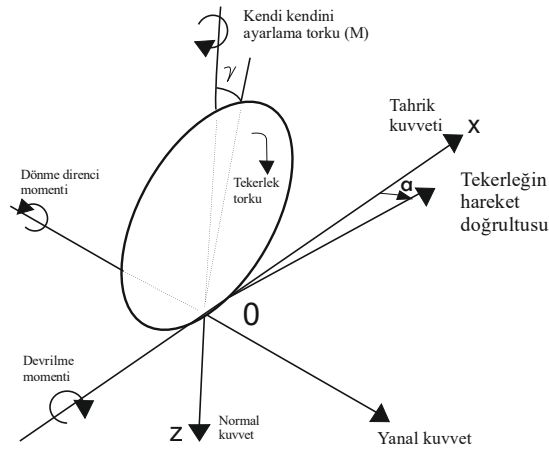
$$F_{zf} = \frac{-F_{aero}h_{aero} - m\dot{x}h - mgh \sin \theta + mgl_r \cos \theta}{l_f + l_r} \quad (3.38)$$

$$F_{zr} = \frac{F_{aero}h_{aero} + m\dot{x}h + mgh \sin \theta + mgl_r \cos \theta}{l_f + l_r} \quad (3.39)$$

3.2.4 Tekerleklerin Modellenmesi

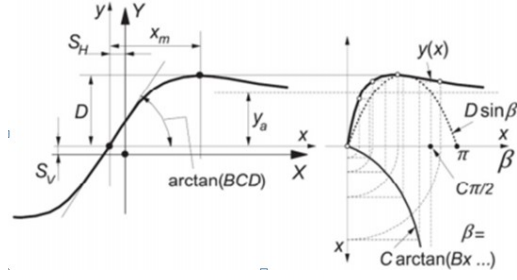
Tekerleklerin modellenmesi için, tekerleklere gelen kuvvetlerin belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 3.15’de koordinat sisteminde tekerleklere etki eden kuvvetler ve oluşan momentler verilmiştir.

- Doğrusal kuvvet (F_x),
- Yanal kuvvet (F_y),
- Dikey kuvvet (F_z),
- X eksenine göre, devrilme momenti (M_x),
- Y eksenine göre, yuvarlanma direnci momenti (M_y),
- Z eksenine göre ise dikey moment (M_z), dir.



Şekil 3.15 Tekerleklere etki eden kuvvet ve momentler (Çetinkaya 2004).

Tekerleklere gelen kuvvetlerin modellenmesi için farklı birçok tekerlek modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen en önemli olanları Pecejka tekerlek modeli, HSRI Tekerlek Modeli, Dugoff tekerlek modeli ve FTire Tekerlek Modelidir. Günümüzde en çok tercih edilen tekerlek modeli ise Pecejka tekerlek modelidir. Bu modelin kullanılmasındaki nedenlerden en önemlileri ise oluşturulan modeldeki gerekli sabitler değiştirilerek farklı yol koşullarında modellenmesine imkân sağlar (Fırat vd. 2012). Örneğin doğrusal kuvvet hesaplanırken (b_0)’dan (b_{13})’e kadar 14 parametre kullanılırken, yanal kuvvetler hesaplanırken ise (a_0)’dan (a_0)’ye kadar ise 18 farklı parametre kullanılır. Şekil 3.17’de ise Magic formula model parametreleri vcerilmiştir. Genel olarak Pecejka modeli formülü ise denklem (3.40) ve denklem (3.41)’de verilmiştir.



Şekil 3.16 Magic Formula tekerlek modeli (Ruzinskas vd. 2017).

$$y_x = D \sin[C \tan^{-1}\{B_{x1} - E(B_{x1} - \tan^{-1}(B_{x1}))\}] \quad (3.40)$$

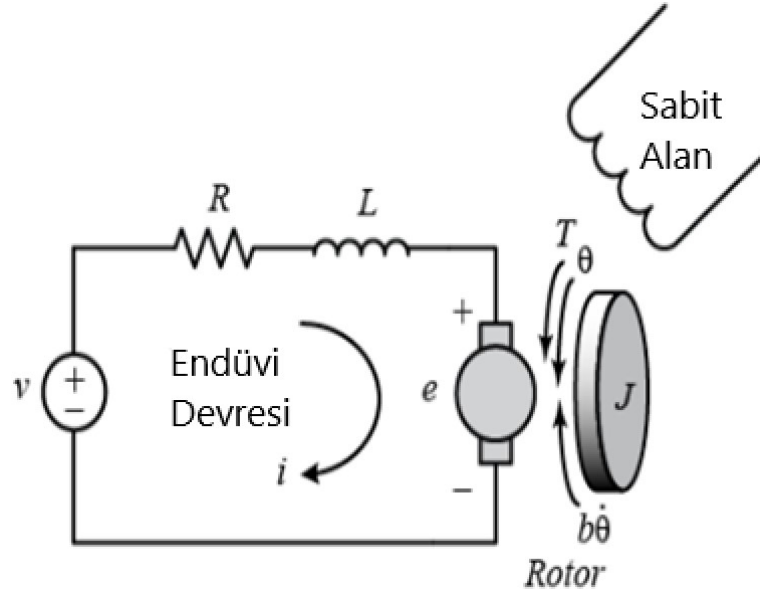
$$Y_x = y_x + S_V \text{ ve } x = X + S_h \quad (3.41)$$

Denklem (3.40) ve denklem (3.41)'de C kesit faktörünü, D tepe faktörünü, BCD sertliği, B sertlik faktörünü, E bükülme faktörünü, H yatay kaymayı, V dikey kaymayı, Bx1 kompoziti ifade eder.

Bu tez çalışmasında tekerlek modeli oluşturulmamıştır. Motorlar tarafından oluşturulan tahrik kuvveti kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

3.2.5 Elektrik Motorlarının Matematiksel Modellemesi

Elektrik motorların kontrol çalışmalarının geneli DC motor sistemleridir. Kolay matematiksel modellenmesinin yanında en basit kontrol edilen motor sistemidir. DC motorlar doğrudan dönme hareketi sağlar ve Armatörün elektrik devresi ve rotorun serbest gövde diyagramı Şekil 3.17'da verilmiştir.



Şekill 3.17 Dc motor serbest gövde diyagramı (Çelik 2019).

Şekil 3.17’de belirtilen parametreler ise ; J rotorun atalet momentini, b mekanik sistemin sönüm oranını, ($K = K_e = K_t$) elektromotor kuvvet sabitini, R elektrik direncini, L elektrik endüktansını, V giriş (V): Kaynak Gerilimini, θ çıkış (teta): şaftın konumunu ifade eder.

Genel olarak, bir DC motorda üretilen tork, armatürün akımı ve manyetik alanın gücü ile orantılıdır. Bu örnekte manyetik alanın sabit olduğu ve motor torkunun denklem (3.42)’de gösterildiği gibi i sabit sabit bir vektörle sadece armatör akımıyla orantılı olduğu varsayılırsa T motor torku elde edilir.

$$T = K_t \times i \quad (3.42)$$

$$e = K_e \times \dot{\theta} \quad (3.43)$$

Denklem (3.43)’de ise e şaftın dönme hızını ifade eder.

SI birim sisteminde, armatör sabiti ve motor sabiti eşittir. Bu yüzden denklem (3.45)’de kullanılan K her ikisini de ifade eder. Aşağıdaki denklemler Newton yasalarından Kirchhoff yasasına göre yazılabilir.

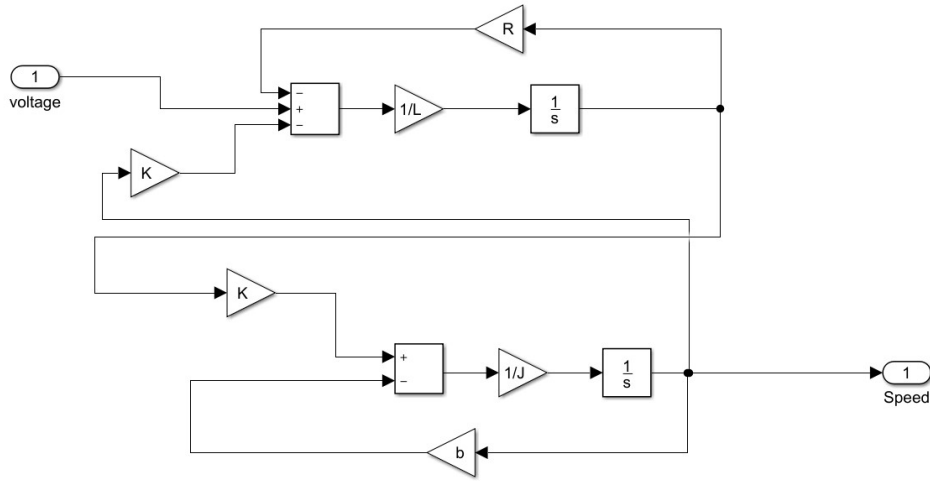
$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = K_i \quad (3.44)$$

$$L \frac{d_i}{d_t} + R_i = V - K\dot{\theta} \quad (3.45)$$

Akım ortadan kaldırılarak, dönme hızının çıkış ve voltajın giriş olduğu ve denklem (3.46)'da ifade edilen açık döngü aktarım fonksiyonu elde edilir.

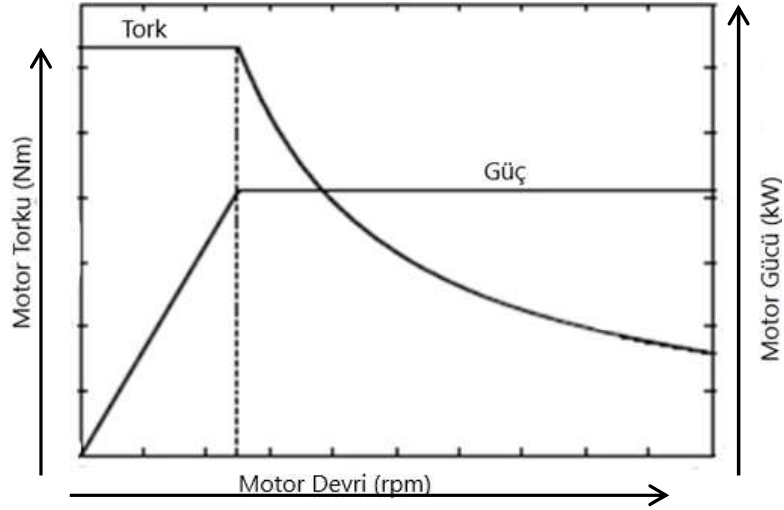
$$\frac{\theta}{V} = \frac{K}{(J_s+b) \times (L_s+R) + K^2} \quad (3.46)$$

Şekil 3.18'de ise SIMULINK'de oluşturulan DC motor bloğu verilmiştir.



Şekil 3.18 Simulink'de oluşturulan DC motor bloğu.

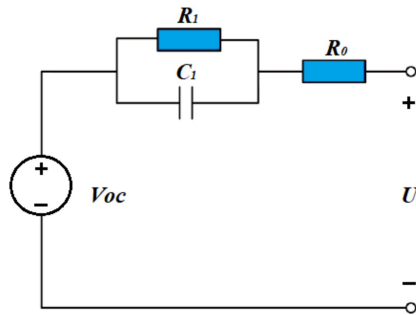
Şekil 3.19'da ise klasik bir elektrik motoruna ait tork, devir ve güç değişiminin grafiği verilmiştir.



Şekil 3.19 Elektrik motorlarının devir, tork ve güç değişimi (Ensani vd. 2005).

3.2.6 Bataryaların Matematiksel Modellemesi

Bataryalar iki yada daha fazla kimyasal bileşeni elektrik enerjisine dönüştüren hücrelerin birbirine bağlanmasıyla oluşur. Batarya modelleri genel olarak eşdeğer modelleri, elektrokimyasal modeller, kontrol bazlı modellemeler ve deneysel modellemeler olarak çeşitli gruplara ayrılır. Bu çalışmada bataryaların modellenmesi için Şekil 3.20’de da görüldüğü gibi dinamik eşdeğer batarya modeli kullanılmıştır. Model devresi için seri ve paralel ağlardan oluşur. Akünün açık devre fonksiyonunu (V_{OC}) temsil etmek için kullanılır. (R_0) voltaj kaynağı direncini, (R_1) polarizasyon direncini ve (C_1) ise polarizasyon kapasitesini (U) ise terminal gerilimini ifade eder.



Şekil 3.20 Dinamik eşdeğer batarya modeli.

Batarya parametreleri akım ve gerilim değerlerinden yararlanılarak modellenir. Bu çalışmada 20 °C deki deneysel yollarla bulunmuş parametre değerleri kullanılmıştır (Ehsani 2010, Özbalcı 2019).

Çizelge 3.2 Batarya model parametreleri

Şarj Durumu %	R_0	R_1	C_1	V_{oc}
0	0.0085	0.0029	12447	3,5057
10	0.0085	0.0024	18872	3,5660
25	0.0087	0.0026	40764	3,6337
50	0.0082	0.0016	18721	3,7127
75	0.0083	0.0023	33360	3,9259
90	0.0085	0.0018	18360	4,0777
100	0.0085	0.0017	23394	4,1928

Bataryaların şarj durumu ise batarya ya giren ve çıkan akım ile belirlenir. Denklem (3.47)'de ise bataryanın şarj durumu matematiksel olarak belirlenmiştir (Yao 2013).

$$SOC = SOC_0 - \int \frac{I \times 100}{Q_i \times 3600} dt \quad (3.47)$$

Denklem (3.47)'de ise; SOC batarya şarj durumunu, SOC_0 başlangıç şarj durumunu, I batarya akımını, Q_i ise batarya kapasitesini göstermektedir.

Lityum – İyon bataryasındaki şarj ve deşarj durumu aşağıdaki formüllerde gösterilmiştir

Deşarj durumu ($i > 0$);

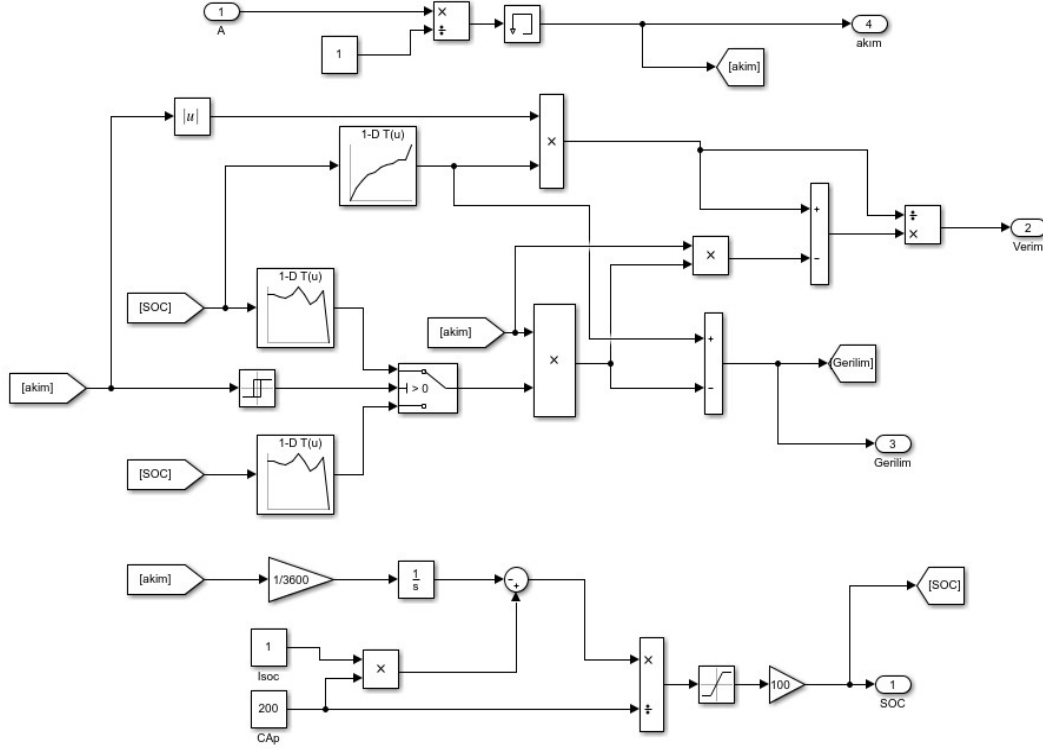
$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \frac{Q}{Q-it} i^* - K \frac{Q}{Q-it} it + A \exp(-Bit) \quad (3.48)$$

Şarj durumunda ise ($i < 0$);

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \frac{Q}{it+0.1Q} i^* - K \frac{Q}{Q-it} it + A \exp(-Bit) \quad (3.49)$$

Denklem (3.48) ve denklem (3.49)'da ise i batarya akımını, t zamanı, E_0 sabit voltajı, K polarizasyon sabitini, Q maksimum batarya kapasitesini, i^* düşük frekans akım dinamiğini, A üstel voltajını, B üstel kapasiteyi ifade etmektedir.

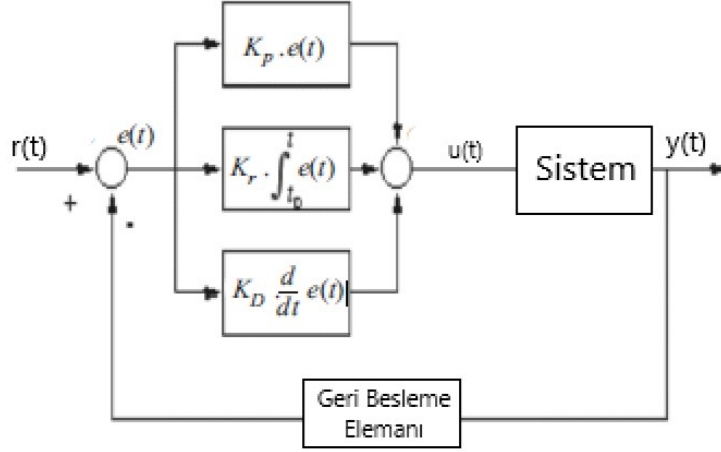
Şekil 3.21’de ise MATLAB/SIMULINK’de oluşturulan batarya modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.21 MATLAB/SIMULINK batarya modeli.

3.2.7 PID Denetleyici

Motor kontrol sistemleri içerisinde PID (Oransal-İntegral-Türev) denetleyicisi oldukça anlaşılır ve etkili olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır. PID denetleyicisi sürekli olarak referans değer ile sistem tarafından oluşturulan değer arasındaki farkı alarak hata değeri oluşturur. Oluşturulan bu hata değerinin farkına göre denetleyici tarafından sistemin çıktısının referans değere eşitlemeye çalışır. Şekil 3.22’de ise geri beslemeli PID kontrol sisteminin yapısı verilmiştir (Çelik 2019).



Şekil 3.22 Geri beslemeli kontrol sisteminin yapısı (Bansal 2009).

Referans değere eşit olan PID kontrolörünün çıktısı ise denklem (3.50)'de gösterilmiştir.

$$y(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_p \frac{de}{dt} \quad (3.50)$$

PID kontrolörde sistem $e(t)$ hata değeridir. Yani referans değer $r(t)$ ile gerçek çıktı $y(t)$ arasındaki farktır. Bu hata değeri PID denetleyiciyi besler ve denetleyici tarafından zamana bağlı olarak K_p = orantılı kazanç, K_i = integral kazanç ve K_d = türev kazancı olarak $u(t)$ çıktısı oluşturulur ve sisteme gönderilir. Sistem son olarak yeni hata değerinin bulunması için geri besleme elemanı olarak referans değerden çıkartılır. PID kontrolör sürekli devam eder ve kazanç katsayılarına göre belirli bir zamandan sonra istenilen referans değere sistemi ulaştırır.

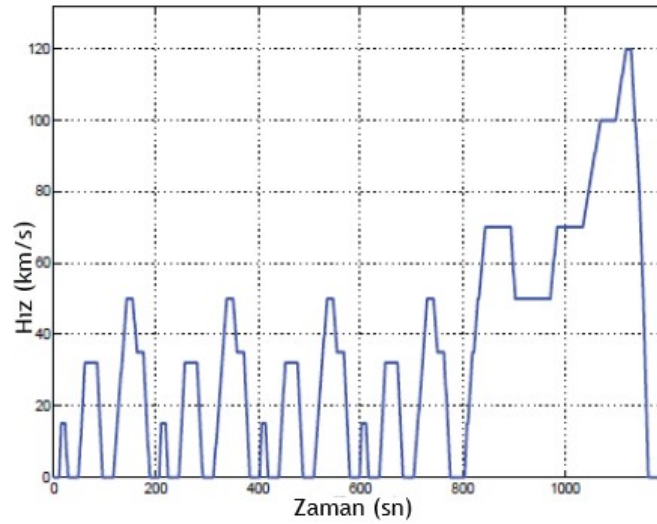
Bir PID kontrolörünün transfer fonksiyonu, denklem (3.50)'in Laplace dönüşümü alınarak bulunur.

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (3.51)$$

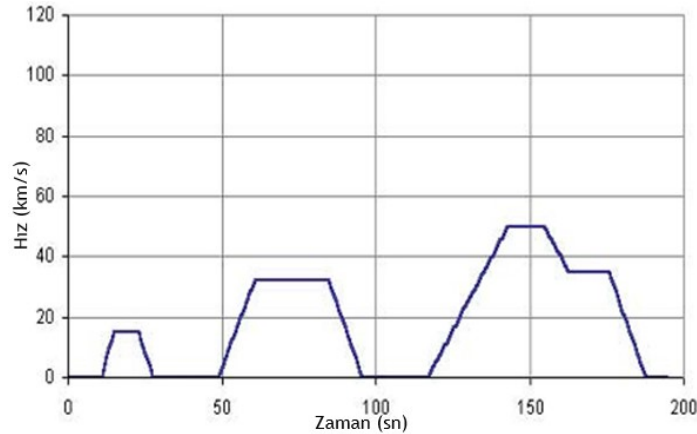
Denklem (3.51) kullanılarak PID denetleyici modellenebilir. Bu çalışmada ise Simulink kütüphanesinde bulunan PID(s) bloğu kullanılmıştır. PID kontrol parametreleri ise ($K_p = 6000, K_i = 0.5, K_d = 3500$) olarak belirlenmiştir.

3.3 Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (NEDC)

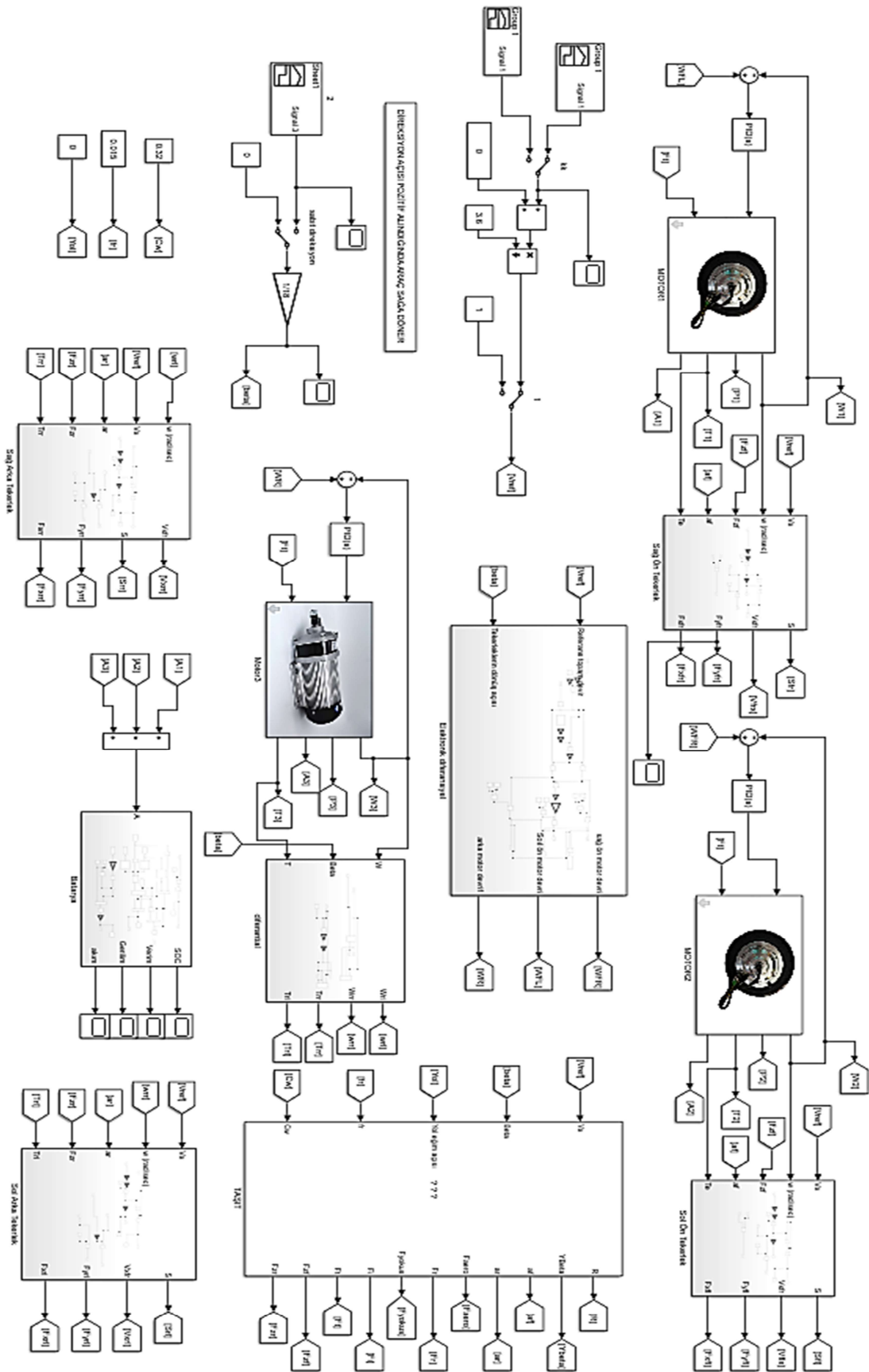
NEDC (New European Driving Cycle) ilk olarak 1980 yılında tasarlanmış ve 1997 yılında son olarak belirlenen taşıtların motor performans ve emisyon gibi parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan sürüş senaryosudur. Dört defa tekrarlanmış ECE-15 şehir içi çevrimi ve son olarak şehir dışı çevrimi olan EUDC çevrimini içermektedir. Toplam çevrim mesafesi teorik olarak 10932 metre ve 1180 saniye sürmektedir. Toplam test süresinde ortalama hız 33,35 km/h 'dir. ECE-15 çevrimi, 994,03 metrelik teorik bir mesafeden sonra 195 sn'de sona erer, daha sonra arka arkaya dört kez tekrarlanır. Toplam süre, 3976,1 metrelik teorik bir mesafede, ortalama 18,35 km / h hızla 780 h'dir (13 dakika). Bu çevrimde taşıtın maksimum hızı 50 km/h dir. NEDC sürüş çevrimi Şekil 3.23'de gösterilmiştir. Şekil 3.24'de ise ECE-15 testi verilmiştir.



Şekil 3.23 Yeni Avrupa sürüş döngüsü (NEDC) (Schaltz 2010).



Şekil 3.24 Şehir içi sürüş çevrimi ECE-15 (İnt. Kyn. 8).



Şekil 3.25 Genel simülasyon bloğu.

4 BULGULAR

Bu tez çalışmasında öncelikle tasarımı ve imalatı yapılan taşıtın parametrelerine uygun olarak matematiksel modeli oluşturulmuş ve MATLAB/SIMULINK' de simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen bu simülasyon sonuçları gerçekleştirilen taşıttan alınan veriler ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır.

4.1 Matematiksel Modellemeden Elde Edilen Bulgular

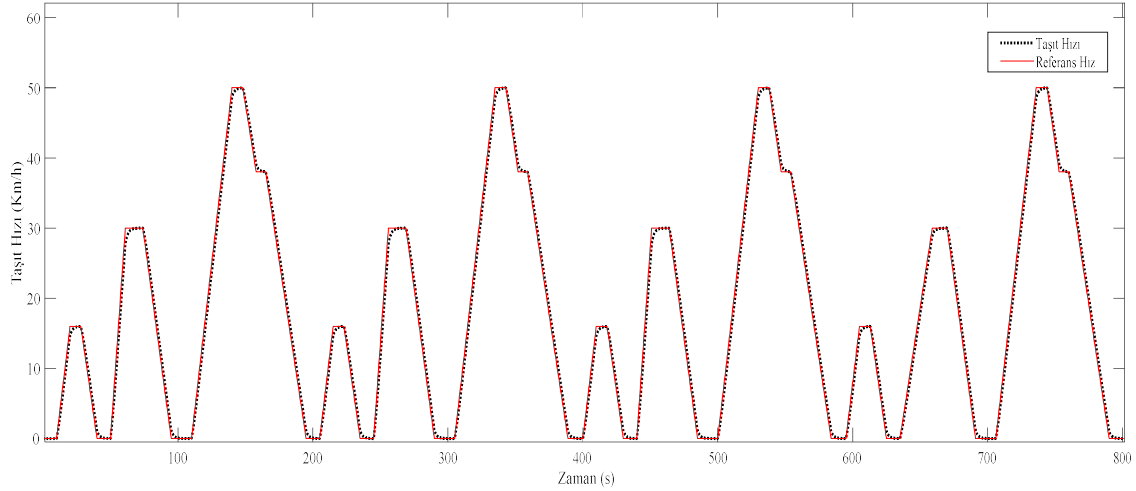
Matematiksel modelleme ve simülasyon, taşıt üretim parametrelerin belirlenmesi, maliyet hesaplamaları, taşıtın sürüş dinamiği gibi bir çok konuda taşıtın prototip imalatından öncesinde ve sonrasında belirli varsayımlar elde edilmesi sağlanır. EA'da ise bu simülasyon ve deneysel çalışmalar bir kat daha önemlidir. Çünkü taşıtın ağırlık, tork ihtiyacı gibi gereksinimlerinin optimum şartlarda sağlanması için gerekli olan motor büyüklüğü ve batarya gereksinimlerinin belirlenmesi sağlanır.

Simülasyonu yapılan taşıt ilk olarak NEDC sürüş çevrimine göre simülasyonu yapılmıştır. Bu çalışmada genel olarak taşıt dört tekerlekten tahriki sisteme uygun olarak modellenmiş de FWD ve RWD olarak karşılaştırmalı sonuçlarından bahsedilmiştir. Son olarak viraj, yokuş gibi taşıta etkileyen kuvvetlerin motor performansına olan etkisi incelenmiştir.

Taşıt, Yeni Avrupa Seyir Çevrimi (NEDC)'deki referans hızlara göre oluşturulan çevrimi ve taşıtın bu referans hızlanmaya göre simülasyon sonucunda oluşan taşıt hızı Şekil 4.1'de verilmiştir. Oluşturulan bu çevrim de taşıt ilk olarak 10 saniye bekletildikten sonra 0.4 m/sn^2 sabit ivme ile hızı 16 km/s hıza çıkarılmış 8 saniye aynı hızda ilerledikten sonra aynı ivme değeri ile durdurulmuş ve 10 saniye bekletilmiştir.

Daha sonra 0.75 m/sn^2 sabit ivme ile taşıtın hızı 30 km / s hıza çıkarılmış ve aynı hızda 12 saniye ilerletildikten sonra taşıt aynı ivme değeriyle durdurulmuştur. Son olarak taşıt 15 saniye bekletildikten sonra 0.4 m/sn^2 sabit ivme ile hızı 50 km / s hıza çıkarılmış ve sabit hızda 8 saniye ilerletilmiştir.

Daha sonra aynı ivme ile yavaşlatılmış ve taşıtın hızı 38 km / s ulaştığında 7 saniye ilerletilmiş ve aynı ivme değeri ile taşıt durdurulmuştur. Taşıt NEDC çevrimi şehir içi standartlarına uygun olarak bu çevrim dört defa tekrar edilmiştir.

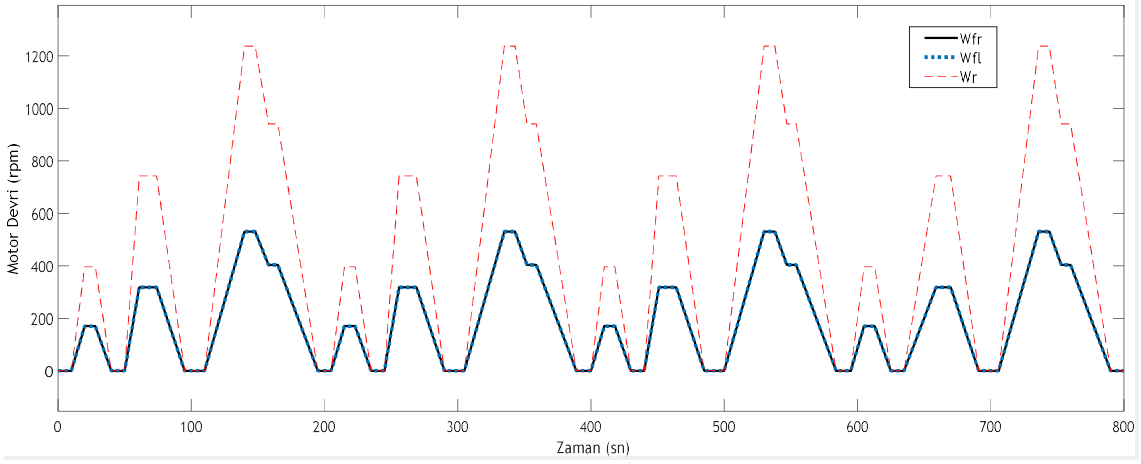


Şekil 4.1 Simülasyonu yapılacak olan taşıtın referans hızı.

Oluşturulan referans hızlanmaya uygun olarak taşıtın hızlanması Şekil 4.1'de görülmektedir. Referans çevrimde hız değişimleri daha keskin olarak verilmiş olsa da modellenen taşıtın bu noktalarda taşıtın dinamik davranışlarının etkisi ve PID kontrol gecikmelerinden dolayı hız farkı oluştuğu gözlemlenmiştir. Örneğin 61. saniyede taşıtın referans hızlanması 30 km/s 'dir. Ancak taşıtın hızı ise 27.9 km/s 'dir.

4.1.1 4WD Tahrik Sistemi

Taşıt bir den fazla elektrik motoruyla tahrik edildiği için referans hızlanmaya göre taşıtta kullanılan motorların devirlerinin hız farkı oluşturmaması için düzenlemesi gerekmektedir. Ackerman geometrisi kullanılarak oluşturulan elektronik diferansiyelde ön tekerleklerde kullanılan elektrik motorlarının devirleri düzenlenmiştir. Elektronik diferansiyelde ek olarak mekanik diferansiyelin etkisi de dâhil edilerek arka motorun referans devir eğrisi oluşturulmuştur. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi taşıt düz yolda hareket ettiği için ön tekerleklerde bulunan elektrik motorları arasında herhangi bir devir farkı olmazken arka tekerleklerin tahriki için diferansiyele bağlı olarak kullanılan elektrik motorunda ise devir farklılığı görülmektedir. Bu devir farkı diferansiyeldeki dişli oranı ve tekerleklerdeki çap farkından kaynaklanmaktadır.

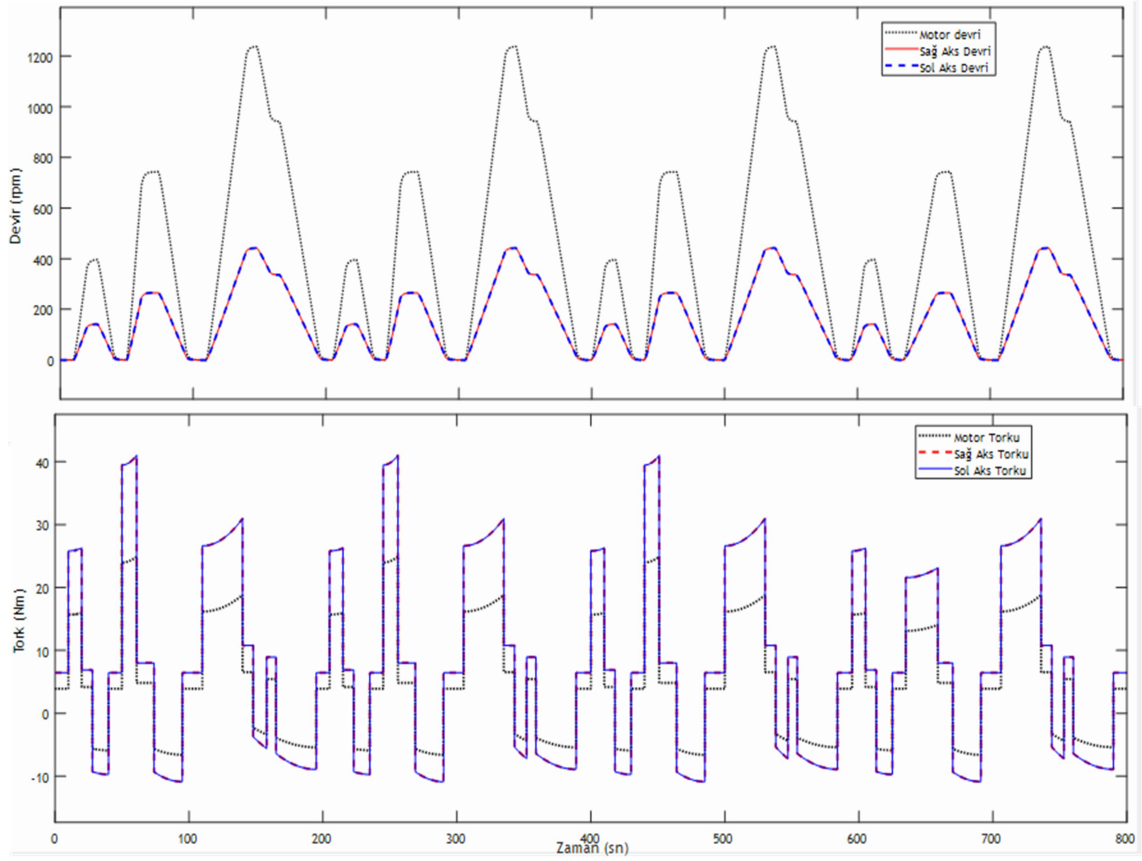


Şekil 4.2 Referans hıza bağlı olarak motorların referans devir değişimi.

İmalatı yapılan taşıtta kullanılan diferansiyeldeki dişli oranı 3.36 olduğu için motordan alınan devir 3.36 oranında azalmaktadır. Aynı oranda ise motordan elde edilen tork artar. Ayrıca ön tekerleklerin yarıçapı 0,25 m, arka tekerleklerin yarıçapı ise 0,3 m olduğu için devir farkını etkilemektedir. Örneğin taşıtın maksimum hızında (50 km/s) ön tekerleklerde bulunan elektrik motorlarının 530.5 rpm ile dönmesi gerekirken arka tekerleklerin tahrik edilmesi için diferansiyele bağlı olan elektrik motorunun 1238 rpm dönmesi gerekmektedir.

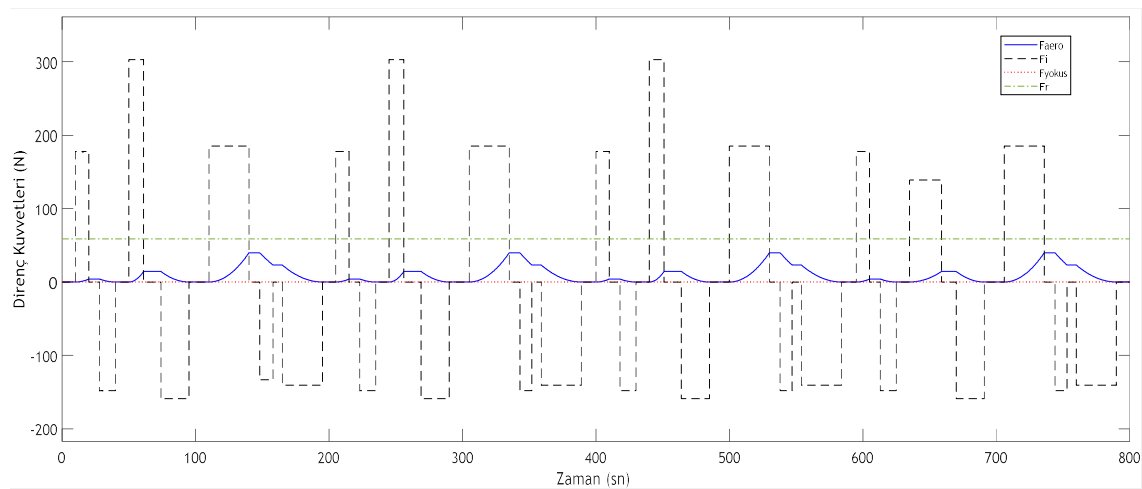
Oluşan bu devir farklılığı Şekil 4.3’de daha ayrıntılı olarak görülmektedir. Bu şekilde diferansiyel sisteminin taşıt üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılmaktadır. Örneğin diferansiyeli ile motoru bağlayan pinyon dişlisinin maksimum devri 1238 rpm iken sağ ve sol tekerleklere bağlı olan aks dişlilerinin devirleri ise diferansiyel oranına bağlı olarak yaklaşık 3.36 azalmış ve 442 rpm olmuştur. Ön tekerlerin devirleri arasındaki fark ise tekerlek yarıçaplarından kaynaklanmaktadır.

Elektrik motorunun maksimum tork kuvveti ise simülasyonun 60. saniyesinde oluşmuş ve yaklaşık olarak 25 Nm olurken aks torkları yaklaşık olarak 41 Nm olmuştur. Bu tork artışı taşıtın hareketini kolaylaştırmıştır. Şekil 4.3’te mekanik diferansiyelden alınan aks tork ve devirleri verilmiştir.



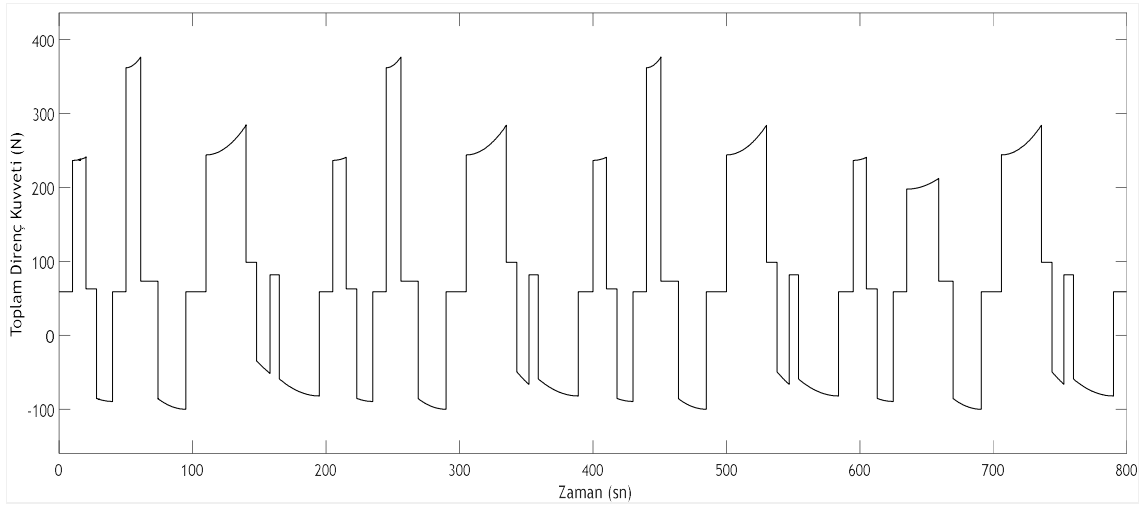
Şekil 4.3 Mekanik diferansiyelden alınan aks tork ve devirleri.

Bir taşıtın hareketi sırasında motor gücü tarafından aşılması gereken dirençler oluşur. Bu dirençlerin toplamı taşıtın doğrusal hareketi için motordan tahrik tekerleklerine iletilecek olan kuvveti belirler. Belirlenen taşıt mimarisine uygun olarak ve referans çevrime göre taşıtın hareketi sırasında oluşan kuvvetler Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Taşıtın hareketi için taşıta etkileyen direnç kuvvetleri.

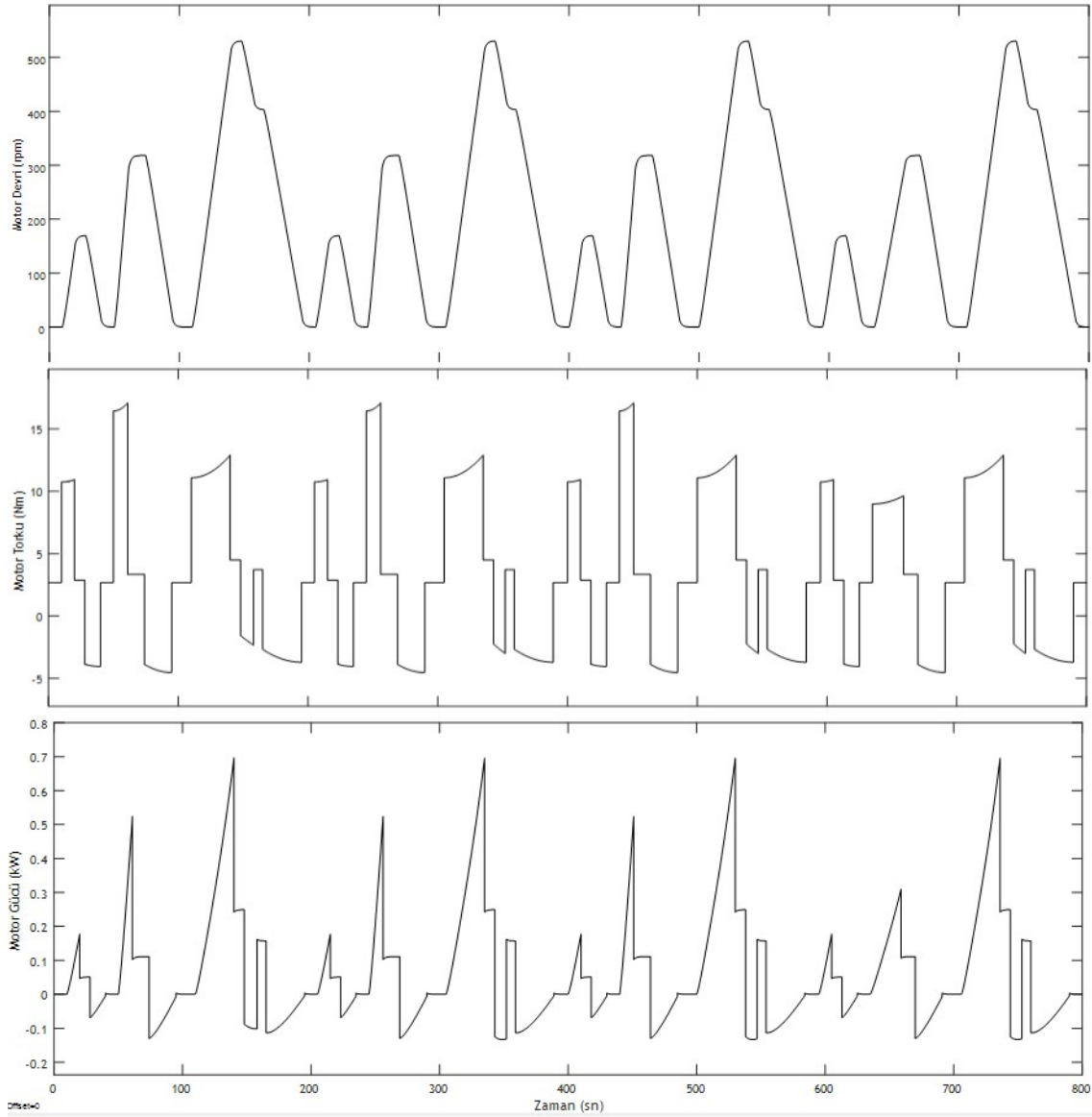
Taşıt simülasyon boyunca belirlenen referans hızlanmasına uygun olarak, düz bir yolda hareket ettiği kabul edilmiştir. Taşıtın rüzgar direncini etkileyen parametrelerden olan aerodinamik direnç katsayısı $C_w = 0.32$ alınmış ve rüzgarsız bir ortamda olduğu varsayılmıştır. Ayrıca sürtünme direnç katsayısı 0.015 alınmıştır. Taşıtın hareketi için motorun yenmesi gereken toplam direnç kuvveti Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Taşıtı etkileyen toplam direnç kuvvetleri.

Taşıt simülasyon süresinde oluşan maksimum direnç kuvveti ise ivmelenme direncinin en yüksek olduğu anda ulaşmış ve yaklaşık olarak $377 N$ 'dur. Minimum direnç kuvveti ise taşıt yavaşladığı zamanlarda oluşmuş ve yaklaşık olarak $-100 N$ 'dur.

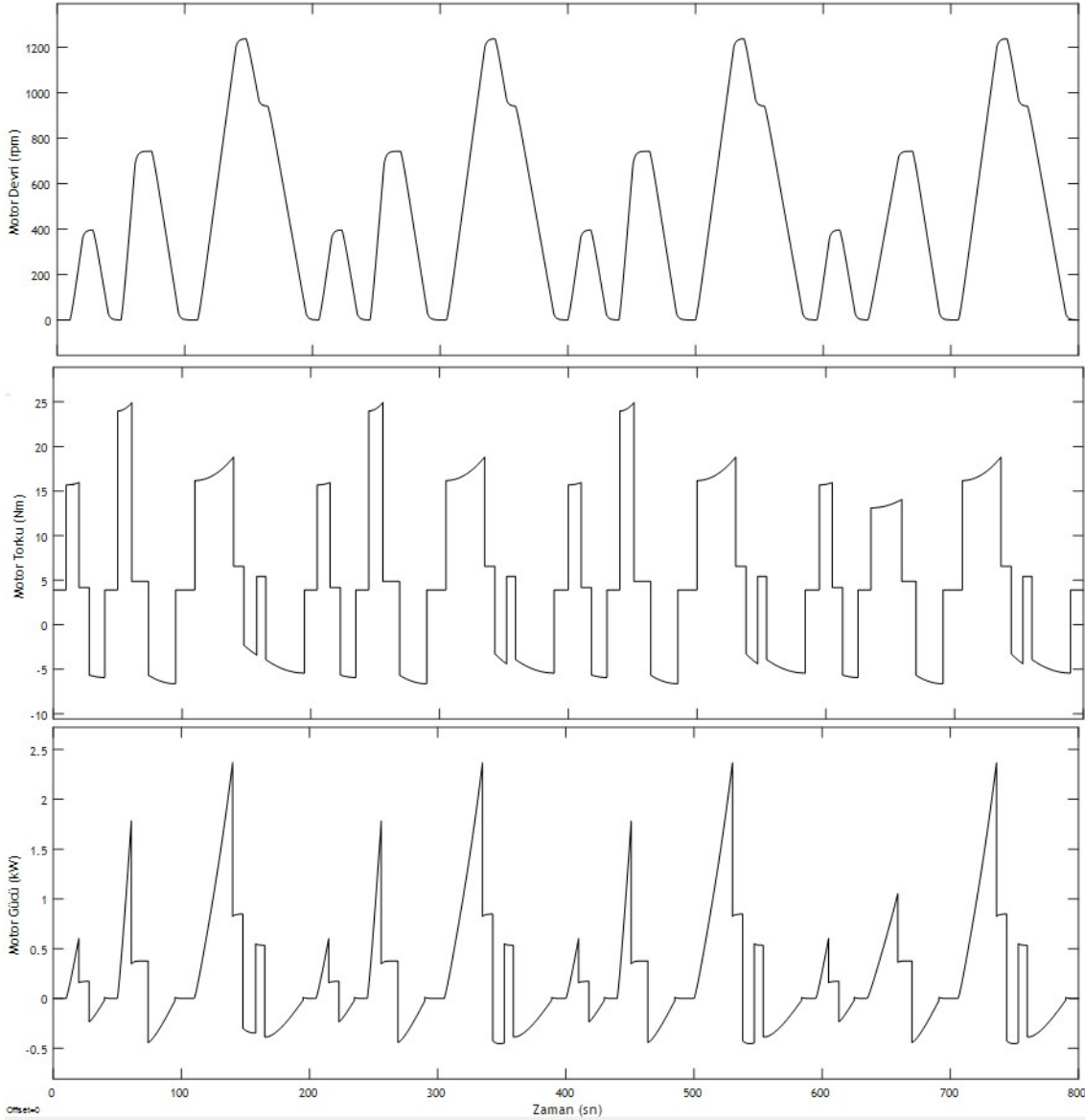
Taşıt dört tekerlekten tahrik oluşturacak şekilde modellendiği için, üç elektrik motoruyla tahrik edilmiştir. Şekil 4.6’da sağ ön tekerlekte bulunan elektrik motorunun tork, devir ve güç eğrileri verilmiştir. Taşıt düz bir yolda herhangi bir yönlendirme yapılmadığı varsayıldığı için ön tekerleklerde bulunan elektrik motorlarının devir, tork ve güçlerinde herhangi bir farklılık görülmeyeceği için iki motor da çevrim boyunca aynı sonuçları verecektir. Bu yüzden Şekil 4.6 aynı zamanda sol ön motorun verileriyle aynıdır.



Şekil 4.6 Ön tekerlekte kullanılan motorların güç, tork ve devirleri.

Belirlenen çevrim dört defa tekrar ettirildiği için elde edilen sonuçlarda çevrimin tekrar eden diğer zamanlarında da benzerlik göstermektedir. Motorların maksimum devirleri, çevriminin maksimum hızı olan 50 km/s hıza ulaştığı zamanlarda görülmüştür. Motorlar referans devirlere uygun olarak simülasyonu tamamlamış ve maksimum devir 530 rpm olmuştur. Ön motorların maksimum tork değeri yaklaşık olarak 60 . saniyesinde yaklaşık olarak 17 Nm 'dir. Minimum tork değeri ise 90 . saniyede taşıtın hızının azaldığı anda görülmüş ve yaklaşık olarak -5 Nm 'dir. Motorların güçleri ise devir ve tork la paralel olarak maksimum ve minimum değerleri aynı saniyelerde görülmüş ve $0,7 \text{ kW}$ ile $-0,2 \text{ kW}$ arasında değişmektedir. Gerçeklemesi yapılan taşıtta

ise ön tekerleklerde $60V, 1.2 kW$ ve $60 - 80 Nm$ tork üretebilen BLDC motor kullanıldığı için taşıtın ihtiyacı olan torku üretebilir ve çevrimi tamamlayabileceklerdir.



Şekil 4.7 Arka tekerleklerin tahriki için kullanılan motorun güç, tork ve devirleri.

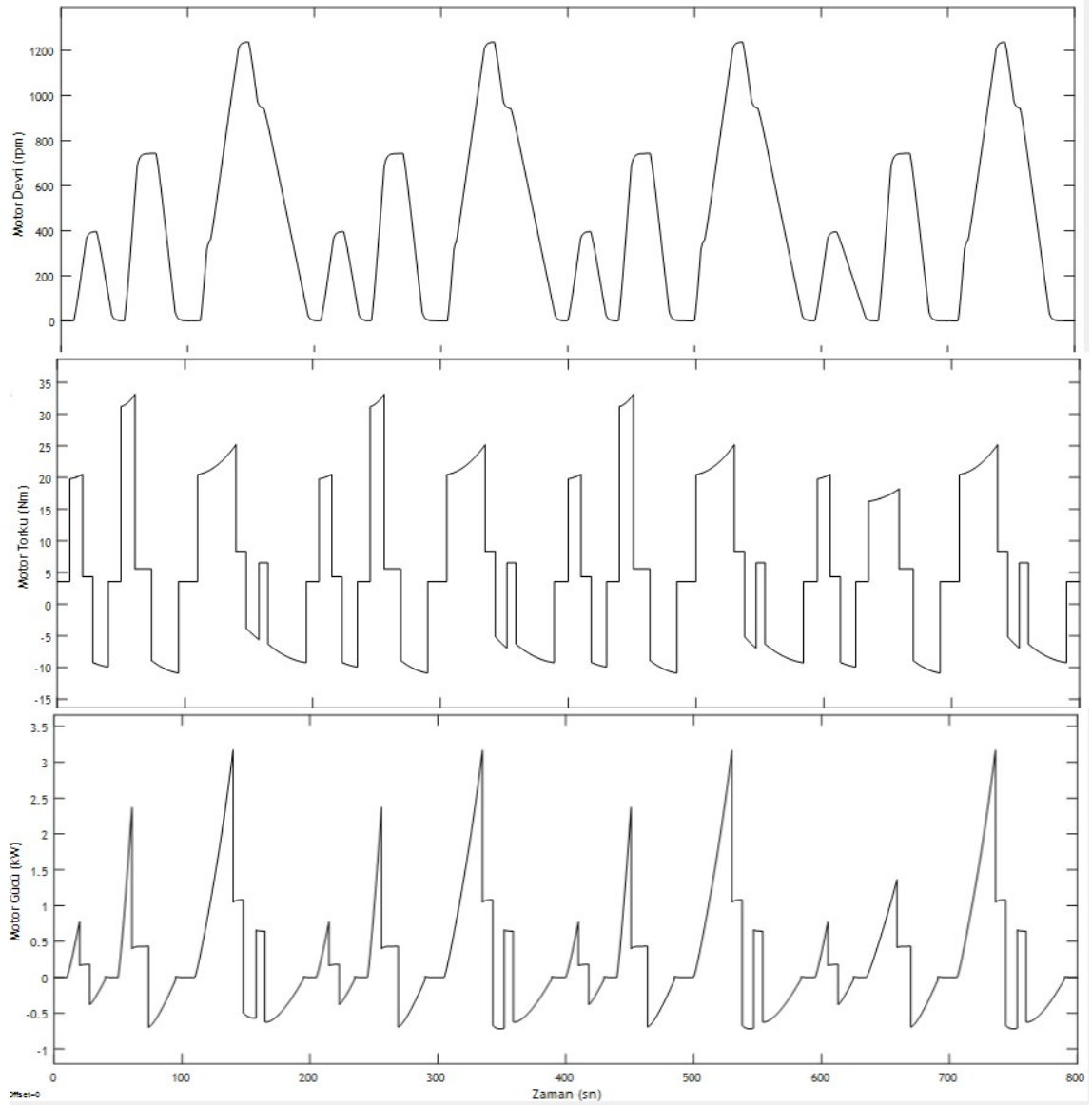
Şekil 4.7’de diferansiyele bağlı olarak kullanılan elektrik motorunun çevrim ve araç parametrelerine göre güç, tork ve devir eğrileri verilmiştir. Şekil 4.6’ya paralel olarak motorun maksimum devri, maksimum taşıt hızında elde edilmiş ve yaklaşık olarak 1235 rpm’dir. Ayrıca motorun bağlı olduğu diferansiyelinde etkisiyle motorun maksimum tork değeri azalsa da yaklaşık olarak 24.77 Nm’dir. Motorun üretmesi gereken maksimum güç ise taşıtın maksimum hıza ulaştığı anda görülmüş ve yaklaşık olarak 2.36 kW’dır. Gerçekleşmesini yapılan taşıtta ise arka tekerleklerin tahriki için 2.5 kW

güç ve 110-120 Nm tork üretebilen bir BLDC motor kullanıldığı için belirlene çevrim ve taşıt parametrelerine göre imalatı yapılan taşıt çevrimi tamamlayabilmektedir.

4.1.2 RWD Tahrik Sistemi

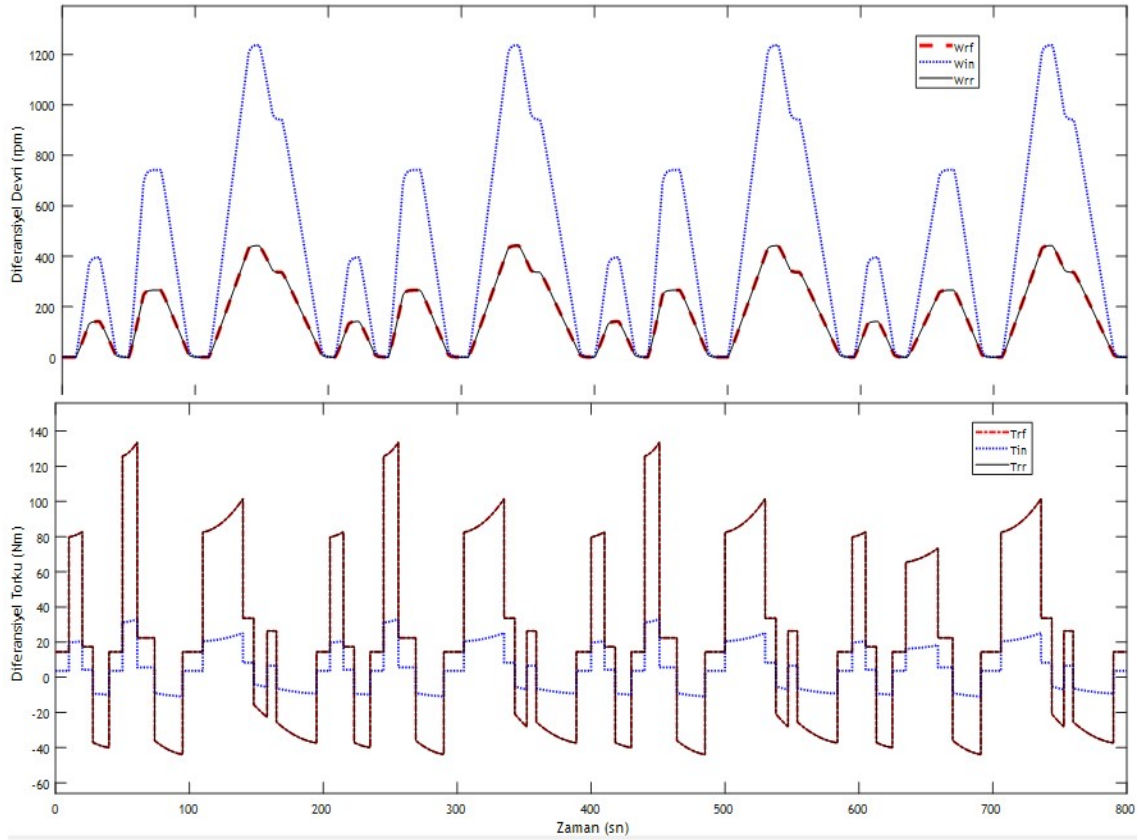
Dört tekerlekten tahrik edilen taşıt modelinde 3 adet elektrik motoru kullanılmıştır. Bu modelde ön tekerlekler tekerlek içi HUB motor, arka tekerleklerin tahriki için diferansiyele bağlı olarak bir elektrik motoru kullanılmıştır. Bu tahrik sisteminde ön tekerleklerdeki motorlar iptal edilmiş ve taşıt sadece arka motor ile tahrik edilmiştir. Bu modelde de aynı çevrim kullanılmış ve imalatı yapılan taşıtın parametrelerine uygun olarak modellenmiştir. Modellenen taşıt aynı referans hızlanmaya ve aynı taşıt direnç kuvvetlerinin etkisi altında simülasyonu gerçekleştirildiği için bu kuvvetler 4WD tahrik sistemiyle aynı sonuçları verecektir. NEDC çevrimine göre imalatı yapılan taşıtın hareket edebilmesi için kullanılan motorların tork, güç ve devir eğrisi Şekil 4.8’de verilmiştir.

Taşıt sadece tek bir elektrik motorundan tahrik edildiğinde motor devri taşıt hızına paralel olarak değişmezken maksimum devir yaklaşık olarak 145. Saniyede görülmüş ve 1238 rpm olarak ölçülmüştür. Tork ise 4WD’ye oranla önemli oranda artış olurken maksimum tork 61. saniyede 33.17 Nm’dir. Elektrik motorunun maksimum gücü 140. saniyede görülmüş ve yaklaşık olarak 3.17 kW olarak ölçülmüştür. Bu değerler çevrim dört defa tekrar ettiği için yaklaşık olarak 200 saniye de tekrar aynı sonuçları verecektir. İmalatı yapılan taşıtta ise 2.5 kW elektrik motoru kullanıldığı için RWD olarak gerçekleştirilmesi yapıldığında taşıt çevrimi tamamlayamamıştır. Çevrimin 135. saniyesinde ise elektrik motorunun gücü 2.5 kW’dır. Bu güçte ise taşıtın hızı yaklaşık olarak 39 km / s’dir. İmalatı yapılan taşıt üzerinde yapılan testlerde ise taşıt maksimum olarak 36 km / s hıza ulaşmıştır. Dolayısıyla yol şartları ve diğer etkenler göze alındığında modellenmenin doğruluğu ispatlanmıştır.



Şekil 4.8 Elektrik motorunun güç, tork ve devir eğrisi.

Taşıtların genelinde kullanılan mekanik diferansiyelin taşıt dinamiğine ve performansına olan etkisi incelenecek olursa Şekil 4.9’da ise sağladığı tork artışı ve devir kaybı görülmektedir. Mekanik diferansiyelin kullanımı özellikle elektrikli araçlarda hem ağırlık hem de devir kaybından dolayı taşıt performansını olumsuz olarak etkilemektedir. Ancak sağladığı tork avantajıyla da daha düşük motor kullanımına olanak sağlar.



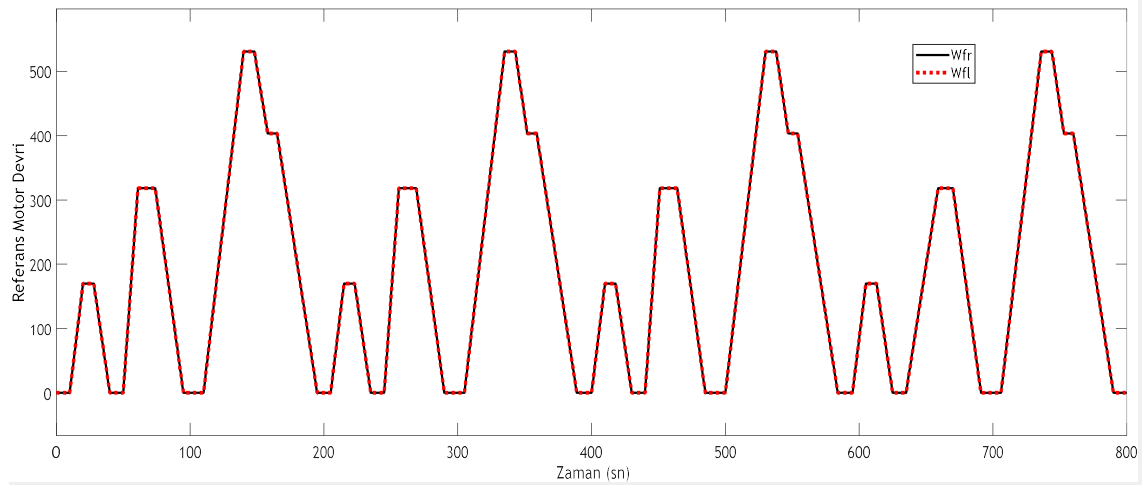
Şekil 4.9 Mekanik diferansiyelde oluşan devir ve tork değişimi.

Şekil 4.9’da W_m motor devri, W_{rr} diferansiyel çıkışındaki sağ aks devri, W_{rl} ise diferansiyel çıkışındaki sol aks devrini göstermektedir. T_m Motor torku, T_{rr} sağ aks torku, T_{rl} sol aks torkunu göstermektedir. İmalatı yapılan taşıtta kullanılan diferansiyeldeki dişli oranı 3,36 ve diferansiyelin verimi yaklaşık olarak %98 dir. Dolayısıyla diferansiyelin girişi ile diferansiyel çıkışındaki devir oranı dişli oranını kadardır. Örneğin motorun maksimum devrinde sağ ve sol akstaki devirler ise 442,1 rpm ’dir. Tork ise dişli oranında artarken diferansiyelde yaklaşık diferansiyelin veriminden kaynaklanan %2 oranında tork kaybedilmektedir. Maksimum tork 61. saniyede oluştuğuna göre her bir akstaki tork ise yaklaşık olarak 133,6 N ’a kadar çıkmaktadır.

4.1.3 FWD Tahrik Sistemi

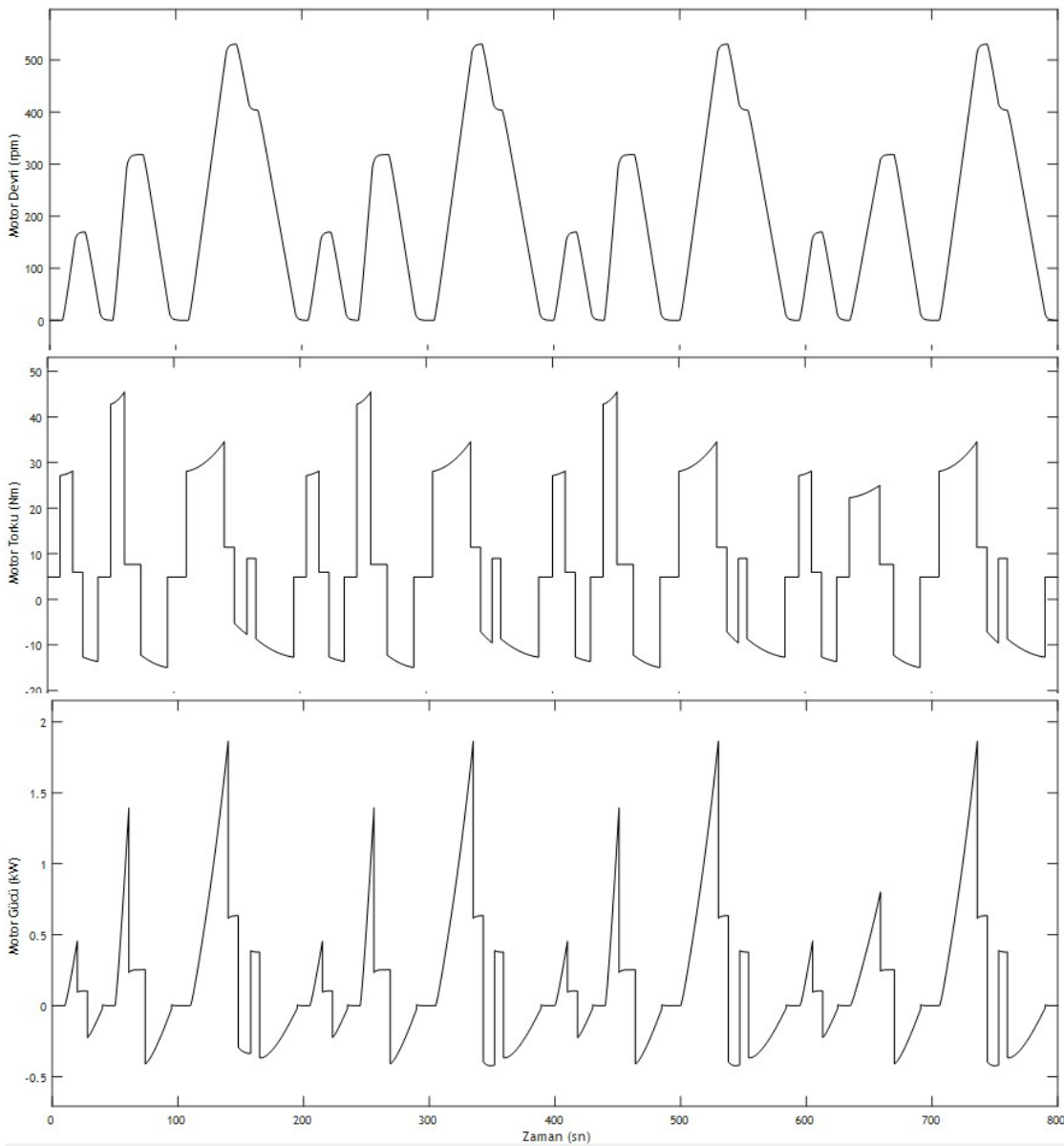
Gerçeklemesi yapılan taşıtta ise ön tekerleklerin tahrik edilmesi için iki adet HUB motor kullanılmıştır. Taşıtı sadece önden çekişli olarak simülasyonu yapılacağına ise bu iki HUB motordan tahrik edilecektir. Simülasyon belirlenen çevrime göre

gerçekleştirilmiş olup taşıt parametreleri aynı kalacağı için taşıt direnç kuvvetleri değişmeyecektir. Modelde iki elektrik motoru kullanıldığı için referans hızlanmaya bağlı olarak motor devirlerinin paralel olması gerekmektedir. Şekil 4.10'da ise belirlenen referans hıza göre elektronik diferansiyelde belirlenen motor devirleri gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Elektronik diferansiyelden alınan referans motor devirleri.

Elektronik diferansiyelde belirlenen bu motor devirleri tekerlek motorlarını kontrol eden PID kontrolöre referans olarak gönderilmiştir. Şekil 4.11'de ise bu referans devir ve motorlara uygulan direnç kuvvetlerine göre motorlarda oluşan devir, tork ve güç eğrileri verilmiştir. Motorlar düz bir yolda ilerlediği için yanal kuvvet oluşmadığından dolayı iki elektrik motoru da aynı verileri vereceğinden tek bir şekilde gösterilmiştir.



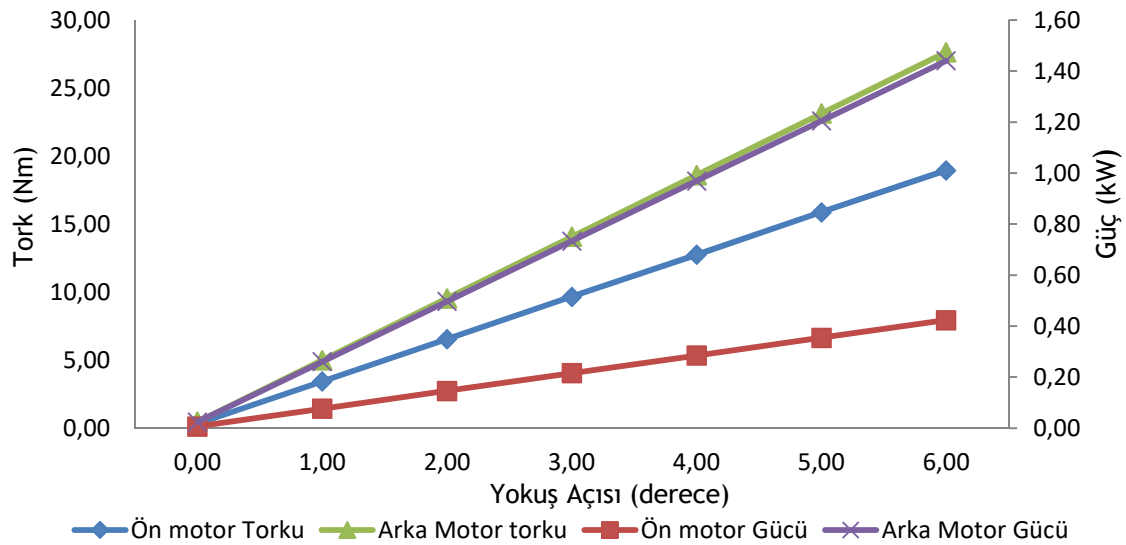
Şekil 4.11 Hub motorların devir, tork ve güç verileri.

Taşıtın referans hızlanması değişmediği için motor devirlerinde diğer tahrik sistemlerine göre bir farklılık görünmezken tork ve güç değerleri 4WD tahrik sistemine göre önemli oranda artmıştır. Bu tahrik sisteminde motorların maksimumum tork değeri simülasyonun 61.saniyesinde elde edilmiş ve 45.14 Nm 'dir. Minimum tork değeri ise taşıtın yavaşladığı zamanlarda oluşmuş ve yaklaşık olarak -12 Nm olarak elde edilmiştir. Taşıtın çevriminde belirlenen hız ve hızlanmaya sağlayabilmesi için gereken minimum motor gücü ise 1.9 kW 'lık iki adet tekerlek içi HUB motorun kullanılmasıyla sağlayabilmektedir. Dolayısıyla imalatı yapılan taşıtta 1.2 kW 'lık motorlar kullanıldığı için çevrin için gerekli hıza çıkamamaktadır.

4.2 Taşıt Direnç Kuvvetlerinin Elektrik Motorlarına Etkisi

Taşıt direnç kuvvetlerinin genel etsinin incelenmesi, bu dirençlerin motor torkuna ve gücüne olan etkisi sonucunda oluşan yaklaşık verilerin alınarak belirli varsayımların yapılması amaçlanmıştır. İncelenen direnç kuvvetinin etkisinin anlaşılması için modellenen taşıt sabit hızda (20 km/s) ve kuvvetin dışında kalan taşıta etkileyen diğer kuvvetlerde sabit olarak alınmıştır. Bu sayede elde edilen sonuçta tasarım parametrelerin elektrik motorlarına etkisi daha net bir şekilde anlaşılacaktır. Ayrıca belirlenen tahrik mimarisine uygun olarak taşıt dört tekerlekten de tahrik edilmiştir.

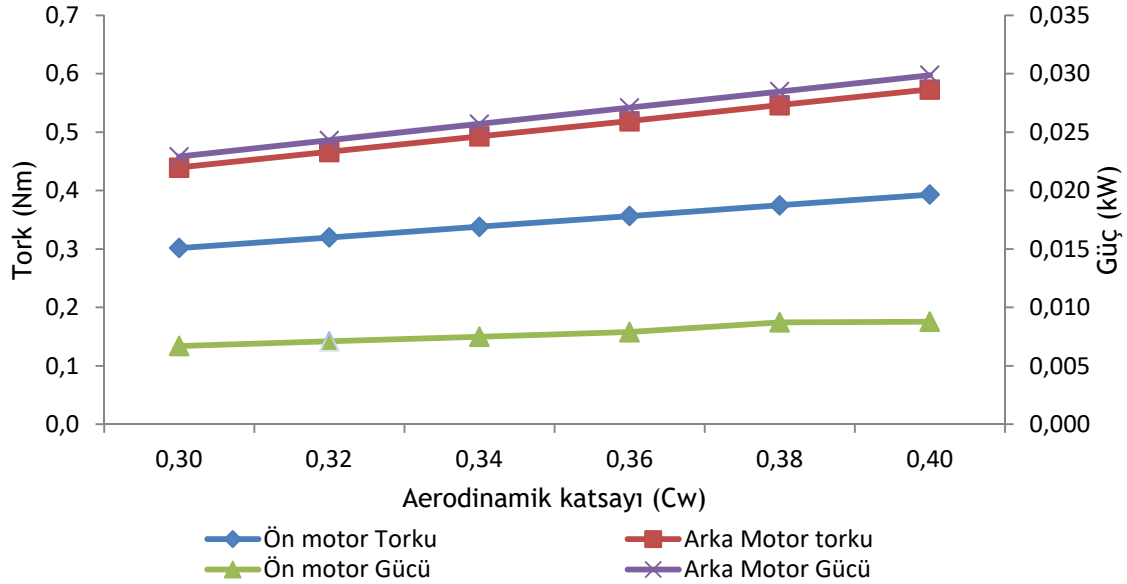
NEDC çevrimi simülasyonunda taşıta etkileyen yokuş direnci 0° olarak alınmıştır. Ancak taşıtın performansını etkileyen dış etkenlerin başında yokuş direnci gelir. Şekil 4.12’de sabit hızda yokuş direncinin motor performansına olan etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Taşıtın yol ile yaptığı açının taşıt performansına etkisi.

Taşıtın tırmanma kabiliyeti taşıt performansının belirlenmesindeki temel etkenlerden birisidir. Yol açısının 0° ve 6° arasında olduğunda taşıtı etkileyen kuvvetler belirlenmiş ve Şekil 4.12’de bu kuvvetler etkisindeki motorlarda oluşan tork ve güç değerleri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi yol açısı 0° olduğunda ön motorların her birindeki tork 0,31990 Nm, güç ise 0,00715 kW üretmektedir. Arka motor ise 0,4663 Nm tork, 0,0243 kW güç üretmektedir. Yol açısı 6° olduğunda ise ön tekerleklerde bulunan motorların her biri 18,96 Nm tork, 0,4236 kW güç üretmektedir. Arka motor ise bu açı

değerinde 27,64 Nm tork, 1,441 kW güç üretmektedir. Oluşan bu fark diğer dirençler sabit alındığı için yokuş direncinden kaynaklanan direnç kuvvetinin etkisidir.

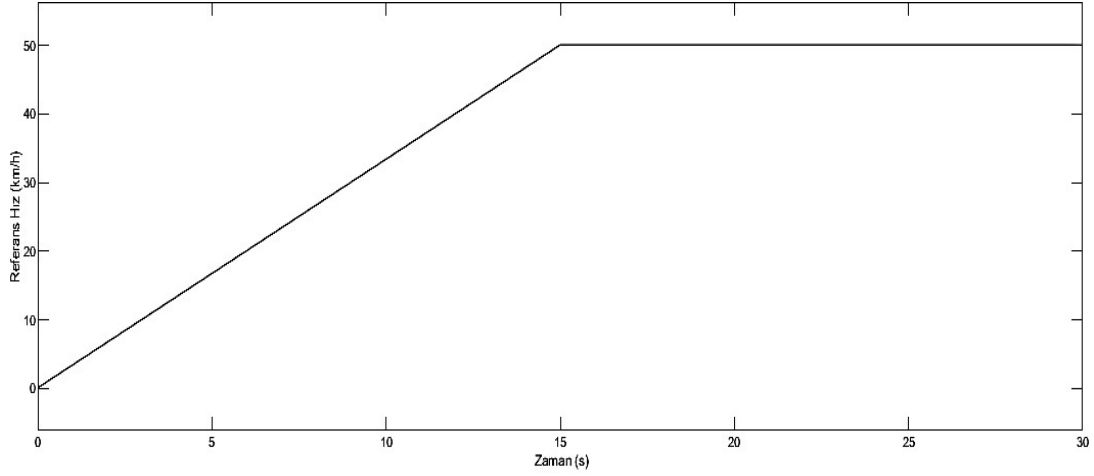


Şekil 4.13 Aerodinamik direnç katsayısının motor performansına etkisi.

Şekil 4.13’de ise aerodinamik direnç katsayısının motor performansına etkisi incelenmiştir. Aerodinamik direnç katsayısı genellikle rüzgar tünellerinde yapılan testler sonucunda belirlenir. Şekil 4.13’de ise genel olarak piyasada kullanılan taşıtların test sonuçları doğrultusunda belirlenmiş değerleridir. Örneğin arka tekerleklerin tahriki için kullanılan elektrik motoru 0,30 Cw katsayısıyla modellendiğinde 20 km / s hızla sabit olarak ilerlerken 0,023 kW güce sahip olması gerekirken aerodinamik direnç katsayısı 0,4 alındığında ise 0,030 kW güce ihtiyaç duyar.

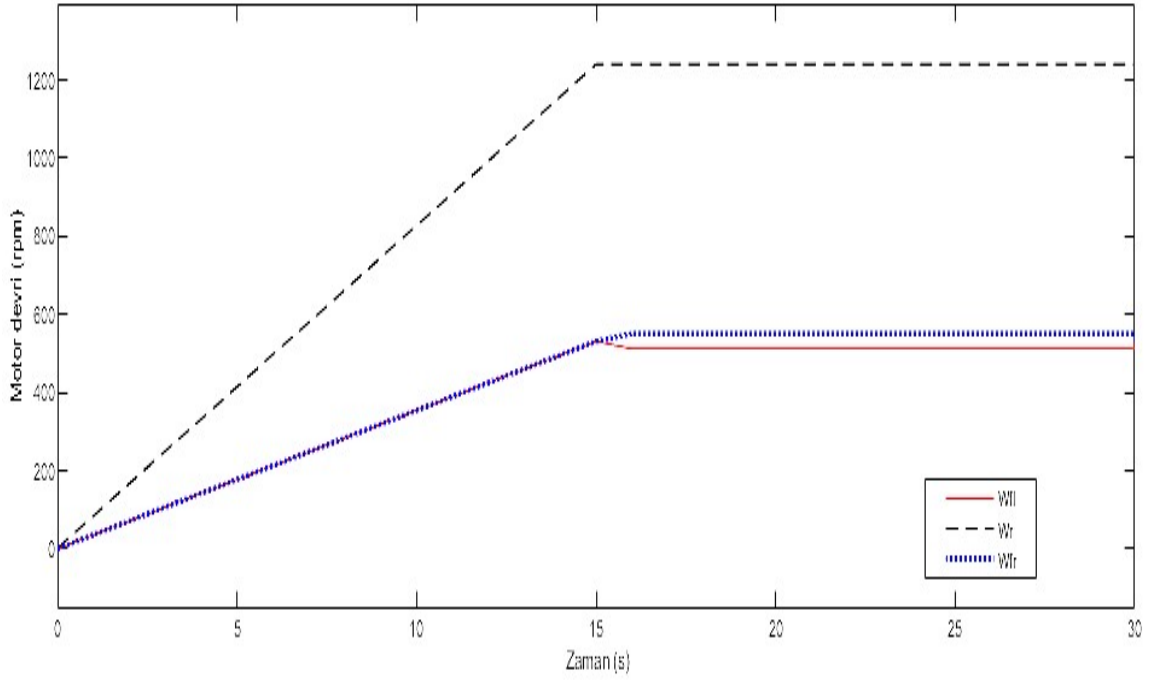
4.3 Elektronik Diferansiyel Simülasyon Sonuçları

İlk olarak NEDC çevrimden farklı olarak daha basitleştirilmiş bir referans hızlanma modeli oluşturulmuştur. Bu modelde taşıt 15 saniyede sabit ivme direnciyle 50 km/h hıza çıkartılmış ve daha sonra direksiyon 90° sağa çevrilmiştir. Direksiyon 90° sabit tutularak simülasyon 30. saniyede sonlandırılmıştır. Şekil 4.14’de oluşturulan referans hızlanma eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.14 Referans taşıt hızı.

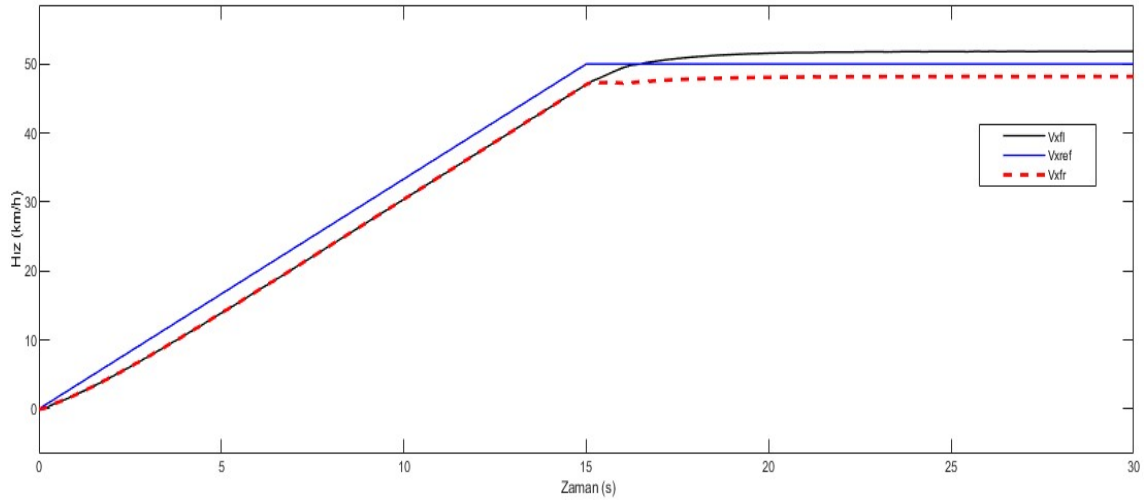
Oluşturulan bu referans hızlanmaya göre elektronik diferansiyelde belirlenen ve motorlara referans olarak gönderilen devir farklılıkları ise Şekil 4.15’da gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Elektronik diferansiyelde belirlenen referans motor devirleri.

Viraj esnasında taşıtın yönlendirilmesinde iç tekerlek ve dış tekerlek hızlarının viraj yarıçapına bağlı olarak iç tekerlek ve dış tekerlek arasında aldığı yollardan kaynaklı olarak taşıtın optimum yönlendirilmesi için hız farkı oluşması gerekmektedir. Klasik İYM taşıtlarda bu fark diferansiyel tarafından sağlanmaktadır. Klasik bir diferansiyel

istavroz dişlileriyle sağladığı bu fark Ackerman Geometrisi adıyla matematiksel olarak modellenmiştir. Bu geometri kullanılarak ön tekerleklerde oluşacak hız farkı Şekil 4.15’de da görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Belirlenen senaryoda taşıt 15. saniyede direksiyon açısı 90° çevrildiği için devir farkı oluşmaya başlamıştır. Direksiyon kutusu oranı 1/18 olduğu için bu saniyede tekerleklerin dönüş açısı 5° ’dir. Bu dönüş açısında oluşan devir farkı ise 38,76 *rpm*’dir. Bu farklılığın daha iyi anlaşılması için Şekil 4.16’de ön tekerlekler arasındaki hız fark eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.16 Referans hız ve ön tekerleklerde oluşan hız farkı.

Lastiklerin yolla temas ettiği yüzeylerinde hareket yönünde kuvvet oluşturulabilmesi için bir miktar kayması gerekmektedir. Buna göre tahrik tekerlekleri dönmesi gereken hızlardan bir miktar fazla dönmesi gerekmektedir. Belirlenen hızlanmada farkında anlaşılması için kayma göz ardı edilmiştir.

Bunun sonucunda referans hızlanmadan tekerlek hızları arasında bir miktar fark oluşmuştur. Bu hız farkı tahrik kayması olarak adlandırılır. Herhangi bir doğrusal kuvvet kayma ile gerçekleştiği için taşıtlarda yaklaşık %5 doğrusal kuvvetle kayma orantılıdır (Çetinkaya 2004). Tekerleklerde oluşan kayma ise 10. saniyede yaklaşık olarak % 2,96 dır. Tekerlek açısı 5° olduğunda ise ön tekerlekler arasındaki hız farkı ise 3,712 *km/h* dir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalarda genel olarak elektronik diferansiyel, motor kontrolü, batarya yönetimi, gibi elektronik açıdan incelenirken bu çalışmaların geneli çeşitli analiz programlarından yapılan simülasyonlardan oluşmaktadır. Ayrıca yapılan bu çalışmalarda tahrik sistemleri ve taşıt dirençlerinin elektrikli araç performansına etkisi birçok çalışmada göz ardı edilmiştir. Bu tez çalışmasında dört tekerlekten tahrik edilebilen elektrikli bir aracın tasarımı yapılmış ve tasarım parametrelerine uygun olarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca MATLAB/SIMULINK ortamında taşıt modellenmiş ve farklı tahrik sistemlerinin motor performansına etkisi incelenmiştir.

Taşıtın simülasyonu için ilk olarak 4WD olarak modellenmiştir. Modelleme NEDC çevrimi referans alınarak taşıtın hızlanması sağlanmıştır. Modelleme, tasarımı ve imalatı yapılan taşıtın parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Örneğin ağırlık merkezi gibi değerler Solidworks programında yapılan tasarımda belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler ve belirli yol sabitleri alınarak yapılmıştır. Dört tekerlekten tahrik edilmesi için ön tekerleklerin her birinde birer HUB motor kullanılmış ve arka tekerlerin tahrik edilmesi için ise mekanik bir diferansiyele bağlı elektrik motoru kullanılmıştır. Modellemede kullanılan motorların devirleri taşıtın hızlanmasına veya yönlendirilmesine göre farklılık göstereceği için elektronik diferansiyel de devirleri belirlenmiştir. Örneğin taşıtın maksimum hızında ön tekerleklerde bulunan elektrik motorlarının 530.5 *rpm* ile dönmesi gerekirken arka tekerleklerin tahrik edilmesi için diferansiyele bağlı olan elektrik motorunun 1238 *rpm* dönmesi gerekmektedir. Bu devir farklılığı mekanik bir diferansiyel kullanılması ve tekerlekler arasındaki hız farkından kaynaklanmaktadır. Taşıtın imalatında kullanılan ve arka tekerleklere bağlı olan diferansiyelin dişli oranı 3,36'dır. Ayrıca ön tekerlek yarıçapları 0.25 m arka tekerlek yarıçapları 0.30 olduğu için bu devir farkı oluşur. Mekanik diferansiyelde devir azalırken aynı oranda ise tork artışı sağlanır. Örneğin diferansiyel girişinde yaklaşık olarak 25 *Nm* olan tork değeri dişli oranlarıyla yaklaşık olarak her bir aks da 41 *Nm* olmuştur. Ön motorlar da oluşan maksimum tork değeri 17 *Nm* minimum tork değeri - 5 *Nm*'dir. Motorların güçleri ise devir ve tork la paralel olarak maksimum ve minimum değerleri aynı saniyelerde görülmüş ve 0,7 kW ile - 0,2 kW arasında değişmektedir.

Arka tekerleklerin tahriki için diferansiyele bağılı elektrik motorunun maksimum tork değeri 24.77 Nm'dir. Motorun üretmesi gereken maksimum güç ise taşıtın maksimum hıza ulaştığı anda görülmüş ve yaklaşık olarak 2.36 kW'dır. İmalatı yapılan taşıtta ise ön tekerleklerde kullanılan HUB motorlar 1.2 kW güce ve 80-90 Nm tork değerine sahip motorlar ve arka tekerleklerin tahriki için kullanılan motor 2.5 kW ve 100-110 Nm tork değerine sahip olduğu için taşıt rahatlıkla NEDC çevriminde belirlenen maksimum hız olan 50 km/s hıza ulaşabilmektedir.

Belirlenen NEDC çevrimi, aynı taşıt parametre ve yol şartlarına göre bu defa RWD olarak modellenmiştir. Simülasyon sonucunda maksimum motor devri 1238 *rpm* 'dir. Tork ise 4WD'ye oranla önemli oranda artış olurken maksimum tork 33.17 Nm'dir. Elektrik motorunun maksimum gücü 3.17 kW'dır. Bu güç değeri ise 4WD ye oranla yaklaşık olarak 1,4 kat daha fazla bir güç ihtiyacı oluşmuştur. İmalatı yapılan taşıtta ise arka tekerleklerin tahriki için kullanılan motor maksimum 2.5 kW güç üretebildiği için çevrimin maksimum hızı olan 50 km/s hıza ulaşamamaktadır. Simülasyon sonucunda taşıt 2.5 kW'lık güçle maksimum 39 km/s'lik hıza ulaşabilmektedir. Gerçeklemesi yapılan taşıt sadece RWD olarak tahrik ettrildiğinde ise simülasyona benzer sonuçları elde edilmiş ve taşıtın hızı maksimum 36 km/s hıza ulaştığı görülmüştür.

Taşıt son olarak FWD olarak tahrik simülasyonu hazırlanmış ve yine aynı çevrim ve taşıt parametreleri sabit tutularak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda motorların maksimum tork değeri 45.14 Nm'dir. Minimum tork değeri ise taşıtın yavaşladığı zamanlarda oluşmuş ve yaklaşık olarak -12 Nm olarak elde edilmiştir. Taşıtın çevriminde belirlenen hız ve hızlanmaya sağlayabilmesi için gereken minimum motor gücü ise 1.9 kW'lık iki adet tekerlek içi HUB motorun kullanılmasıyla sağlayabilmektedir. Dolayısıyla imalatı yapılan taşıtta 1.2 kW'lık motorlar kullanıldığı için çevrin için gerekli hıza çıkamamaktadır.

Elektrikli araçlarda yol ve taşıt parametreleri motor performansını önemli oranda etkilemektedir. Kullanılacak yol şartları ve taşıtın üretim parametreleri elektrik motorunun tork ve gücünü etkilemektedir. Bu yüzden imalatı yapılacak olan araçta motor seçimi bu parametrelere uygun olarak belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin taşıt yol arasındaki aç 0° olduğunda ve taşıt sabit olarak 20 km/s hızla ilerlerken ön motorların

her birindeki tork 0,31990 Nm, güç ise 0,00715 kW değerine sahip olması, arka motor ise 0,4663 Nm tork, 0,0243 kW güç üretebilmesi gerekmektedir. Yol açısı 6° olduğunda ise ön tekerleklerde bulunan motorların her biri 18,96 Nm tork, 0,4236 kW güç değerine sahip olması ve arka motor ise bu açı değerinde 27,64 Nm tork, 1,441 kW güç üretebilmesi gerekmektedir. Aynı şekilde taşıtın tasarımı sırasında belirlenen ve genel olarak sedan tarzı araçlarda 0,3 ile 0,4 arasında değişen aerodinamik direnç katsayısı da motor performansını etkilemektedir. 4WD olarak modellenen taşıtta bu katsayının etkisi incelenecek olursa, aerodinamik direnç katsayısı 0,3 alındığında ve taşıt sabit hızla 20 km/s hızla ilerlerken arka tekerleklerin tahriki için kullanılan motor 0,023 kW güce sahip olması gerekirken aerodinamik direnç katsayısı 0,4 alındığında ise 0,030 kW güce ihtiyaç duyar.

Simülasyon sonuçlarına incelendiğinde üç farklı tahrik sisteminden en verimlisi dört tekerlekten de tahrik edilen sistemdir. Bu tahrik sisteminde ön tekerlekler de iki HUB motor ve arka tekerleklerin tahriki için ise diferansiyele bağlı elektrik motoru kullanılmıştır. 4WD olarak modelleme yapıldığında arka ve ön motorlarda olması gereken devir farklılığından bahsedilmiştir. Ancak taşıtın viraj esnasında iç tekerlek ve dış tekerlek arasında aldıkları yoldan kaynaklanan bir hız farkı oluşması gerekmektedir. Arka tekerleklerde bu hız farkı mekanik diferansiyel tarafından ayarlansa da ön tekerleklerde kullanılan motorların bu devir farklılığı elektronik diferansiyel sistemiyle ayarlanması gerekmektedir. Bu çalışmada elektronik diferansiyel sisteminin daha iyi anlaşılabilmesi için NEDC çevriminden farklı olarak yeni bir çevrim oluşturulmuştur. Bu çevrimde taşıt ilk olarak 15 sn de sabit ivmeyle hızı 50 km/s hıza çıkarılmıştır. Daha sonra direksiyon 90° sağa çevrilmiş ve sabit hızda devam etmiştir. Bu durumda sağ ön tekerlekte bulunan elektrik motorunun devri 511.2 rpm, sol ön tekerlekte bulunan elektrik motorunun devri ise 549,9 rpm olması gerekmektedir. Aralarındaki devir farklılığı ise 38.88 rpm'dir. Taşıtın tekerlekler arasındaki hız farkı ise 3.712 km/s'dir.

İlerleyen çalışmalarda ise dört tekerlekten tahrik mimarisine uygun olarak imalatı yapılan taşıtın simülasyonda yapılan elektronik diferansiyel uygulamasının gerçekleştirilmesi yapılabilir. Ayrıca farklı elektronik kontrol sistemleri üzerine elektrik motorlarının optimizasyonu ve batarya yönetimi gibi alanlarda uygulamalı çalışmalar yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Asaei B, Hashernia N, 2008, Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles, International Conference on Electrical Machines, Oct 17-20, China, 1-5.
- Aggarwal A, 2013, Electronic Differential in Electric Vehicles, International Journal of Scientific & Engineering Research, 4, 1322-1326.
- Aktaş M, Baygüneş B, Kıvrak S, Çavuş B, Sözen F, Elektrikli Araç İçin Düşük Maliyetli Bir Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10.31590/ejosat.779720.
- Bakker D, 2010, Battery Electric Vehicles Performance Co2 Emissions, Lifecycle Costs And Advanced Battery Technology Development, University of Utrecht, Copernicus Institute, Master Thesis, 75p, Utrecht.
- Bansal O H, 2009, Tuning of PID Controllers using Simulink, International Journal of Mathematical Modeling Simulation and Applications, 2, 337-344.
- Bayindir K Ç, Gözüküçük M A, Teke A, 2011, A Comprehensive Overview of Hybrid Electric Vehicle: Powertrain Configurations Powertrain Control Techniques and Electronic Control Units, Energy Conversion and Management, 52, 1305-1313.
- Boyraz D, 2019, Hibrid Elektrikli Araçlarda Bulanık Mantık Tabanlı Enerji Yönetimi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120s, Sakarya.
- Bull M, 2011, Mass Reduction Performance of PEV and PHEV Vehicles, In Proceedings of the 22nd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, June 13-16, Washington,.
- Chan C C, Chau K T, 2001, Modern electric vehicle technology, Oxford University Press on Demand, 280p, New York.
- Çelik İ, 2019, Elektrikli Bir Araç İçin Elektronik Diferansiyel Simülatörün Modellenmesi ve Gerçek Zamanlı Uygulanması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Afyonkarahisar.
- Çetinkaya S, 2004, Taşıt Mekaniği, Nobel Yayın Dağıtım, 315, Ankara.

- Demir U, Aküner C M, 2018, Elektrikli Bir Araç İçin Tekerlek İçi Asenkron Motorun Tasarım Ve Optimizasyonu, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33, 1517-1530.
- Ensani M, Gao Y, Gay S, Emadi A, 2005, Modern Electric Hybrid Electric And Fuel Cell Vehicles: Fundamentals Theory And Design, Crc Press, 419p, New York.
- Fırat E, Tokmak O V, İşler V, 2012, Araç Dinamiği Modellenmesi Simülasyonu Ve Görselleştirilmesi, Savunma Bilimleri Dergisi, 11, 133-146.
- Genta G, 1997, Motor Vehicle Dynamics Modeling and Simulation, World Scientific, 537p, Torino.
- Gill S A, Seldev M, Singh H, 2018, Four-Wheel Drive System: Architecture, Basic Vehicle Dynamics and Traction, International Journal of Current Engineering And Technology, 57, 727-735.
- Gillespie T D, 1992, Fundamentals of Vehicle Dynamics, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 526p, USA.
- Guirong Z, Henghai Z, Houyu L, 2011, The Driving Control of Pure Electric Vehicle, Procedia Environmental Sciences, 10, 433-438.
- Gündüz S, 2010, Taşıtlarda Aktif Süspansiyon Sistemi Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s, İstanbul.
- Gürmeriç M, 2015, Elektrikli Taşıtlar İçin Elektronik Diferansiyel Tasarımı Ve Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104, İstanbul.
- Güven İ, 2006, Taşıt Parametrelerinin Üretim Toleranslarının Seyir Dinamiğine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46s, İstanbul.
- Hartani K, Bourahla M, Miloud Y, Sekour M, 2009, Electronic Differential With Direct Torque Fuzzy Control For Vehicle Propulsion System, Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 17, 21-38.

- Hofer J, Wilhelm E, Schenler W, 2014, Comparing the mass energy and cost effects of lightweighting in conventional and electric passenger vehicles, *Journal of Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems*, 2, 284-295.
- Huynh T, Hsieh M, 2018, Performance Analysis of Permanent Magnet Motors For Electric Vehicles Traction Considering Driving Cycles, *Energies*, 11, 1-24.
- Jiang W, Zhang L, 2008, Torque Distribution Control for Four Wheel In-Wheel-Motor Electric Vehicle, *Journal of Tongji University*, 36, 1115-1119.
- Kahveci H, 2013, Doğrudan Sürürlü Elektrikli Araçlar İçin Bulanık Mantık Tabanlı Elektronik Diferansiyel Sisteminin Gerçeklenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 169s, Trabzon.
- Karaoğlan M U, 2014, Elektrik Tahrikli Bir Binek Otomobilin Tahrik Sisteminin Matematiksel Modellenmesi ve Simülasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 103s, İzmir.
- Kerem A, 2014, Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5, 1-13.
- Köse F, Kaplan K, Ertunç H M, 2013, PID ve Bulanık Mantık ile DC motorun gerçek Zamanda STM32F407 tabanlı hız kontrolü, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 26-28 Eylül, Malatya, 26-28.
- Larminie J, Lowry J, 2003, *Electric Vehicle Technology Explained*, John Wiley & Sons Ltd, 303p, England.
- Larminie J, Lowry J, 2013, Elektrikli Araç Teknolojisi, Çev.: Çervatoğlu N, Bodur A, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 334s, Ankara.
- Leitman S, Brant B, 2009, *Build Your Own Electric Vehicle*, The McGraw-Hill Companies, 357p, New York.
- Mahmoudi C, Flah A, Sbita L, 2014, An Overview Of Electric Vehicle Concept And Power Management Strategies, International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb, 1-8.

- Mutoh N, Takahashi Y, 2009, Front-and-Rear-Wheel-Independent-Drive Type Electric Vehicle (FRID EV) with The Outstanding Driving Performance Suitable For Next-Generation Advanced EVs, Vehicle Power and Propulsion Conference, May 13-16, Norway, 1064-1070.
- Niveditha N, Venkatesan G, Santhoshini P, 2017, Dc Motor Modeling Based on Matlab Simscape Language, International Journal Of Pure And Applied Mathematics, 117, 35-41.
- Rajamani R, 2006, Vehicle Dynamics and Control, Springer, 485p, Minnesota.
- Ruzinskas A, Sevillevicius H, 2017, Magic Formula Tyre Model Application for A Tyre-Ice Interaction, 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science And Technology Procedia Engineering, 187, 335-341.
- Schaltz E, 2010, Electrical Vehicle Design and Modeling, Seref Soylu, Electric Vehicles – Modelling and Simulations, InTech, 478p, Rijeka.
- Setiawan J D, Safarudin M, Singh A, 2009, Modeling, Simulation And Validation Of 14 Dof Full Vehicle Model, International Conference On Instrumentation, Nov 23-25, Bandung, 1-6.
- Shareef H, Islam M M, Mohamed A, 2016, A Review of The Stage-of-The-Art Charging Technologies, Placement Methodologies, And Impacts of Electric Vehicles, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 64, 403-420.
- Vaidyanathan S, Langer T, 2011, Rating The Environmental Impacts of Motor Vehicles, Aceee's Green Book Methodology, Report Number T111, 60p.
- Westbrook M H, 2007, The Electric Car Development and Future of Battery, Hybrid and Fuel-cell Cars, IET Power and Energy Series 38, 216p, London.
- Yang Y, Arshad-Ali K, Roeleveld J, Emadi A, 2016, State-of-The-Art Electrified Powertrains – Hybrid, Plug-In and Electric Vehicles, International Journal of Powertrains, 5, 1-30.

İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.kcstudio.com/electrobat.html>, 05.06.2020
- 2- https://en.wikipedia.org/wiki/Detroit_Electric, 17.05.2020
- 3- <https://ev.hedeffilo.com/elektrikli-arac-tarihcesi>, 17.05.2020
- 4- <http://www.conceptcars.it/italia/flat/x123.htm>, 05.06.2020
- 5- <http://www.claudiocc.com/hevtechnology>, 06.06.2020
- 6- <https://www.iklimhaber.org/turkiye-sera-gazi-emisyon-istatistiklerine-yakin-bakis/>, 23.05.2020
- 7- <https://www.togg.com.tr>, 05.06.2020
- 8- https://www.globalfueleconomy.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test_cycles.asp, 25.06.2020
- 9- <https://www.cartrade.com/blog/2011/auto-guides/brake-systems-in-cars-17.html>, 25.06.2020
- 10- <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-electric-and-plug-in-hybrid-electric-vehicles>, 26.03.2020

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali ÖZEK
Doğum Yeri ve Tarihi : SİNCANLI- 24.11.1996
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) :546 233 1996 / aliozek96@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Çay Anadolu Öğretmen Lisesi (2010 – 2014)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü
(2014– 2018)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, (2018-2020)

Projeler:

Dört Tekerlekten Tahrikli Elektrikli Bir Aracın Simülasyonu ve Gerçeklemesi, Proje No: 19.FEN.BİL.26, Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP Projesi, Araştırmacı, 2019.

EKLER

EK-1 İmalatı Yapılan Taşıtın Parametreleri.



Çizelge A.1 Kullanılan örnek taşıtın parametreleri.

Ağırlık merkezinin ön aksa olan uzaklığı (l_f)	0,8 m
Ağırlık merkezinin arka aksa olan uzaklığı (l_r)	0,4 m
Ağırlık merkezinin yerden yüksekliği (h)	0,3 m
Yükseklik	1,04 m
Ön İz genişliği	1 m
Arka İz genişliği	1 m
Aks Aralığı	1,2 m
Rüzgar Direnci Katsayısı	0,32
Ağırlık	400 kg
Ön Tekerlek yarıçapı	0,25 m
Arka Tekerlek yarıçapı	0,3 m
HUB Motor Gücü	1,2 kW
Motor Gücü	2,5 kW
Diferansiyel Dişli Oranı	3,6
Dişli Kutusu Verimi	%98