

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**P2 ELEKTRİK-HİBRİT BİR KAMYONUN YAKIT TÜKETİMİNİN ÇEŞİTLİ
PARAMETRELERE DUYARLILIĞININ ANALİZİ**

EZGİ ŞİMŞEKLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. BURHANETTİN ÇETİN**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**P2 ELEKTRİK-HİBRİT BİR KAMYONUN YAKIT TÜKETİMİNİN ÇEŞİTLİ
PARAMETRELERE DUYARLILIĞININ ANALİZİ**

Ezgi ŞİMŞEKLi tarafından hazırlanan tez çalışması 08.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Doç. Dr. Ali Volkan AKKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında teknik ve motivasyon desteğini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN'e, ilgili simülasyon programı konusunda bana saat ve mekan limiti tanımaksızın sabırla yardımcı olan sevgili arkadaşım Sedat ÇEVİRGEN'e, farklı şehirlerden de olsa kesintisiz moral desteğinde bulunan canım ailem Öykü ŞİMŞEKLi ve Yeter ŞİMŞEKLi'ye, beni mühendis olmaya teşvik eden babam Çetin ŞİMŞEKLi'ye, beni dinleyen ve anlayan canım arkadaşlarım Duygu İPLİKÇİ ÇEVİRGEN ve Hande ULUKAN'a, koşulsuz ve sınırsız fedakarlıkları için Mert KARAKOÇ'a ve çalışmam sırasında yardımını esirgemeyen, beni yüreklendiren herkese teşekkür ederim.

Mayıs, 2019

Ezgi ŞİMŞEKLi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.1.1 Ağır Ticari Araçları Etkileyen CO ₂ Regülasyonları.....	6
1.1.2 Elektrik-Hibrit Araçların Sınıflandırılması.....	7
1.1.2.1 Mikro Elektrik-Hibrit Araçlar	8
1.1.2.2 Orta Seviye Elektrik-Hibrit Araçlar	9
1.1.2.3 Tam Elektrik-Hibrit Araçlar.....	9
1.1.2.4 Prize Takılabilir Elektrik-Hibrit Araçlar	10
1.1.3 Elektrik-Hibrit Araç Mimarileri	11
1.1.3.1 Seri Elektrik-Hibrit Araçlar	11
1.1.3.2 Paralel Elektrik-Hibrit Araçlar.....	12
1.1.3.3 Seri-Paralel Elektrik-Hibrit Araçlar	13
1.1.4 Elektrik-Hibrit Güç Tahrik Sistemini Oluşturan Temel Komponentler	14
1.1.4.1 Ana Güç Tahrik Kaynağı.....	14
1.1.4.2 DC-DC konverter; DC-AC inverter ve kontrolörüyle bir Elektrik Motoru	16
1.1.4.3 Batarya	17

1.1.4.4 Elektrik-Hibrit Araçlarda Şanzıman Sistemi.....	19
1.1.5 Elektrik-Hibrit Araçlarla İlgili Çalışmalar.....	20
1.2 Tezin Amacı.....	23
1.3 Hipotez.....	26
BÖLÜM 2	
MATERYAL VE METOD	27
2.1 Model Altyapısı	27
2.2 Araç Özellikleri.....	28
2.3 VECTO Sürüş Çevrimi	30
2.4 Dizel Araç Modeli.....	31
2.4.1 Dizel Motoru.....	34
2.4.2 Kavrama.....	36
2.4.3 Şanzıman.....	37
2.4.4 Diferansiyel.....	38
2.4.5 Araç Gövdesi.....	39
2.4.6 Lastik ve Tekerlekler.....	40
2.4.7 Sürücü Elemanı.....	41
2.5 P2 Elektrik-Hibrit Araç Modeli	41
2.5.1 Elektrik motoru.....	42
2.5.2 Batarya.....	44
2.6 P2 Elektrik-Hibrit Araç Modeli Kontrol Stratejisi	46
2.6.1 Mod 1: Dizel motorunu rölantide çalıştırma.....	48
2.6.2 Mod 2: Rölantide bataryayı dizel motoruyla şarj etme.....	48
2.6.3 Mod 3: Kapalı konumda olan dizel motorunun araç hareket halindeyken çalıştırılması.....	49
2.6.4 Mod 4: Normal sürüş hibrit modu.....	50
2.6.5 Mod 5: Tork destek modu.....	50
2.6.6 Mod 6: Fren enerjisi geri kazanımı (rejeneratif frenleme).....	51
2.6.7 Mod 7: Vites değiştirme.....	52
BÖLÜM 3	
SİMÜLASYON VE ANALİZ.....	57
3.1 Duyarlılık Analizi	57

3.2	Duyarlılık Analizi Parametreleri	57
3.3	Simülasyon Deneysel Tasarımı	59
3.4	Bulgular	59
BÖLÜM 4		
SONUÇ VE ÖNERİLER		70
KAYNAKLAR		73
ÖZGEÇMİŞ.....		76

SİMGE LİSTESİ

a_v	Aracın Çizgisel İvmesi
η_t	Şanzıman Verimi
ρ_f	Yakıt Yoğunluğu [kg/L]
A_f	Aracın Ön Projeksiyon Alanı [m ²]
C_d	Sürüklenme Katsayısı
F_T	Tahrik Yüğü [N]
F_n	Net Tahrik Yüğü [N]
P_1	Yeni motorun maksimum gücü [kW]
P_1^r	Referans motorun maksimum gücü [kW]
P_e	Motor Gücü [kW]
Q_f	Yakıt Hacimsel Debisi [L/s]
R_T	Toplam Direnç Kuvveti [N]
R_a	Hava(Sürüklenme) Direnci [N]
R_g	Yokuş Direnci [N]
R_i	Aracın İç Direnci [N]
R_r	Yuvarlanma Direnci [N]
T_W	Tekerleklerdeki Sürüş Torku [Nm]
T_e	Motor Torku [Nm]
V_D	Motor Deplasman Hacmi [L]
V_W	Rüzgar Hızı [m/s]
V_f	Yakıt Hacmi [L]
V_r	Aracın Bağlı Hızı
$bme p_s$	Ölçeklendirilmiş Silindir İç Basıncı
f_r	Yuvarlanma Direnci Katsayısı
i_d	Diferansiyel Son Dişli Oranı
i_t	Şanzıman Dişli Oranı
m_v	Toplam Araç Kütlesi [kg]
n_1	Yeni motorun maksimum hızı [rpm]
n_1^r	Referans motorun maksimum hızı [rpm]
n_e	Motor Hızı [rpm]
n_s	Ölçeklendirilmiş motor hızı [rpm]
n_W	Tekerlekteki Açısal Hız [rad/s]
r_W	Tekerlek Efektif Yarıçapı [m]

θ	Yolun Eğim Açısı
π	Pi Sayısı
ρ	Hava Yoğunluğu [kg/m ³]
K	Lastik Sabiti
NRD	Nominal Jant Çapı [mm]
NSW	Nominal Genişlik [mm]
V	Aracın Hızı [kph][m/s]
W	Lastiklere Binen Toplam Kütle [kg]
b_{mep}	Motor Silindir İç Basıncı [kN/m ²][bar]
$bsfc$	Motor Spesifik Yakıt Tüketimi [kg/Wh]
t	Zaman [s]
Φ	Lastik Boy/En Oranı
J_T	Dönen Kütlelerin Toplam Kütle Atalet Momenti [kgm ²]

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AC	Alternative Current (Alternatif Akım)
BMEP	Brake Mean Effective Pressure (Motor Silindirinde Ortalama Etkin Basınç)
BMS	Battery Management System (Batarya Yönetim Sistemi)
BNEF	Bloomberg New Energy Finance Limited
BSFC	Brake Specific Fuel Consumption (Özgül Yakıt Tüketimi)
CFC	Chlorofluorocarbon (Kloroflorokarbon)
CO	Carbon Monoxide (Karbonmonoksit)
CO ₂	Carbon Dioxide (Karbondioksit)
CVT	Continuously Variable Transmission (Sürekli Değişken Şanzıman)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
DES	Dizel Egzoz Sıvısı
DPF	Diesel Particulate Filter (Dizel Partikül Filtresi)
EC2000	Euro-3 Regülasyonu
EC2005	Euro-4 Regülasyonu
EC93	Euro-1 Regülasyonu
EC96	Euro-2 Regülasyonu
EGR	Exhaust Gas Recirculation
EM	Elektrik Motoru
GBX	Gearbox (Dişli Kutusu-Şanzıman)
GT	Gamma Technologies
HC	Hydrocarbon (Hidrokarbon)
İYM	İçten Yanmalı Motor
LFP	Lithium Iron Phosphate (Lityum Demir Fosfat)
LiCoO ₂	Lithium Cobalt Oxide (Lityum Kobalt Oksit)
LiFePO ₄	Lithium Iron Phosphate (Lityum Demir Fosfat)
LiMn ₂ O ₄	Lithium Manganese Oxide (Lityum Mangan Oksit)
LMO	Lithium Manganese Oxide (Lityum Mangan Oksit)
NEDC	New European Driving Cycle (Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi)
NO _x	Nitrogen Oxide (Nitrojen Oksit)
ODC	Ozone Depleting Chemicals (Ozon Tüketen Kimyasallar)
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries (Petrol İhracatçısı)

	Ülkeler Teşkilatı)
PM	Particulated Matter (Partikül Madde)
RDE	Real Driving Environment (Gerçek Sürüş Ortamı)
SCR	Selective Catalytic Reduction (Seçici Katalitik İndirgeme)
SOC	State of Charge (Batarya Şarj Seviyesi)
SUV	Sport Utiliy Vehicle (Spor Arazi Aracı)
VECTO	Vehicle Energy Consumption Calculation Tool
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Elektrik-hibrit araç mimarilerinin temsili gösterimi.....	24
Şekil 2.1 GT-Suite platformunda simülasyonun temel evreleri.....	28
Şekil 2.2 Standart dizel kamyonun araç, motor ve şanzıman temel özellikleri.....	29
Şekil 2.3 P2 elektrik-hibrit kamyonun elektrik motoru ve batarya temel özellikleri....	29
Şekil 2.4 VECTO regülasyonlarının uygulanışında temel aşamalar.....	30
Şekil 2.5 VECTO “Urban Delivery”(Şehir İçi Kargo Nakliye) sürüş çevrimi hız-yol-yokuş grafiği.....	31
Şekil 2.6 VECTO “Urban Delivery” (Şehir İçi Kargo Nakliye) sürüş çevrimi hız-zaman ve yokuş-zaman grafikleri (simülasyondan alınmıştır).....	31
Şekil 2.7 Dizel motorun hızına ve torkuna bağlı tüketilen spesifik yakıt tüketimi haritası.....	33
Şekil 2.8 Standart Dizel kamyon - GT-suite simülasyon modelinin program üzerinde gösterimi	33
Şekil 2.9 Standart dizel kamyon - GT-suite simülasyon modelinin devre elemanlarının şematik gösterimi	34
Şekil 2.10 Dizel motor devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi.....	34
Şekil 2.11 Simülasyonda dizel motorun hız ve pedal pozisyonlarına bağlı olarak motor yükünün hesaplanmasını temsil eden şematik bir gösterim	35
Şekil 2.12 Dizel motor devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi.....	36
Şekil 2.13 Şanzıman devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi	37
Şekil 2.14 Diferansiyel devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi	38
Şekil 2.15 Araç özelliklerinin simülasyon modeli genel gösterimi	39
Şekil 2.16 Lastik ve tekerlek özelliklerinin simülasyon modeli genel gösterimi	40
Şekil 2.17 Sürücü elemanının simülasyon modeli genel gösterimi.....	41
Şekil 2.18 P2 elektrik-hibrit kamyon - GT-Suite simülasyon modeli	42
Şekil 2.19 Elektrik motoru devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi	43
Şekil 2.20 Elektrik motoru verimlilik haritası temsili gösterimi	43
Şekil 2.21 Batarya devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi	44
Şekil 2.22 Batarya voltaj ve iç direnç haritaları – sıcaklıktan bağımsız olan değerlerin simülasyon modeli temsili gösterimi	45
Şekil 2.23 P2 elektrik-hibrit kamyon dizel motorun verimlilik haritası üzerinde 5 temel hibrit çalışma bölgesinin gösterimi.....	47
Şekil 2.24 P2 elektrik-hibrit kamyon dizel motorunu rölantide çalıştırma modu gösterimi	48
Şekil 2.25 P2 elektrik-hibrit kamyon rölantide bataryayı dizel motoruyla şarj etme modu	49

Şekil 2.26	P2 elektrik-hibrit kamyon kapalı konumda olan dizel motorunun araç hareket halindeyken çalıştırılması modu.....	49
Şekil 2.27	P2 elektrik-hibrit kamyon normal sürüş hibrit modu.....	50
Şekil 2.28	P2 elektrik-hibrit kamyon tork destek modu	51
Şekil 2.29	P2 elektrik-hibrit kamyon rejeneratif frenleme modu.....	52
Şekil 2.30	P2 elektrik-hibrit kamyon çalışma modları arası geçiş stratejisi şematik gösterimi	56
Şekil 3.1	Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın analiz sonucu elde edilen hız-zaman grafiği.....	60
Şekil 3.2	Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın analiz sonucu elde edilen yokuş-zaman grafiği	60
Şekil 3.3	Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın analiz sonucu elde edilen vites değişimi-zaman grafiği.....	61
Şekil 3.4	Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın analiz sonucu elde edilen dizel motorunun hız-zaman grafiği	61
Şekil 3.5	Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın çevrim boyu çalışma modu-zaman grafiği.....	62
Şekil 3.6	Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın her bir batarya şarj seviyesine göre yakıt tüketimi-zaman grafiği	63
Şekil 3.7	Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın her bir batarya şarj seviyesine göre yakıt tüketimi-zaman grafiği (yakınlaştırılmış)	63
Şekil 3.8	Batarya kapasitesi 64 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %100 olan yüklü ve yüksüz iki aracın batarya şarj seviyesi-zaman grafiği	64
Şekil 3.9	Batarya kapasitesi 64 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %100 olan yüklü ve yüksüz iki aracın yakıt tüketimi-zaman grafiği.....	64
Şekil 3.10	Batarya kapasitesi 64 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %100 olan yüklü ve yüksüz iki aracın aktif çalışma modu-zaman grafiği	65
Şekil 3.11	Batarya kapasitesi 64 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın deneysel tasarımda planlanan başlangıç batarya şarj seviyelerinin zamana bağlı değişimleri.....	65
Şekil 3.12	Batarya kapasitesi 64 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın deneysel tasarımda planlanan başlangıç batarya şarj seviyelerinin zamana bağlı değişimleri (son kısmı yakınlaştırılmış)	66
Şekil 3.13	Batarya kapasitesi 64 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın deneysel tasarımda planlanan başlangıç batarya şarj seviyelerinin zamana bağlı değişimleri (son kısmı yakınlaştırılmış ve detaylandırılmış)	66
Şekil 3.14	Batarya kapasitesi 48 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %50 olan yüklü P2 elektrik-hibrit aracın ve standart dizel aracın yakıt tüketimi-zaman grafiği. 67	

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Elektrik-hibrit araç tiplerinin genel özellikleri.....	11
Çizelge 1.2 Elektrik-hibrit araç mimarilerinin hibrit fonksiyonları.....	25
Çizelge 2.1 P2 elektrik-hibrit araç modeli kontrol stratejisi çalışma modları kriterleri..	53
Çizelge 2.2 P2 elektrik-hibrit araç modeli kontrol stratejisinde çalışma modları arası geçişler.....	55
Çizelge 3.1 P2 elektrik-hibrit araç simülasyon modeli deneysel tasarım girdileri.....	59
Çizelge 3.2 Referans standart dizel kamyonla, P2 elektrik-hibrit kamyonun yakıt ekonomisini iyileştirme oranları (%).....	67
Çizelge 3.3 Deneysel tasarım senaryoları arası yakıt tüketimini iyileştirme oranları farkları.....	68

P2 ELEKTRİK-HİBRİT BİR KAMYONUN YAKIT TÜKETİMİNİN ÇEŞİTLİ PARAMETRELERE DUYARLILIĞININ ANALİZİ

Ezgi ŞİMŞEKLİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN

Çalışmanın amacı, P2 elektrik-hibrit güç aktarımı mimarisine sahip bir ağır ticari aracın yakıt ekonomisini değerlendirmek; bu kapsamda yakıt tüketiminin belirli parametrelere duyarlılığını araştırmak ve yapılan analizlerden elde edilen bulgulara göre aracın yakıt ekonomisini en az ve en çok iyileştiren durumları tespit etmektir. Çalışma için GT-Suite multi-fizik simülasyon programında, şehir içi çalışan bir kargo nakliye kamyonunun hem standart dizel hem de P2 elektrik-hibrit güç aktarımı mimarileri tek boyutlu olarak modellenmiştir. İki araç simülasyon modeli de aynı fiziksel özelliklere sahip ortak devre elemanları içermekte; P2 elektrik-hibrit güç aktarımı modelinde ek olarak bir elektrik motoru, bir batarya, ek bir kavrama ve hibrit sisteme özel bir kontrol algoritması bulunmaktadır. Ağır ticari araçlar için getirilen bir regülasyon olan VECTO yazılımından kargo nakliye kamyonunun kullanım amacına uygun olduğu belirlenen sürüş çevrimine göre her iki araç simülasyon modelinin analizi de koşturulmuştur. P2 elektrik-hibrit güç aktarımının yakıt tüketimini standart dizel güç aktarımına göre iyileştirme oranları; bataryanın belirli başlangıç şarjı seviyeleri, belirli batarya kapasiteleri ve yüklü-yüksüz araç ağırlıkları için bulunmuştur. Elde edilen bulguların ışığında; P2 elektrik-hibrit aracın yakıt tüketimi miktarını etkileyen parametreler ve bunların etki dereceleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: yakıt tüketimi analizi, elektrik-hibrit araç, P2 paralel hibrit

**P2 ELECTRIC-HYBRID VEHICLE FUEL CONSUMPTION SENSITIVITY
ANALYSIS TO VARIOUS PARAMETERS**

Ezgi ŞİMŞEKLİ

Department of Mechanical Engineering
MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Burhanettin ÇETİN

The aim of the study is to evaluate the fuel economy of a heavy commercial vehicle with P2 electric-hybrid powertrain architecture; in this context, to investigate the sensitivity of fuel consumption to certain parameters and according to the findings obtained from the analyses to determine the conditions that improve the fuel economy of the vehicle least and most. For the study both standard diesel and P2 electric-hybrid powertrain architectures of a city-operated cargo transport truck are modeled one dimensionally in GT-Suite multi-physics simulation program. Both vehicle simulation models contain common circuit elements with the same physical properties; the P2 electric-hybrid powertrain model also has an electric motor, a battery, an additional clutch and a hybrid system-specific control algorithm. The analyses of both vehicle simulation models was conducted according to the driving cycle which was determined to be suitable for the purpose of the cargo transportation truck from VECTO software which is a regulation for heavy commercial vehicles. The fuel consumption improvement rates of the P2 electric-hybrid power transmission compared to standard diesel power transmission are found for specific battery state of charges, specific battery capacities and loaded-unloaded vehicle weights. In the light of the findings; the parameters affecting the amount of fuel consumption of the P2 electric-hybrid vehicle and their effects are discussed.

Keywords: fuel consumption analysis, electric-hybrid vehicle, P2 parallel hybrid

GİRİŞ

Otomotiv endüstrisi son yıllarda daha çevreci olmak ve yakıt maliyetlerini azaltmak üzere çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışma alanlarından biri de elektrik-hibrit ve elektrikli araçlardır. Son yirmi yıllık önce konsept araçlarla başlayan ve tüm araç üreticilerinin daha deneysel çalıştığı bu süreç, bugün artık kullanıcıların beklentilerine uygun elektrikli araç tasarımlarının seri üretimine evrilmiştir. Elektrikli ve elektrik-hibrit güç aktarma mekanizmaları artık birçok kaynakta bulunabilen standart bir literatür haline gelmiştir.

Bulduğumuz noktada, elektrikli güç aktarım mekanizmalarının performansını ve yakıt ekonomisini iyileştirmeye yönelik daha detaylı çalışmalar yapılmaktadır. Uluslararası regülasyonların gerektirdiği kısıtlamalar yapılan çalışmalara ivme kazandırmakta, araç üreticilerini motor ve güç aktarma sistemi verimliliklerini maksimum düzeyde arttırmaya zorlamaktadır. Elektrikli araçlarda özellikle batarya teknolojisi ve güç aktarım sisteminin kontrol-kalibrasyonu geliştirilmeye en açık çalışma alanları olarak görülmektedir. Yine direkt elektrikli araçlarla bağlantılı olmasa da ağırlık azaltmaya yönelik çalışmalar da devam etmekte, aracın yapısal dayanım özellikleri korunacak şekilde yeni malzemeler üzerinde çalışılmaktadır. Bu tip çalışmaların da elektrikli araçlar üzerinde gerçekleştirilen iyileştirme çalışmalarına katkısı olmaktadır. Yine de, özellikle tam elektrikli araçlarda henüz petrol yakıtlı araçların performansı her sürüş koşulu için yakalanamamış, batarya şarj istasyonları petrol yakıt istasyonları kadar yaygınlaşmamıştır. Tam elektrikli araçlarda her kullanım modu için performansı arttırmaya yönelik çalışmalar bir taraftan devam ederken, diğer taraftan elektrik-hibrit araçlar geliştirilmekte ve piyasaya sürülmektedir. Elektrik-hibrit araçların vaadi tam elektrikli araçlar gibi sıfır emisyon tabii ki değildir; fakat petrol yakıtlı araçlara göre kayda değer seviyede emisyon ve yakıt

tüketimi iyileşmeleri sağlanmaktadır. Şimdiye dek petrol yakıtlı araç kullanmaya alışmış kullanıcılar açısından da daha güvenli bir geçiş evresi olarak düşünülebilir. Bu araçların güç aktarım sistemi iki güç kaynağının aracın farklı taleplerinde farklı görevler üstlenebilecek şekilde aktif-deaktif olmasını gerektirmektedir. Bu nedenle tek bir güç kaynağından tahrik edilen tam elektrikli araçlarınkinden daha detaylı sistem planlanması gerektirmektedirler.

Elektrikli araç teknolojisinin, özellikle dur-kalkların yoğun olduğu şehir içi sürüş koşullarında performansını ispat etmesinin ardından, bazı devletler bu teknolojinin kullanımını mecbur kılmaya yönelik ulusal hedefler koymuştur. Bu ulusal hedeflerde asıl amaçlardan biri de uluslararası emisyon regülasyonlarının ve çevre protokollerinin gerektirdiği hedeflere ulaşabilmektir.

1.1 Literatür Özeti

Ozon Tabakası'nın delinmesi, 1985'te 20 ülkenin imzaladığı Viyana Sözleşmesi'nde resmi olarak dile getirilmiş ve bir problem olarak tanımlanmıştır. Sözleşmede, bu modifikasyonun sonucu olarak Dünya yüzeyine ulaşan UV-B radyasyonunun normalin üzerinde arttığı ve buna bağlı olarak hem biyolojik organizmaların zarar göreceği hem de atmosferdeki sıcaklık artışına bağlı olarak hava durumu ve iklimlerin normal seyrinden çıkacağı dile getirilmiştir. Viyana Sözleşmesi'ni takiben 1987'de 24 ülke tarafından imzalanan Montreal Protokolü, Ozon Tabakası'nın bu modifikasyonundan sorumlu görünen madde gruplarını(CFC, ODC) açıklamış ve bunların kullanımının azaltılması gerektiğini ifade etmiştir. Montreal Protokolü beraberinde getirdiği uluslararası regülasyonlar ile ülkelerle bu maddelerin kullanımı sona erdirecekleri hedef tarihler üzerine anlaşılmış, hedeflerin tutmadığı durumlar için cezalar belirlenmiştir [1].

1997'de Kyoto'da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 3. Taraflar Konferansı'nda Kyoto Protokolü kabul edilmiştir. Protokol, sanayileşmiş ülkelere sera gazı salınımı sınırlama ve azaltmaya yönelik bağlayıcı yükümlülükler getirmiştir. Gelişmiş ülkelere 2008-2012 yılları arasını kapsayan ilk yükümlülük döneminde toplam sera gazı salımlarını 1990 düzeyinin %5 altına indirmelerini zorunlu kılan bir hedef konulmuştur [2].

Kyoto Protokolü'nde tanımlanan sera gazları; Karbondioksit(CO_2), Metan(CH_4), Azot-oksit(N_2O), Hidroflorokarbonlar(HFC'ler), Perflorokarbonlar(PFC'ler) ve Sülfürheksaflorür(SF_6)'dür. Bu şekliyle protokol, küresel emisyonların sadece %18'ini kapsamaktadır [3].

Avrupa Birliği, Kyoto Protokolü'nün ikinci taahhüt dönemi olan 2013-2020 aralığı için planlanan sera gazı emisyonu salınımının 1990 yılındaki salınımdan %20 daha az gerçekleşmesi hedefini sürdürmektedir. Otomotiv sektörü bu çabanın önemli bir parçasıdır ve bu nedenle Avrupa Birliği binek, hafif ticari ve ağır ticari araçlar için CO_2 emisyon sınırlarını limitlemeye devam etmektedir. Bu zorlu hedeflerin bir sonucu olarak CO_2 emisyonu araç teknolojisinin ana dikkat unsuru olmaya devam etmektedir.

Öte yandan Avrupa Temiz Hava Politikası gereği araçların havaya saldığı NO_x ve partikül madde(PM) emisyonlarını azaltmak yükümlülüğü de araç üreticilerinin uyması gereken başlıca yükümlülüklerdendir [4].

Binek otomobiller için ilk Avrupa Egzoz Emisyon Standardı 1970 yılında yayınlanmıştır. Avrupa Emisyon Standartları temelde hava kirliliğine, Ozon Tabakası modifikasyonuna ve sera gazlarına katkıları nedeniyle CO, NO_x , HC, PM emisyonlarının oranlarını kısıtlamaya yöneliktir. 1992'de Euro-1(EC93) regülasyonu, CO emisyonlarını azaltmak için katalitik konvertörlerin benzinli araçlarda bulunmasını zorunlu kılmıştır [5].

1996'da Euro-2(EC96) regülasyonu, bir yandan CO emisyonlarını daha da kısıtlayıcı şartlar getirmiş, bir yandan da hem benzinli hem de dizel araçlar için yanmamış HC'lar ve NO_x 'ler toplamının salınımını da sınırlandırmıştır [5].

2001'de Euro-3(EC2000) regülasyonu ile birlikte motorun ısınma süresinin, CO ve PM salınımının azaltılması için regülatif test prosedürü değiştirilmiştir. Euro-3 ayrıca dizel motorlara daha önceden getirmediği bir NO_x limiti getirmiştir. Benzinli motorlar için artık toplam olarak değil ayrı ayrı HC ve NO_x limitleri getirmiştir [5].

Bu sıralar benzin motorundan daha az yakması ve dolayısıyla düşük gaz emisyon salınımına neden olması dizel motorların çevrenin biraz daha az kirletilmesine yönelik öne çıkartılmasına neden olmuştur. Kullanıcıların ve araç üreticilerinin dizele yönelimine teşvikler yapılmıştır. Fakat geçen zaman içerisinde kanser oranlarındaki artışlar üzerine WHO'nun yaptığı bir araştırma havadaki toz partiküllerin kanser üzerindeki direkt etkisine

dikkati çekmiştir. Dizel araçların havaya saldığı PM oranlarının fazlalığı doğrudan kanser sebebi olarak gösterilmiş ve partiküller bu çalışmanın yayınlanmasıyla yeni bir odak noktası olmuştur. Bu durumun sonucu olarak, dizel motorun tercih edilmesine yönelik teşvikler azalarak bitmiştir [5].

2005'te Euro-4(EC2005) ve 2009'da Euro-5 regülasyonu dizel otomobillerden kaynaklanan emisyonların temizlenmesine, özellikle de PM ve NO_x'leri azaltmaya odaklanmıştır. Euro-5 dizel motorlardan gelen partikül emisyon limitlerini iyice düşürmüş ve tüm yeni dizel araçların partikül filtrelerin(DPF) kullanımına geçmesine neden olmuştur. Salınan partikül ağırlığı limitine ek olarak, partikül sayısı için de bir sınır getirmiştir. Ayrıca, NO_x sınırlarında Euro-4'e göre %28 azalma hedef konulmuş ve ilk kez benzinli motorlar için bir PM limiti getirilmiştir [5].

2014'te Euro-6 regülasyonu, dizel motorlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarında Euro-5'e göre %67 azalmayı hedeflemiştir. Euro-6 araçlarda genellikle egzoz gazı devridaimi(EGR) uygulanmaktadır. EGR, motorun %80 azot içeren taze giriş havasının bir kısmı geri kazanılan egzoz gazı ile değiştirerek yanma sırasında oksitlenecek azot miktarını azaltır. Dizel araçlarda EGR sonrası Euro-5 partikül salınım sınırını aşmamak için partikül filtrelerine ek bir iyileştirme yöntemi gerekmiştir [5].

Ayrıca Euro-6 araçlarda; NO_x'i azot ve oksijene ayırmaya yönelik uygulamalarla da emisyon değerlerini düşürmek üzerinde çalışılmıştır. NO_x yüzericisi (Lean NO_x Trap) ile NO_x depo edilip katalizör aracılığıyla azota indirgenmektedir. SCR ile NO_x'i azot ve suya dönüştürmek için egzoz içine enjekte üre içerikli bir katkı maddesi (DES veya AdBlue) kullanılmaktadır. Bir yandan da DPF rejenerasyonu için gereken sıcaklığı düşürmek üzere, her yakıt ikmali sırasında yakıt deposuna enjekte edilen bir sıvı olan Serium'un kullanımı mevcut olabilmektedir [5].

2017'den itibaren Euro-6d regülasyonu ile, yeni binek otomobil modellerini Euro-6 emisyon limitlerine göre sertifikalandırmak için daha sıkı ve gerçek koşulları simüle eden testler şart koşulmuştur. Bu tarihe kadar geçerli olan NEDC sürüş çevrimi yerine WLTP sürüş çevrimi zorunlu hale gelmiştir [5].

1980'lerde zorunlu hale getirilen emisyon ve yakıt tüketimi laboratuvar testi NEDC, yeni sürüş teknolojileri, araç ve motor modelleri ile birlikte teorik ve gerçekten uzak kalmıştır.

Bunun üzerine Dünyanın genelinden toplanan gerçek sürüş datasıyla oluşturulan ve günlük sürüş koşullarını daha iyi temsil eden yeni regülatif sürüş çevrimi WLTP geçerli hale gelmiştir [6].

WLTP sürüş çevriminde gerçek hayatla paralel olan düşük, orta, yüksek ve çok yüksek hız koşullarını temsil eden dört farklı ortalama hız mevcuttur. Sürüş çevrimi boyunca hızlanma, frenleme, duraklamalar mevcuttur. Bir araç tipi için farklı güç aktarma sistemleri aracın en hafif ve en ağır versiyonları için test edilmektedir. Bu sayede binek araçların yakıt tüketimi ve emisyon değerleri daha adil bir şekilde kıyaslanabilmektedir [6].

2017’de küresel sera gazı emisyonunun düşürülmesine yönelik önemli bir gelişme de Paris İklim Anlaşması’dır. Türkiye’nin imzaladığı, Amerika’nın imzalamadığı bu anlaşmanın hedefi küresel ısınmayı 2°C’nin altında tutmaktır. Kömür, petrol ve gaz, otomotiv endüstrilerine yönelik katılımcı ülkeler tarafından verilen taahhütler, araç teknolojilerinin artık var olan sorunu azaltmaya yönelik değil, sorunu komple ortadan kaldıracak bütünsel değişimler üzerine odaklanacağını sinyallerini vermiştir [7].

Petrol şirketlerinin en önemli müşterilerinden biri otomotiv endüstrisidir. Paris İklim Anlaşması ile katılımcı devletlerin Dünyadaki karbon salınımının yarısından sorumlu petrol şirketlerine de kısıtlamalar getireceği, bundan da otomotiv sektörünün doğrudan etkileneceği görülmektedir.

Paris İklim Anlaşması’nın bir getirisi olarak Çin, Fransa, Hindistan, Hollanda, Norveç ve Birleşik Krallık gibi ülkeler yeni dizel ve benzinli araçların satışının yasaklanacağı tarihleri açıklamışlardır [7].

Londra, Los Angeles, Paris ve Vancouver gibi büyük şehirler bir “fosil yakıtsız sokaklar” bildirgesi imzalayarak 2025 yılından itibaren sıfır fosil yakıt emisyonlu otobüsler satın alma ve 2030’dan itibaren sıfır emisyonlu bölgeler kurma sözü verdiler [7].

Dünyanın en büyük otomobil pazarı olan Çin, fosil yakıtlarla çalışan araçların üretimini ve satışını durdurmak için bir zaman çizelgesi üzerinde çalışmaktadır. Hindistan 2030 yılına kadar tüm yeni araçları elektrikli hale getirme niyetini ilan etmiştir. İngiltere ve Fransa gibi, bu iki pazar da önümüzdeki 20 yıl boyunca benzinli ve dizel araç satışlarını aşamalı azaltarak bitirmeyi hedeflemektedir. Elektromobilite, yani araçların

elektrifikasyonu, artık kaçınılmaz görünmektedir, ancak bu değişimin araç üreticilerinin işleri üzerindeki, petrol ekonomisi ve hatta ulusal vergi sistemleri üzerindeki etkileri derin olacaktır [8].

2017’de belli başlı otomobil üreticileri 2025’e kadar 207 elektrikli araç modelini satışa çıkarma planlarını açıkladılar. Öngörülen satış miktarı yılda altı milyon elektrikli otomobil olmak üzere General Motors(GM), Ford, BMW, Nissan, Renault ve Volkswagen elektrikli SUV ve minivan’lar da olmak üzere elektrikli araç üretim planlarını açıklamışlardır [7].

Elektrikli araç teknolojisindeki büyüme, hükümet teşvikleri, çevresel talimatlar ve elektrikli araçların düşen fiyatlarına bağlı olarak yatırımcıların ilgisi de öngörülenden fazla olmuştur [7].

Bunu takiben beklenen Euro-7 regülasyonunun henüz hedefleri ve yayın tarihi açıklanmamıştır. Fakat Euro-7’nin sıfır-emisyonu şart koşacağına dair söylentiler bulunmaktadır. Euro-7’nin 2020-2021 gibi geçerli olacağı da konuşulmaktadır [7].

1.1.1 Ağır Ticari Araçları Etkileyen CO₂ Regülasyonları

Sürekli olarak güncellenen emisyon regülasyonları kapsamında, bir önceki başlıkta bahsedildiği gibi CO₂ emisyonları da regülasyonlara tabi olmaktadır.

Kamyon ve otobüslerin, AB’nin karayolu taşımacılığından kaynaklanan CO₂ emisyonunun yaklaşık dörtte birinden ve AB’nin toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık %6’sından sorumlu olduğu açıklanmıştır. Bu bilgiyle, Mayıs 2018 tarihi itibarıyla, ağır ticari araçların da CO₂ emisyon seviyeleri belirlenmiş standartlar çerçevesinde araç kullanıcıları tarafından görülebilir hale getirilmeye başlanmıştır.

Ağır ticari araçlar için yeni olan bu Emisyon Standartları’na uyum şu önlemler ile sağlanacaktır:

- Sertifikasyon yönetmeliği - yeni kamyonların CO₂ emisyonlarının ve yakıt tüketiminin belirlenmesi
- Takip ve raporlama yönetmeliği

izleme ve raporlama Yönetmeliği; 1 Ocak 2019 tarihinden itibaren, kamyon üreticilerinin her yıl AB pazarı için ürettikleri her yeni aracın CO₂ emisyonlarını ve yakıt tüketimini takip etmesini ve Komisyon'a raporlamasını gerektirir.

Sertifikasyon Yönetmeliği gereğince, araç üreticilerinin paylaştığı bu bilgiler, yeni Araç Enerji Tüketimi Hesaplama Aracı, yani VECTO bilgisayar simülasyon programı, kullanılarak hesaplanacaktır. CO₂ emisyonları ve yakıt tüketimi ile ilgili toplanan veriler, aerodinamik sürüklenme gibi diğer teknik bilgilerle birlikte, 2020'den itibaren, 2019'da izlenen verileri kapsayacak şekilde, Komisyon adına Avrupa Çevre Ajansı tarafından halka açıklanacaktır.

Ağır ticari araç CO₂ üretimi seviyelerinin, araç kullanıcıları tarafından görülebilir hale gelmesinin ötesinde, bu seviyeleri düşürmek için zorlu sınırlandırmalar da başlamıştır. Örneğin; her araç üreticisi 2025 yılına dek, 2019 yılında yayınlanan CO₂ üretim rakamını %15 oranında azaltmak yükümlülüğündedir. Hatta 2030 senesine dek bu iyileştirmenin %30 mertebesinde olması hedeflenmiştir.

İlk adımda, bu standardizasyon, ağır vasitalardan kaynaklanan tüm CO₂ emisyonlarının %65 ila %70'sini oluşturan büyük kamyonlar için önerilmiştir. 2022 yılında daha küçük kamyon, otobüs ve römork gibi diğer araç türlerini içerecek şekilde kapsam genişletilecektir.

Hedeflenen miktarın aşıldığı durumda, araç üreticileri sattıkları araç başına yüklü finansal cezalarla karşı karşıya kalacaklardır. Bu nedenle, ağır ticari filolarında tam elektrikli ya da elektrik-hibrit araçların da bulunması faydalı olacaktır.

1.1.2 Elektrik-Hibrit Araçların Sınıflandırılması

Elektrik-hibrit araçlar; yakıt tüketimini ve emisyonları azaltmaya yönelik sıfır emisyonlu tam elektrikli araçlara geçişte bir ara teknoloji evresidir. Tam elektrikli araç teknolojisinde henüz petrol yakıtlı araçların performans seviyesine ulaşamadığı için günümüzde elektrik-hibrit araçlar tercih sebebidir. Bu araçlar petrol yakıt tüketimini azaltma hedefinde olan, hem elektrikselsel hem de mekanik komponentlerden oluşan komplike sistemlerdir [9].

Elektrik-hibrit araç sisteminin kontrolü birden fazla tahrik kaynağını, çok sayıda performans değişkenini ve sensörü kapsayan bir 'çok değişkenli problem' olarak düşünülebilir. Bu nedenle, standart petrol yakıtlı araçlara göre, farklı güç kaynakları içermesi araç performansı açısından daha avantajlı olsa da; sistemdeki parametrelerin değişkenliği ve belirsizliği nedeniyle sağlam bir kontrol stratejisi geliştirmek ve kalibre etmek zorlayıcı taraflardır [9].

Elektrik-hibrit araçlar, güç üretimini desteklemek üzere aracın tahrik sistemine eklenen elektrik motorunun; aracın toplam gücüne katkısına, dolayısıyla kapasitesine göre dört genel başlıkla sınıflandırılabilir:

- Mikro elektrik-hibrit araçlar
- Orta derece elektrik-hibrit araçlar
- Tam elektrik-hibrit araçlar
- Prize takılabilir elektrik-hibrit araçlar

1.1.2.1 Mikro Elektrik-Hibrit Araçlar

Genelde 12 V - 48 V gibi düşük bir voltaj aralığında çalışırlar. Düşük çalışma voltajı nedeniyle elektrik gücü kapasitesi genelde 5 kW'ın altındadır, bu nedenle mikro-elektrik-hibrit araçlar mutlaka otomatik dur-kalk fonksiyonuna sahiptir. Frenleme ve rölanli şartlarında, içten yanmalı motor otomatik olarak durdurulur; böylece yakıt ekonomisinde %5 - 10 oranında iyileşme sağlanır [9].

Bataryanın kapasitesi arttıkça, bazı mikro-hibrit araçlar belli bir derecede rejeneratif frenleme kabiliyetine sahip olabilir ve geri kazanılan enerjiyi bataryada depolayabilirler [9].

Çoğu mikro-hibrit elektrik sistemi, alternatör-marş sisteminin değiştirilip geliştirilmesiyle oluşturulur. Standart kayış konumlaması değiştirilir; böylece alternatör hem içten yanmalı motorun marş almasına hem de bataryanın yeniden şarj olmasına olanak verecek şekilde geliştirilir. Mikro elektrik-hibrit araçlarda çoğunlukla kurşun asitli bataryalar kullanılmaktadır [9].

Mikro elektrik-hibrit aracın en önemli avantajı, fiyatının düşük olmasıdır. En büyük dezavantajı ise rejeneratif frenleme sırasında enerji geri kazanımı kabiliyetinin çoğunlukla olmamasıdır [9].

1.1.2.2 Orta Seviye Elektrik-Hibrit Araçlar

Orta seviye elektrik-hibrit araçların, 5-20 kW elektrik tahrik gücü sağlayan bağımsız bir elektrik aktarma tertibatı vardır. Elektrik tahrik sistemi 48 V-200 V voltaj aralığında çalışır [9].

Orta seviye elektrik-hibrit araç sisteminde, elektrik motoru agresif ivme artış fazlarında içten yanmalı motoru desteklerken, ivmenin azaldığı fazlarda rejeneratif enerjinin büyük kısmının geri kazanılmasına olanak verir. Bu nedenle, bu araçlarda yakıt ekonomisini ve araç performansını optimize etmek ve sürüş konforunu arttırmak mümkündür [9].

Orta seviye elektrik-hibrit araçların komponent düzeni farklı şekillerde oluşturulabilir; hangi düzenin oluşturulacağı, aracın ne oranda hibrit olacak şekilde planlanıp tasarlandığıyla ilgilidir. Marş jeneratörü kayışı alternatör kayışına; ve marş jeneratörü de içten yanmalı motor krank miline mekanik olarak akupledir. Bu hibrit sisteminde sıklıkla Nikel metal hidrit ve Lityum-iyon bataryaların kullanımı tercih edilir [9].

Orta derece elektrik-hibrit araçların belirleyici özelliklerinden biri, aracın yalnızca elektrik tahrikli modunun bulunmamasıdır. Yakıt ekonomisinde iyileşme çoğunlukla, araç duruşlarında içten yanmalı motorun durdurulması, araç ilk çalıştırılacağında elektrik gücünün kullanılması, içten yanmalı motorun çalışma durumlarının optimize edilmesi ve içten yanmalı motorun kısa süreli devreye girişlerinin minimize edilmesi ile sağlanır. Orta derece elektrik-hibrit araçlarda yakıt tasarrufu %15 -20 aralığındadır [9].

1.1.2.3 Tam Elektrik-Hibrit Araçlar

Tam elektrik-hibrit araçlarda elektrik tahrik sistemi 40 kW'tan fazla bir güce sahiptir. Elektrik tahrik sistemi, elektrik sisteminin ve komponent-kablo boyutlarının verimliliğini sağlamak adına 150 V'tan yüksek bir voltaj seviyesinde çalışır [9].

Elektrik güç aktarma mekanizması, içten yanmalı motorun verimsiz/yetersiz olduğu durumlarda aracı yalnızca kısa süreli çalıştırma kapasitesine sahiptir. Aynı zamanda bu araçların enerji depolama sistemleri, çeşitli ivme düşüş durumlarında serbest rejeneratif frenleme enerjisini depolayacak şekilde tasarlanmıştır [9].

Tam elektrik-hibrit araçlar mikro elektrik-hibrit araçlara ve orta derece elektrik-hibrit araçlara kıyasla yüksek güçlü hibrit araçlardır. Belirli alanlarda sessiz seyir şartını, iç alanlar ve tünellerde sıfır emisyon gibi bazı özel gereklilikleri sağlayabilecek salt elektrik gücüyle sürüş imkanı 3 km'ye kadar mevcuttur [9].

Tam elektrik-hibrit araçların ideal çalışma senaryosu tekrar eden dur-kalk uygulamalarının bir bütünüdür. Bu nedenle bu hibrit sistemi bazı ülkelerde şehir içi otobüslerde ve nakliyat kamyonlarında geniş ölçüde kullanılmaktadır [9].

Şehir içi sürüşte, yalnızca petrol yakıtlı araçlara kıyasla, toplam yakıt ekonomisi %40'a kadar iyileşme gösterebilir [9].

1.1.2.4 Prize Takılabilir Elektrik-Hibrit Araçlar

Prize takılabilir elektrik-hibrit araç sisteminde batarya, elektrik şebekesine bağlanabilen bir AC çıkış aracılığıyla şarj edilebilmektedir [9].

Elektrik güç aktarma mekanizmasının 80-150 kW elektrik gücü kapasitesi bulunmaktadır. Bu sayede, elektrik güç mekanizması 30-100 km'lik günlük sürüş rutini için gerekli gücü yalnızca elektrik modunda sağlayabilmektedir [9].

Sürüş esnasında araç öncelikle elektrik modunda çalışır ve bataryada depolanmış enerjiyi kullanır. Bataryadaki enerji belirli bir seviyeye kadar tüketildikten sonra, içten yanmalı motor aracı yürütmeye başlar. Bu esnada batarya tamamlayıcı elektrik gücü sağlar ve tam elektrik-hibrit araçlara benzer şekilde rejeneratif frenleme enerjisini depo eder. Yakıt ekonomisinde, aracın dinamik performansında ve emisyon azaltmada iyileşme bu şekilde sağlanır [9].

Çizelge 1.1 Elektrik-hibrit araç tiplerinin genel özellikleri [10].

Elektrik-Hibrit Araç Tipi	Mikro (Dur-Kalk)	Orta Seviye	Tam	Prize Takılabilir
Minimum Batarya Şarj Seviyesi [%]	80-90	40-60	30-50	10-20
Batarya Voltajı [V]	12	48/160	200-300	300-400
Batarya Kimyası	Kurşun asit	Lityum-iyon	Lityum-iyon	Lityum-iyon Nikel metal hidrit
Elektrik Motoru Gücü [kW]	2-3	10-15	30-50	60-100
Tam Elektrikli Mod kapasitesi [km]	0	0	5-10	< 50
CO₂ emisyonlarında iyileşme [%]	5-6	7-15	15-20	>20

1.1.3 Elektrik-Hibrit Araç Mimarileri

Araçta tahrik sisteminin güç aktarımının tek veya birden fazla yoldan olmasına göre elektrik-hibrit araç mimarileri üç genel başlıkta incelenebilir:

- Seri Elektrik-hibrit Araçlar
- Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar
- Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

1.1.3.1 Seri Elektrik-Hibrit Araçlar

İçten yanmalı motor bir jeneratöre akupledir; ürettiği güç ile jeneratörü çalıştırır. Jeneratör çalışır hale geldikten sonra bataryaları şarj eder ve/veya elektrik motoruna elektrik enerjisi sağlar. Elektrik motoru da böylelikle tekerler için gerekli tüm tahrik torkunu sağlamaktadır. Bu araç mimarisinde, güç aktarımı tek yoldan olup, elektrik güç aktarma mekanizması yalnızca tekerlerin dönüşü için gerekli tahrik gücünü sağlar. Bir

içten yanmalı motor-jeneratör çifti ünitesi, yüksek voltajlı bir bara aracılığıyla sistem için gerekli elektrik gücünü ve enerjisini sağlar [9].

Elektrik motoru bir yandan aracın performans gerekliliklerini anlayarak aracı yürütürken, enerji depolama ünitesi, yani batarya, en iyi yakıt ekonomisi iyileştirmesini sağlamak için duruma göre şarj veya deşarj olur [9].

Daha basit bir ifadeyle, seri elektrik-hibrit araçlar; enerji depolama ünitelerinin araca güç verecek yeterli enerjiyi sağlayamadığı durumlarda, bir içten yanmalı motor-jeneratör çifti ünitesinin elektrik enerjisi sağladığı elektrikli araçlardır [9].

Dinamik kontrolün yalınlığı nedeniyle, bazı ülkelerde seri hibrit araçların ağır/orta nakliyat kamyonlarında ve servis otobüslerinde kullanımı yaygındır. Bu sistemlerde içten yanmalı motor-jeneratör çifti ünitesinin öncelikli işlevi, yalnızca batarya kullanımıyla, araçtan beklenen performans özelliklerinin ötesine geçmeyi sağlamaktır. Bu araç sisteminde en önemli teknik zorluk, enerji kaynaklarının ve güç akışının en iyi şekilde yönetimini sağlamaktır [9].

1.1.3.2 Paralel Elektrik-Hibrit Araçlar

Paralel elektrik-hibrit araçlarda, bir elektrik güç aktarma mekanizması standart bir güç aktarma sistemine, aracın elektrik motorunun ve içten yanmalı motorunun hem birlikte hem de birbirinden bağımsız çalışmasına olanak tanıyacak bir kavrama aracılığıyla, eklenir [9].

Paralel elektrik-hibrit bir araçta, elektrik güç aktarma mekanizmasının en yüksek güç değeri, içten yanmalı motorun güç aktarma mekanizmasının en yüksek güç değerinden küçüktür. Elektrik güç aktarma mekanizmasının boyutu, elektrik motoru ve enerji depolama sisteminin, verilen bir sürüş çevriminde gereken gücü temin edebileceği kapasitede belirlenir [9].

Standart güç aktarma mekanizması da, elektrik motorunun oluşturduğu tork ile en verimli şekilde birleşebilecek ve aracı yürütmek için gereken yeterli tahrik torkunu

sağlayacak yetenekte olmalıdır. Sistem kontrol stratejisine bağlı olarak içten yanmalı motor sıklıkla açılma-kapanma modlarına geçebilir [9].

1.1.3.3 Seri-Paralel Elektrik-Hibrit Araçlar

Seri-paralel elektrik-hibrit araçların komponent düzenleri, bahsedilen diğer iki hibrit modeli düzeninin birleşimiyle oluşturulur [9].

Elektrik motoru, elektrik jeneratörü, içten yanmalı motor ve tekerler birbirine planet dişli takımı gibi bir aracı ile linklenebilir. İçten yanmalı motordan sağlanan güç bölünerek iki yol aracılığıyla tekerleklere aktarılır [9].

Seri yol, elektrik depolama ünitesine mafsallı elektrik jeneratörü üzerinden elektrik motoruna ve oradan da tekerleklere yönelmektedir. Bu yolda, içten yanmalı motorun mekanik gücü jeneratör aracılığıyla elektrik gücüne dönüştürülür ve oluşan elektrik gücü ya kısmen elektrik depolama ünitesine, ya da elektrik güç aktarma mekanizması aracılığıyla tamamen tekerleklere aktarılır [9].

İkinci yol olan paralel yolda ise, içten yanmalı motor bir dişli seti ile standart güç aktarma mekanizmasına bağlıdır. Bu yolda, içten yanmalı motorun mekanik gücü kısmen veya tamamen tekerleklere iletilmektedir. Tekerleklere ileilmeyen mekanik güç elektrik motoru aracılığıyla elektrik gücüne dönüştürülür ve bataryayı şarj eder. Mekanik gücün tamamı, aracın güç talebini karşılayamıyorsa, elektrik güç aktarma mekanizması tekerleklere tamamlayıcı güç sağlar [9].

Seri-paralel hibrit araçların düzenleri, en iyi yakıt ekonomisi iyileştirme oranına ulaşmak adına, elektrik motoru güç aktarım mekanizmasının içten yanmalı motor yükünü ayarlayabilmesine imkan vermektedir. Seri ve paralel yollar boyunca akan gücün yüzdesi, en iyi araç performansını gerçekleştirecek şekilde, gerçek zamanlı olarak belirlenmektedir. Güç akışı planet dişli setinin hız kontrolüyle ayarlanabilse de, en yüksek oranda yakıt verimliliğini sağlamak için gelişmiş bir kontrol sistemine ihtiyaç vardır [9].

Seri ve paralel düzenleri birbirleriyle kıyasladığımızda, seri hibrit sisteminin şehir içi sürüş şartlarına paralel hibrit sisteme göre daha uyumlu olduğu; paralel hibrit sistemin ise

otoyol sürüş şartlarında öncelikli tercih olduğu sonucuna varılabilir. Seri-paralel hibrit sistemi, seri hibrit düzeninin olumlu yönleriyle (içten yanmalı motorun sürüş koşullarından bağımsız olması) paralel hibrit düzeninin avantajlarını (verimli mekanik güç iletimi) harmanlamaktadır [9].

Seri-paralel hibrit araç mimarisinin kontrolünü yapılandırmak, bu birleşik düzeni oluşturan seri ve paralel düzenlerin tek başına bulunduğu araçlarda kontrol mekanizması oluşturmaya kıyasla bir hayli karışıktır [9].

1.1.4 Elektrik-Hibrit Güç Tahrik Sistemini Oluşturan Temel Komponentler

- Ana güç tahrik kaynağı
- DC-DC Konverter, DC-AC İnverter ve kontrolörüyle bir elektrik motoru
- Enerji depolama sistemi
- Şanzıman sistemi

1.1.4.1 Ana Güç Tahrik Kaynağı

Ana güç tahrik kaynağı; elektrik-hibrit bir aracı yürütmekten sorumlu ana enerji kaynağıdır ve genellikle ya benzinli veya dizel bir motor ya da yakıt hücreleri setidir [9].

Benzin motoru doğal fosil yakıt enerjisini aracı yürütmek için gereken mekanik enerjiye dönüştüren gelişmiş bir makinedir. Benzin motorunun başlıca avantajları, yüksek güç/ağırlık oranına sahip olması, devir hızı aralığının geniş olması, yüksek mekanik verimliliğe sahip olmasıdır. Benzin motorlu elektrik-hibrit bir araç sistemi tasarlarken, benzin motorunun güç, yakıt ve emisyon haritalarını anlamak gerekir [9].

Dizel motoru, püskürtülen yakıtı sıkıştırmanın son evresinde oluşan çok yüksek basınç ve sıcaklıkta otomatik ateşlenen, ileri-geri eksenel hareketli bir piston mekanizmasıdır. Bu tip bir ateşleme, dizel motorun benzin motoruna göre yakıtı çok daha yüksek bir sıcaklıkta yakmasını, doğal olarak da çok daha verimli bir yanma reaksiyonu oluşmasını sağlamaktadır. Dizel motorun bakım aralıkları ve yapısal dayanım ömrü de benzinli motora göre çok daha uzundur [9].

dizel motorun tipik tork haritası ve buna karşılık yakıt verimliliği haritası incelendiğinde, optimum çalışma devrinin benzinli motora göre daha düşük olduğu görülür. Bu özellik dizel motorun orta derece elektrik-hibrit ticari araçlarda daha iyi bir ana yürütücü komponent olmasını açıklamaktadır [9].

Dizel motorun dezavantajları, özellikle kısa mesafelerde ve dur-kalk durumlarında; gürültülü, titreşimli ve sert çalışması, kokusu, kütlece benzin motoruna göre daha ağır olması; yüksek bakım maliyetleri ve özellikle soğuk havalarda hızlı ısınamaması olarak sıralanabilir. Yakıtı çok daha yüksek sıcaklıklarda yakmasının bir sonucu olarak da havaya daha yüksek oranda emisyon salmaktadır [9].

Yakıt hücreleri, araçlardan havaya salınan emisyonları ve yakıt tüketimini azaltacak özellikleri nedeniyle küresel iklim durumunu iyileştirme konusunda geleceği parlak enerji kaynakları olarak görülmektedir. Bir süredir çok sayıda ve farklı modellerde yakıt hücresi üzerine başarılı çalışmalar yürütülmektedir. Günümüze dek geliştirilen yakıt hücresi modellerinin, hem maliyet iyileştirmesi, hem de performanslarının başarısı dikkate alınarak, hibrit araçlarda ana yürütücü komponent olarak kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür [9].

Yakıt hücresi, yakıtın kimyasal enerjisini devamlı olarak elektrik enerjisine dönüştüren, elektromekanik bir komponenttir. Çalışma prensipleri elektrokimyasal pillerinkine oldukça benzerdir. Pilin temel farkı dönüştürülen kimyasal enerjinin yine pil içinde depolanmasıdır. Bu nedenle kimyasal enerji bir kez pil tarafından elektrik enerjisine dönüştürüldüğünde, pilin tekrar şarj edilmesi gerekir; aksi takdirde pil ömrü dolmuş olacaktır. Fakat yakıt hücresinde dönüştürülen kimyasal enerji dışarıda depolanır, böylece elektrik üretimi için gerekli kimyasal tepkime, yakıt ve oksijen sağlandığı sürece, sürekli olarak devam eder [9].

Ana yürütücü komponent olarak yakıt hücresi kullanıldığında, yakıt hücresinin DC-DC konvertere, DC-AC invertre ve bir elektrik motoruna entegre edilmesi gerekir. Çalıştırma sıcaklığı, iç basıncı ve nemlenme özellikleri, tüm sistemin performansını ve verimliliğini etkileyen en önemli ve zorlu kontrol değişkenlerini oluşturmaktadır [9].

Elektrik-hibrit bir araçta ana yürütücü komponent olarak yakıt hücresi kullanmanın en büyük avantajı tam anlamıyla sıfır emisyon bir aracı garanti etmesidir [9].

1.1.4.2 DC-DC konverter; DC-AC inverter ve kontrolörüyle bir Elektrik Motoru

Elektrik motoru, bir elektrik-hibrit aracın en önemli komponentlerinden biridir. Elektrik motorunun hibrit araca uygulanması esnasında yüksek verimleri, düşük maliyetleri, daha az bakım gerektirmeleri ve uzun ömürleri nedeniyle çoğunlukla fırçasız DC motoru ve AC indüksiyon motoru kullanılır. İndüksiyon motorları AC ile çalışmaları, dolayısıyla AC üretimi gerektirdikleri için, elektrik-hibrit aracın DC kaynağına uyumsuz olarak düşünülebilir. Fakat günümüz güç elektroniğinde AC kolaylıkla DC'den evriltilebilir [9].

Bir indüksiyon motorunun rotor akımı, stator sargısının yarattığı dönen manyetik alan boyunca oluşturulur; bunun sonucunda da rotor akımı rotor manyetik alanını oluşturur. Rotorun dönüş hızı ile statordaki manyetik alanın dönüş hızı arasında fark varsa, rotor manyetik alanı ve dönen manyetik alan birbiri ile etkileşime geçerek rotorun dönmesini sağlayacaktır. Rotoru döndürmek için iki manyetik alanın hızları arasında bir fark olması gerektiğinden, indüksiyon motoruna aynı zamanda eşzamansız motor da denmektedir [9].

Öte yandan, fırçasız doğru akım motoru, mekanik bir fırça/komut sistemi yerine hareketsiz elektronik bir kontrolör içeren özel bir doğru akım motorudur. Fırçasız doğru akım motorunda, akım ve tork, voltaj ve dönüş hızı lineer ilişkilidir [9].

DC voltaj değeri, hibrit araçlarda bataryanın şarj seviyesine(SOC) ve aracın çalıştırılma şartlarına göre değişkenlik gösterdiğinden hem fırçasız doğru akım motorunun hem de AC indüksiyon motorunun, DC voltaj değerini elektrik motoru için gerekli çalışma voltajına dönüştürecek bir DC-DC konverter veya DC-AC inverter eşliğinde çalışması gerekmektedir [9].

Elektrik-hibrit araçlarda DC-DC konverter veya DC-AC inverterden beklenen çalışma verimi %95'in üzerindedir. Elektrik-hibrit bir araç tasarlanırken, elektrik motorunun tork-güç-devir eğrileri ve verimlilik izohipsleri değerlendirilerek, komponentlerin boyutları belirlenmeli ve en iyi çalışma noktaları seçilmelidir [9].

1.1.4.3 Batarya

Batarya, tam elektrikli ve elektrik-hibrit araçlarda temel fonksiyonu enerji depolamak olan devre elemanıdır. Bir voltaj-akım-sıcaklık ölçüm modülü, hücre dengeleme devresi ve ısıtma-soğutma sisteminden oluşur. Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür [9].

Elektrokimyasal oksidasyon veya redüksiyon tepkimeleriyle elektrikli tahrik sistemi içeren bir araçta anlık gerekliliklere göre elektrik enerjisini üzerine alır veya bağlı olduğu sisteme sağlar. Bataryanın dışarıdan aldığı elektrik enerjisi, rejeneratif frenlemeden, prize takılabilen araçlarda şehir şebekesinden veya elektrik-hibrit araçlarda araç mimarisine uygun oluşturulmuş bir kontrol sistemi gereği içten yanmalı motordan sağlanabilmektedir [9].

Elektrikli araçlarda bataryadan beklenen temel gereklilikler; emniyet, güvenilirlik, yüksek verimlilik ve düşük maliyettir. Fakat tasarlanan elektrikli araç sisteminin mimarisi, maksimum hızı, ivmelenme süresi ve tasarlanan çalışma modları dikkate alındığında bataryanın daha detaylı ve duruma özel gereklilikleri karşılayabilmesi de beklenir [9].

Standart bir elektrik-hibrit tahrik sisteminde batarya gereklilikleri, büyük oranda sürüş gücünün içten yanmalı motor ve elektrik motoru arasında dağılımına bağlıdır. Batarya ünitesinin kapasitesi ise düşünülmesi gereken esas faktördür, nitekim hem prize takılabilir hem de sadece bataryadan güç alan elektrik-hibrit araçlar için bataryanın güç kabiliyeti ve enerji kapasitesi bütün güç tahrik sisteminin performansına doğrudan etki ettiği için dikkate alınması gereken en önemli parametrelerdir [9].

Elektrik-hibrit güç tahriği sistemlerinde günümüze dek en yaygın kullanılan bataryalar şöyle sınıflandırılabilir [9]:

- **Kurşun Asitli Bataryalar** - en eski tekrar şarj edilebilir, yani ikincil bataryalardandır. Araçlarda genellikle 'başlatıcı' ve 'derin döngü' olarak isimlendirilen iki çeşidi kullanılır. Başlatıcı kurşun asitli batarya, en yüksek akım çıkışını elde etmek için en büyük yüzey alanını oluşturacak çok sayıda ince levhadan oluşur. Öte yandan derin

döngü kurşun asitli bataryalarda daha uzun ömrü olan daha kalın levhalar bulunmaktadır [9].

Başlatıcı kurşun asitli bataryalar, içten yanmalı motorun çalışmasını başlatmak için kullanılır, kalan zamanlarda düşük oranda şarj edilmiş vaziyette tutulur. Derin döngü kurşun asitli bataryalar ise hibrit sistemin sürüş boyu şarj-deşarj gerekliliklerine daha uygundur. Fakat yine de elektrik-hibrit bir aracın gerektirdiği gibi, sürekli şarj-deşarj edildiğinde, diğer batarya tiplerine göre daha kısa sürede hasarlanmaktadır [9].

Kurşun asitli bataryalar, diğer bataryalara göre daha düşük maliyetleri ve daha yüksek açık devre voltajına sahip olmaları gibi olumlu özelliklerine rağmen; nispeten düşük çevrim ömrüne, düşük enerji yoğunluğuna, yüksek öz-deşarj oranına ve düşük şarj-deşarj verimlerine sahip olmaları gibi önemli dezavantajlar nedeniyle yerlerini genel olarak Lityum-iyon bataryalara bırakmıştır [9].

- **Nikel-Metal Hidrit Bataryalar** - Bu batarya tipinde bir metalde absorbe halde bulunan Hidrojen, redüksiyon tepkimesi sırasında negatif malzeme(katot) olarak kullanılır. Nikel-Kadmiyum da bataryalarda sık kullanılan bir malzeme çifti olmasına rağmen, Nikel-metal hidrit bataryalar daha büyük kapasiteye ve daha uzun bir ömre sahip olmaları ve Kadmiyum'un çevre dostu olmaması nedeniyle endüstride tercih sebebidirler. Yüksek spesifik enerjisi ve uzun çevrim ömrü Nikel-metal hidrit bataryaları elektrikli araçlar için uygun yapmaktadır [9].
- **Lityum-İyon Bataryalar** - Lityum metalinin öne çıkan özelliklerinden dolayı Lityum-iyon bataryalar elektrikli araç endüstrisine hızlıca nüfuz etmiştir. Lityum-iyon bataryaların yüksek verimlilikleri, yüksek spesifik güçleri, yüksek enerji yoğunlukları, düşük öz-deşarj oranları ve uzun çevrim ömürleri vardır. Aynı zamanda, batarya ünitesinin alt komponentleri geri dönüştürülebilir olduğundan çevre dostudurlar [9].

Lityum-iyon bir batarya temel olarak bir pozitif elektrot(katot), bir negatif elektrot(anot), elektrolitler, separatörler, bağlayıcılar ve iki adet akım kollektörü içerir. Şarj çevriminde şarj edilmiş Lityum iyonları katottan separatör boyunca anota ilerler;deşarj çevriminde ise yine separatör aracılığıyla anottan katota ilerler [9].

Anotta aktif malzeme olarak yüksek iletkenliği ve düşük maliyeti nedeniyle çoğunlukla Grafit kullanılır [9].

Bataryanın performansına etki eden kilit komponent katottur. Katot malzemesi Lityum-iyon batarya performansını doğrudan sınırlandırmaktadır. İçeriğinde Lityum'un eklendiği çoklu-metal oksit malzemeye form veren kristal yapıda Kobalt, Nikel veya Manganez içerdikinden, bataryanın aynı zamanda en pahalı komponentidir. Lityum iyon bataryalar, katot malzemesinin kristal yapısına göre LiCoO_2 (katmanlı yapılı), LiMn_2O_4 (LMO) (spinel yapılı), LiFePO_4 (LFP) (olivin yapılı) şeklinde gruplandırılabilir [9].

1.1.4.4 Elektrik-Hibrit Araçlarda Şanzıman Sistemi

Şanzıman elektrik-hibrit bir aracın diğer bir önemli sistemidir ve şu fonksiyonları yerine getirir:

- Haraketsiz bir durumdan hareketli duruma geçişi sağlar.
- Tahrik momentini ve hızı hareket kaynağından aracın anlık sürüş gerekliliklerini sağlayabilecek şekilde dönüştürerek aktarır.
- Araçta ileri ve geri hareketi sağlar.
- Araca, sürüş gerekliliklerini sağlarken, olabilecek en iyi yakıt ekonomisini ve en düşük emisyon özelliklerini verir.

Hibrit bir araçta birbirinden farklı karakteristikte iki adet ana yürütücü olduğundan şanzıman, standart bir araçta olduğundan daha önemli bir role sahiptir. Elektrik-hibrit bir araç konfigürasyonunda en yüksek verimi ve optimum performansı sağlayabilmek için özel dizayn edilmiş bir şanzıman kullanımı gereklidir. Hibrit araçlarda en sık kullanılan şanzımanlar sürekli değişken şanzımanlardır(CVT). Bu şanzımanların genellikle ikiden fazla planet dişli seti vardır, bu da elektrik motorunun/jeneratörün doğrudan araca güç verebileceği veya araca rejeneratif frenleme yaptırabileceği ek bir mekanik güç yolu sağlar [9].

1.1.5 Elektrik-Hibrit Araçlarla İlgili Çalışmalar

2010 yılında yapılan bir araştırmada, Almanya'daki kara yolu taşımacılığının, ülkenin toplam taşımacılığına göre %72'lik bir orana sahip olduğu, CO₂ salınımının da %93'lük bir oranını içerdiği görülmüştür. Bu salınım değerlerini azaltabilmek için elektrikli araçlara yönelim olmuştur. Elektrikli ağır ticari araçların uzun yol taşımacılık için kullanımı, gereken yüksek miktardaki enerji ihtiyacı ve bu nedenle de yükek kapasiteli bataryalara ihtiyaç duyulması nedeniyle oldukça zorludur. Yüksek kapasiteli batarya demek, aynı zamanda yüksek maliyet anlamına da gelmektedir. Almanya'daki uzun yol taşıma şartları göz önünde bulundurularak yapılan çalışmada elektrikli kamyonlarda kullanılması gereken batarya kapasitesi belirlenmiş ve de farklı taşıma senaryolarında geleneksel dizel kamyonların ve elektrikli kamyonların toplam ömür maliyetleri karşılaştırılmıştır. Farklı dorse kullanımlı elektrikli kamyon modelleri oluşturulmuş ve aralıksız maksimum yolculuk süresi olan 4,5 saatlik batarya beslemesi ihtiyacının 825 kWh olduğu görülmüştür. Yapılan simülasyonda, elektrikli aracın enerji tüketiminin 1,23 kWh/km ve 1,94 kWh/km aralığında olduğu ve Diesel kamyonlara oranla 2,5 kata varan oranlarda daha verimli olduğu tespit edilmiştir. 825 kWh'lık bir batarya eklendiğinde elektrikli kamyonun, dizel motora sahip kamyonun azami taşıma kapasitesinin %80'ini sağlayabildiği görülmüştür. Uzun yol taşımacılıkta ortalama azami taşıma kapasitesi %70 oranlarında olduğu için çıkan bu sonuç kabul edilebilir olarak yorumlanmıştır. Toplam ömür maliyetlerine bakıldığında ise, yüksek kapasiteli batarya gereksinimi nedeniyle aracın ilk maliyeti daha fazla olmasına rağmen diğer yanda da enerji tüketim maliyetlerinin dizel araçlara oranla daha az olması ve gün geçtikçe batarya fiyatlarının da azalması nedeniyle elektrikli araçların gelecekte uzun yol taşımacılık sektöründe karlı bir seçenek olacağı düşünülebilir [11].

Şu an yollarda olan içten yanmalı motorlu otomobillerin petrol tüketimi, Amerika Birleşik Devletleri'nin toplam petrol tüketiminin %61'lik dilimini oluşturuyor. Bununla beraber %28 sera gazı, %33'lük CO ve %36'lık NO_x salınımlarıyla da her bir alanda en çok salınımına neden olan etmen içten yanmalı motorlar olarak görülmektedir. Hibrit elektrikli araçlar yakıt verimliliği açısından kayda değer bir iyileştirme sağlamaktadır. Asher'ın yaptığı çalışmada, elektrik-hibrit araçların, enerji yönetim teknikleri ile beraber belirli araştırma fırsatları değerlendirilerek, yakıt ekonomisinde yaklaşık %20 mertebelerinde iyileşme

fırsatları olabileceği belirlendi. Hibrit araçlarla beraber sensör ve sinyal sistemlerinin daha fazla kullanılır hale gelmesiyle, çeşitli sürüş modlarının araçlara entegre edilerek yakıt tüketimi açısından fayda sağlanabileceği düşünülmektedir. Bir başka gelişim fırsatı, elektrik-hibrit araçların yaygınlaşmasıyla müşterilerden gelecek datanın artması ve bu dataya istinaden “Önsezili Kontrol” gibi sistemler aracılığıyla doğru verilerin araç kontrol sistemiyle buluşturulması olarak belirlenmiştir. Önümüzdeki 5-10 yıllık zaman diliminde bu araştırmaların ilerletilmesiyle beraber araçtan araca iletişim, uydulara bağlantı gibi yeni nesil teknolojiler kullanılarak elektrik-hibrit araçlardaki yakıt tüketiminin daha verimli hale gelmesi sağlanması hedefleniyor [12].

Bilgisayar destekli analiz programları ile birçok problemin validasyon aşamasının, fiziksel teste gerek kalmadan tamamlanması konusunda son yıllarda otomotiv endüstrisi oldukça ilerlemiş durumdadır. Hibrit elektrikli araçların yakıt tüketimi konusunda analizleri için hazırlanan bilgisayar modellerinin gerçek hayatla korelasyonunu görmek adına Ford Motor Company’de yapılan çalışmada, kurulan modellerdeki kritik faktörler batarya tipi, kapasitesi ve araç ağırlığı olarak belirlenmiş ve fiziksel testlerden elde edilen çıktılarla karşılaştırılarak simülasyon modelinin gerçek hayatla korelasyonunun oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Gelecekte modeli daha da iyileştirmek adına sürücü modeli, motor kontrol üniteleri modeli ve ortam sıcaklık etkilerinin değerlendirilmesi konularında da çalışmalara devam edilmesi gerektiği tespit edilmiştir [13].

Ford CARGO çekici araçlarında yapılan çalışmada, ağır ticari hibrit araçlarda en uygun hibrit metodunun seçilmesi için yapılan modelleme ve simülasyon adımları belirli kriterlere göre belirlenmiştir. Çalışmada, 400kW gücünde ve 12,5 litre kapasitesinde bir dizel motordan elde edilecek performansı, 9 litre hacminde ve 300 kW gücünde bir motorla hibrit hale getirerek sağlayacak şekilde bir tasarım oluşturuldu. Yapılan simülasyonlarda elektrik motorunu 1600 devirde minimum 400 Nm’lik bir tork üretebilme kapasitesine sahip olması gerektiği belirlendi. En uygun hibrit konfigürasyonunun belirlenmesi için yapılan analizlerde, belirlenen 6 alternatif konfigürasyon (EM debriyajdan önce, EM debriyajdan sonra, EM şanzımandan sonra, çift debriyaj–EM debriyajlardan önce/sonra, çift EM–EM’ler debriyajdan önce/sonra) arasından, elektrik motorunun şanzımandan hemen önce konumlandırıldığı konfigürasyonun en uygun olduğu belirlendi [14].

Orbalz'ın çalışmasında Arjantin'in Buenos Aires şehrindeki sürüş koşulları göz önünde bulundurularak dört farklı otobüsün teknik, finansal ve çevresel analizleri çıkartıldı. Bu araçlardan bir tanesi, referans olması açısından geleneksel dizel motorlu bir otobüs seçilirken, geri kalan üç otobüs elektrik-hibrit motorlu olarak sırasıyla Lityum-iyon bataryalı, Nikel-metal hidrit bataryalı ve ultrakapasitörlü olarak modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Modellemeler seri hibrit araç modeli kullanılarak yapılırken, verimlilik hesabında ortalama ürün alım fiyatı, yakıt maliyeti, batarya maliyeti ve bakım maliyetleri de göz önünde bulundurularak bu dört farklı otobüs modelinin toplam maliyetleri belirlendi. Analiz sonucunda elektrik-hibrit otobüslerin yakıt tüketimlerinin, geleneksel dizel motorlu otobüse göre %40 - %50 mertebelerinde daha verimli olduğu görülürken, batarya fiyatlarının günümüzde çok yüksek olması ve yakıt maliyetlerinin nispeten ucuz ama yine de pahalı olmasına rağmen bir otobüsün ömrü göz önünde bulundurulduğunda elektrik-hibrit otobüslerde maliyet açısından ciddi kazanımlar elde edildiği belirlendi. Bu üç elektrik-hibrit otobüs modeli arasından en iyi sonuç verenin de Lityum-iyon batarya kullanan model olduğu ve hem maliyet, hem CO₂ salınımı açısından diğer hibrit modellere göre bir adım önde olduğu tespit edildi [15].

Enerji tüketimi, çevresel faydaların ve elektrikli araçların sürüş mesafesinin direkt ilgi alanıdır. Taşıtların enerji tüketimleri genellikle standart hale getirilmiş sürüş çevrimi testlerinin çıktılarına göre değerlendirilir ancak bu standart sürüş çevrimi testleri gerçek sürüş karakteristiklerinden sapmalar gösterebilir ve hile olarak kabul edilebilecek yorumlamalara neden olabilir. Bu doğrultuda elektrikli araçların enerji tüketimleri belirli regülasyonlarla sınırlandırılarak gereklilikleri sağlayacak şekilde değerlendirilmeye başlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda, elektrikli araçların gerçek yaşam koşullarının simüle edildiği sürüş çevrimlerinde yakıt tüketim miktarının değerlendirilmesi ile ilgili çeşitli metodlar değerlendirildi. Sürüş çevrimleri ve araç parametreleri arasındaki ilişki kurularak elde edilen lineer fonksiyonlar geliştirilerek, gerçek hayatı mümkün olduğunca simüle etmeye yakın sonuçlar elde etmeyi hedefleyen değerlendirme metodları belirlenecek şekilde çalışmalar yürütülüyor [16].

Elektrikli araç bataryaları, elektrikli araçların çevresel faydalarının sürdürülebilirliği konusunda en kritik faktör olarak göze çarpıyor. Prize takılabilir elektrik-hibrit araçlarda kullanılan Lityum-iyon bataryaların çevresel faktörlere etkisini değerlendiren bu

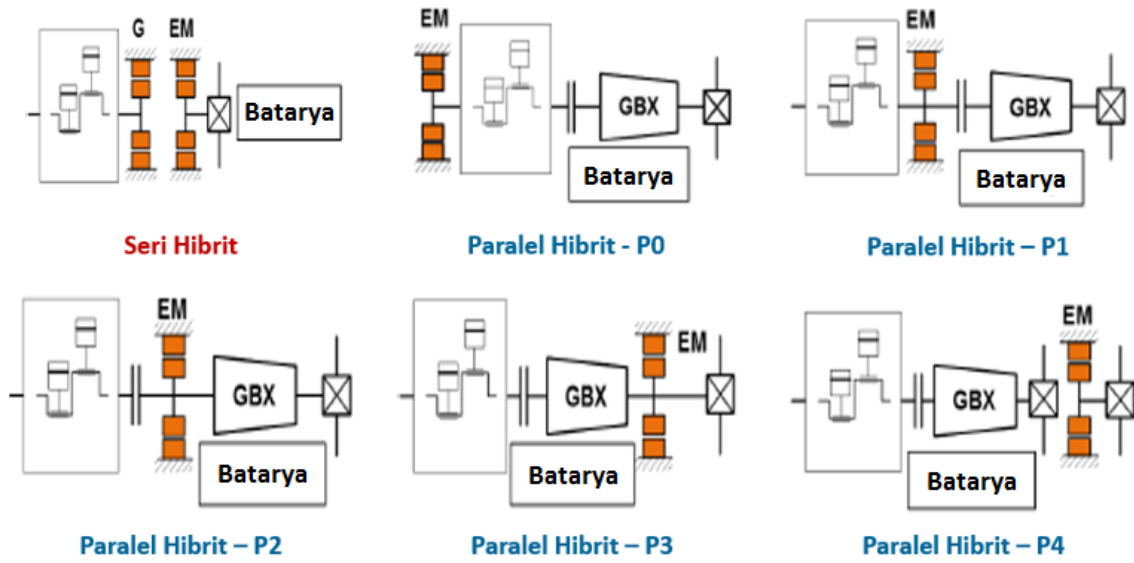
çalışmada, ISO 14040 standartları ile uyumlu olacak şekilde sürüş çevrimi ve ömür değerlendirmeleri yapıldı. Analiz sonuçları bataryaların üretim fazlarının kalitesinin, bataryaların performans çıktılarına %60'ın üzerinde etkisi olduğunu gösteriyor. Batarya montajı esnasında gereken tüketilecek elektrik miktarının doğru belirlenmesinin, batarya kalitesi açısından oldukça önemli olduğu belirlendi [17].

Elektrik-hibrit araçlar taşıtların CO₂ salınımını azaltan ve enerji verimliliğini arttıran en önemli seçenekler arasında gösterilmektedir. Hibrit güç aktarma organlarının faydalarının genellikle şehir içi kullanımlarda, ortalama hızın altında ve yüksek ivmelenmelerde olduğu görülmüştür. Toyota'nın 3 farklı modeli (Toyota Yaris Hibrit, Toyota Yaris 1.5 benzin, Toyota Prius hibrit) seçilerek yapılan çalışmalarda, 30 farklı sürücünün aynı parkurda gerçekleştirdikleri sürüşlerin çıktıları bir rapor haline getirildi. Hibrit modeller arasında batarya kapasitesi ve motor gücünün farklı seçilmesine dikkat edildi. Sonuçlar enerji tüketiminde sadece araç tipinin bir etmen olmadığını, aynı zamanda sürüş şekillerinin ve sürüş hızlarının da enerji tüketimine önemli bir etmen olduklarını gösterdi. Yaris'in iki sürümü arasında yapılan karşılaştırmalarda, hibrit modelin düşük ve ortalama hızlarda, geleneksel benzinli modele oranla enerji tüketimi açısından çok daha verimli sonuçlar verdiği görüldü. 90 km/sa'den yüksek hızlarda ise iki modelin de enerji tüketimlerinin benzer miktarlarda olduğu görüldü. İki hibrit versiyonun, Yaris hibrit ve Prius'un karşılaştırmalarında ise genel yakıt tüketim trendinin hızlara oranla karşılaştırmaları benzer olsa da Prius'un daha yüksek batarya kapasitesi ve motor gücünün sağlamış olduğu frenleme enerjisinin geri kazanımı sayesinde, enerji tüketiminin de daha az olduğu tespit edildi [18].

1.2 Tezin Amacı

Çalışmanın amacı, P2 elektrik-hibrit güç aktarımı mimarisine sahip bir ağır ticari aracın yakıt ekonomisini değerlendirmek; bu kapsamda yakıt tüketiminin belirli parametrelere duyarlılığını araştırmak ve yapılan analizlerden elde edilen bulgulara göre aracın yakıt ekonomisini en az ve en çok iyileştiren durumları tespit etmektir. Çalışma için GT-Suite multi-fizik simülasyon programında, şehir içi çalışan bir kargo nakliye kamyonunun hem standart dizel hem de P2 elektrik-hibrit güç aktarımı mimarileri tek boyutlu olarak modellenmiştir. İki araç simülasyon modeli de aynı fiziksel özelliklere sahip ortak devre

elemanları içermekte; P2 elektrik-hibrit güç aktarımı modelinde ek olarak bir elektrik motoru, bir batarya, ek bir kavrama ve hibrit sisteme özel bir kontrol algoritması bulunmaktadır. Ağır ticari araçlar için getirilen bir regülasyon olan VECTO yazılımından kargo nakliye kamyonunun kullanım amacına uygun olduğu belirlenen sürüş çevrimine göre her iki araç simülasyon modelinin analizi de koşturulmuştur. P2 elektrik-hibrit güç aktarımının yakıt tüketimini standart dizel güç aktarımına göre iyileştirme oranları; bataryanın belirli başlangıç şarjı seviyeleri, belirli batarya kapasiteleri ve yüklü-yüksüz araç ağırlıkları için bulunmuştur. Elde edilen bulguların ışığında; P2 elektrik-hibrit aracın yakıt tüketimi miktarını etkileyen parametreler ve bunların etki dereceleri tartışılmıştır.



Şekil 1.1 Elektrik-hibrit araç mimarilerinin temsili gösterimi [19].

Hibrit güç aktarma sistemlerinin temel olarak seri hibrit ve paralel hibrit olarak ikiye ayrılabilmesi “Elektrik-Hibrit Araç Mimarileri” başlığı altında belirtilmiştir. Özetle, sistemin seri hibrit ya da paralel hibrit olması; güç aktarımının tek yoldan ya da birden fazla yoldan olup olmamasıyla ilgilidir. Örneğin seri hibrit sistemlerinde, içten yanmalı motor enerji üretip bataryayı beslemekte, elektrik motoru da bataryadan aldığı enerjiyle aracı sürmektedir. Öte yandan, paralel hibrit sistemlerinde hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru aracı sürebilmekte; aynı zamanda da bataryayı doldurmak için kullanılabilirler. Paralel hibrit sistemleri, elektrik motorunun güç aktarma hattında bulunduğu konuma göre P0, P1, P2, P3, P4 gibi isimlerle adlandırılmaktadır.

Genel olarak tüm paralel hibrit araç düzenleri şu şekilde özetlenebilir:

P0 konfigürasyonu, elektrik motorunun bir kayış ile motor krankına bağlanması ile oluşturulur. Önceden marş jeneratörü olarak veya düşük voltajlı aküyü doldurmak için kullanılan bir düzen iken, yapılan yeni çalışmalarla biraz daha kapasitesi geliştirilmiştir. Şimdilerde daha araçlarda dur-kalk desteği için kullanılabilmekte, elektrikli araçlarda düşük voltajlı bataryalara elektrik desteği verebilmektedir.

P1 hibrit düzeninde elektrik motoru, İYM ile kavrama arasında krankşafta doğrudan bağlıdır.

P2 mimarisinde elektrik motoru, İYM ve şanzıman arasında, şanzıman önüne ilave bir kavrama ile birlikte monte edilmiştir.

P3 hibrit mimarisinde, elektrik motoru bir tahrik dişlisi ile şanzımana entegre edilmiştir. Bu yapı ile şanzımandan tekerleklere aktarılan enerjide kayıpların önüne geçmek öncelikli amaçlardandır.

P4 hibrit sisteminde, arka aksa bağlıdır. Motor ve şanzımandan tamamen ayrılmış durumdadır.

P5 düzeninde ise elektrik motoru tekerlek poyrasına entegre edilmiştir. Bu şekilde bağlandığı bölgede tekeri doğrudan tahrik edebilir.

Çizelge 1.2 Elektrik-hibrit araç mimarilerinin hibrit fonksiyonları [19].

Hibrit Fonksiyonu	Seri Hibrit	Paralel Hibrit				
		P0	P1	P2	P3	P4
Tam elektrik modu						
Tork tamamlayıcı mod *vites geçişleri sırasında tork sağlama						
Elektrikli destekleme						
Geri kazanım modu						
Dur/kalk desteği						
İçten yanmalı yükleme noktası değişimi						
Elektrik gücü üretimi						
Elektrik güç çıkışı-e-PTO						
Tam içten yanmalı motorla tahrik modu						

Elektrik-hibrit araç sistemlerinin, araç kullanıcılarının beklentileri göz önüne alındığında farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Her bir sistemin yeteneği olan ve

olmayan özellikler Çizelge 1.2’de gösterilmiştir. Bu çalışmada elektrik motorunun, kavrama ile şanzıman arasına, şanzımanın hemen girişine eklenen ikinci bir kavrama ile birlikte konumlandırıldığı P2 paralel elektrik-hibrit araç sistemi incelenmiştir. P2 mimarisinin seçilme nedeni, Çizelge 1’den de görüleceği üzere, araca çok sayıda çalışma modunu tanımlayabilmek, özellikle de elektrik gücü üretiminin de yakıt tüketimine etkisinin olduğu bir senaryoyu analiz etmektir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada P2 elektrik-hibrit konfigürasyonuna sahip bir kargo nakliye kamyonunun VECTO regülatif sürüş çevriminde batarya kapasitesi, batarya başlangıç şarj seviyesi ve araç ağırlığı parametreleri değiştirilerek, yakıt ekonomisini standart dizel motorlu kamyonu kıyasla ne oranda iyileştireceği araştırılmıştır.

Araştırma çerçevesinde üretilen bilimsel hipotezler şu şekildedir:

H0 hipotezi: Standart dizel ve P2 elektrik-hibrit iki araç konfigürasyonunun oluşturduğu yakıt tüketimleri arasında herhangi bir farklılık yoktur. Batarya kapasitesinin, batarya başlangıç şarj seviyesinin ve aracın ağırlığının yakıt tüketimi miktarı üzerinde etkisi yoktur.

Alternatif hipotez: Standart dizel ve P2 elektrik-hibrit iki araç konfigürasyonunun oluşturduğu yakıt tüketimleri arasında farklılık vardır. Standart dizel motorlu bir araç mimarisi, P2 elektrik-hibrit araç mimarisine dönüştürüldüğünde aracın batarya kapasitesinden, batarya başlangıç şarj seviyesinden ve aracın ağırlığından bağımsız olarak yakıt tüketimi miktarı azalır. Yakıt tüketimi miktarının ne oranda azaldığına araçta bulunan bataryanın kapasitesi, bataryanın başlangıç şarj seviyesi ve aracın ağırlığı etki eder.

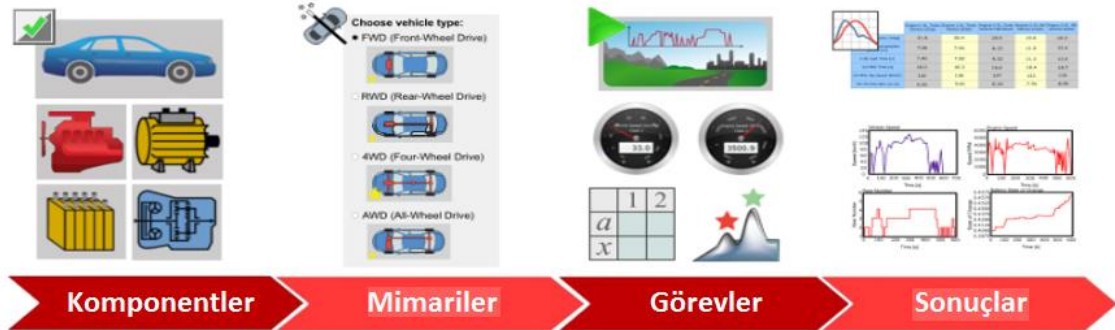
MATERYAL VE METOD

2.1 Model Altyapısı

GT-Suite programı Gamma Technologies firmasının ürettiği, çoklu fizik platformu olarak adlandırılan, farklı fiziksel sistemlerin ve araçların modellenebildiği bir simülasyon aracıdır. Araçlarda bulunan hemen hemen bütün fiziksel sistemlerin ayrı ayrı ve bütünleşik olarak modellenmesi ve simülasyonu bu modelleme altyapısı sayesinde mümkün olmaktadır. Özellikle araç mimarisinin oluşturulması ve farklı güç aktarım sistemlerinin karşılaştırılması konularında kolaylık sağlamaktadır. Hibrit araç modellemesi için gerekli elektrik, mekanik, ısı devre elemanlarının birbirleriyle bağlantısı yapılabilmekte ve farklı kontrol stratejileri kurulabilmektedir. Kütüphanesinde hazır bulunan araç modelleme örnekleri sayesinde yeni teknolojilerin etkileri incelenebilmektedir. Ayrıca, bu örnek modellerin uygulama ve modifikasyon kolaylığı sayesinde yeni kullanıcılar için eğitici olmaktadır. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, devre elemanları amaca göre birleştirilmekte ve farklı mimariler oluşturulabilmektedir. Her devre elemanın fiziksel özellikleri amaca göre tanımlanmıştır. Bu devre elemanlarının birbirleriyle olan ilişkileri de genel fizik denklemleriyle sağlanmaktadır. Kurulan modellerle, teknolojide karşılaşılan problemler simüle edilebilmekte ve potansiyel çözümler geliştirilebilmektedir. Simülasyon sonuçları grafikler ve sonuç tabloları üzerinden karşılaştırılabilmekte ve en ideal senaryolar kurgulanabilmektedir.

Bu çalışmada standart dizel araç güç aktarımı modeli ve elektrik-hibrit mimarisinin bir çeşidi olan P2 sistemi kurulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Temel amaç P2 elektrik-hibrit mimarisinin yakıt tüketimi üzerindeki etkilerinin standart dizel araca göre

durumunun incelenmesidir. GT-Suite programının içinde yer alan, binek araç için temsil edilen örnek elektrik-hibrit modeli P2 konfigürasyonuna çevrilmiş ve ağır ticari araç özellikleri ile binek araç özellikleri değiştirilmiştir.



Şekil 2.1 GT-Suite platformunda simülasyonun temel evreleri [20].

2.2 Araç Özellikleri

Bu çalışmada, P2 elektrik-hibrit güç aktarımı mimarisinin yakıt tüketimi üzerindeki etkisinin incelenmesi için şehir içi taşımacılıkta kullanılan nakliye kamyonu örnek olarak seçilmiştir. Hibrit mimarisinin yakıt tüketimi üzerinde en belirgin etkisinin şehir içi trafiğinde olduğu literatürden bilinmektedir. Çünkü şehir içi trafiğindeki dur-kalk ve düşük hız/yükteki kullanım fazlalığı hibrit mimarisinde yer alan elektrik motorunun daha yoğun kullanımını gerektirmektedir. Elektrik motorunun kullanım oranının dizel motora göre artması da dizel motorun sebep olduğu yakıt tüketimini azaltmakta, bu durum da yakıt ekonomisini iyileştirmektedir.

Şehir içi nakliye işi için kullanılan kamyonlar genellikle 2 akslı ve 16-18 ton taşıma kapasitesine sahip araçlardır. 5 lt, 7 lt veya 9 lt kapasitesinde dizel motorlar bu tip araçlarda tercih edilmektedir. Maksimum güç değerleri 250-300 beygir gücü civarındadır. 6 ileri otomatik ya da 9 ileri manuel şanzımanlar daha ziyade kullanılmaktadır. Bu tip araçların bir günde yaptıkları mesafe miktarları 100-150 km, boş ağırlıkları ise 4 ila 7 ton civarındadır. Yükleme kapasitesine kadar yüklendiği durumlar seyrek olarak görülmektedir. Hacimsel taşıma kapasitesi kütleli kapasiteye göre daha baskındır.

Bu çalışmada değerlendirilen araç için, motor, şanzıman ve araç özellikleri Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Standart dizel kamyonun araç, motor ve şanzıman temel özellikleri [21] [22] [23]

Bu çalışmada değerlendirilen, dizel motorlu, şehir içi nakliye kamyonu P2 elektrik-hibrit altyapısıyla donatılacak şekilde modifiye edilerek modellenmiştir. P2 elektrik-hibrit mimarisinde kullanılan en önemli iki yeni eleman elektrik motoru ve bataryadır. Bu aracın değerlendirilmesinde modele uyarlanan elektrik motoru ve batarya özellikleri de Şekil 2.3’te verilmiştir.



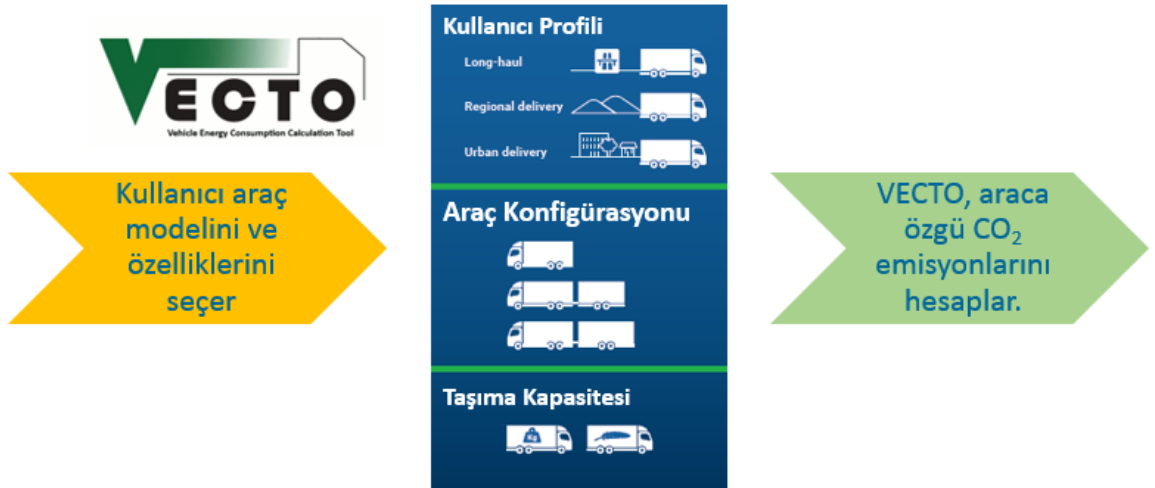
Şekil 2.3 P2 elektrik-hibrit kamyonun elektrik motoru ve batarya temel özellikleri [24] [25]

2.3 VECTO Sürüş Çevrimi

Binek araçlar için bir dönem kullanılan NEDC çevriminin ve onun yerini alan WLTP çevrimlerinin taşıdığı önemi, ağır ticari araçlar için Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilen VECTO sürüş çevrimleri taşımaktadır. Ağır ticari araçların CO₂ ve yakıt tüketimi belgelendirmeleri farklı taşıma görevlerine göre farklı sürüş çevrimleri üzerinden yapılmaktadır. VECTO kapsamında yer alan sürüş çevrimleri;

- Uzun yol taşımacılığı (Long Haul)
- Bölgesel taşımacılık (Regional Delivery)
- Şehir içi taşımacılık (Urban Delivery)
- Belediye hizmetleri (Municipal Utility)
- İnşaat (Construction)

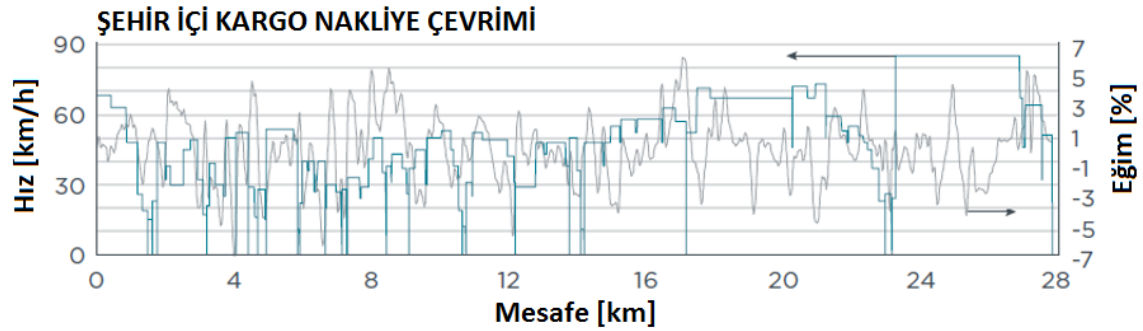
olmak üzere sınıflandırılmıştır. VECTO regülasyonlarının öneminin gitgide artacağı bilgisiyle, simülasyon modelleri oluşturulmuş iki güç aktarma sisteminin karşılaştırılması için VECTO regülasyonlarında bahsedilen sürüş çevrimlerinden, belirlenen aracın profiline uygun olan “Urban Delivery”, yani şehir içi taşıma çevrimi, bu çalışmada kullanılmıştır.



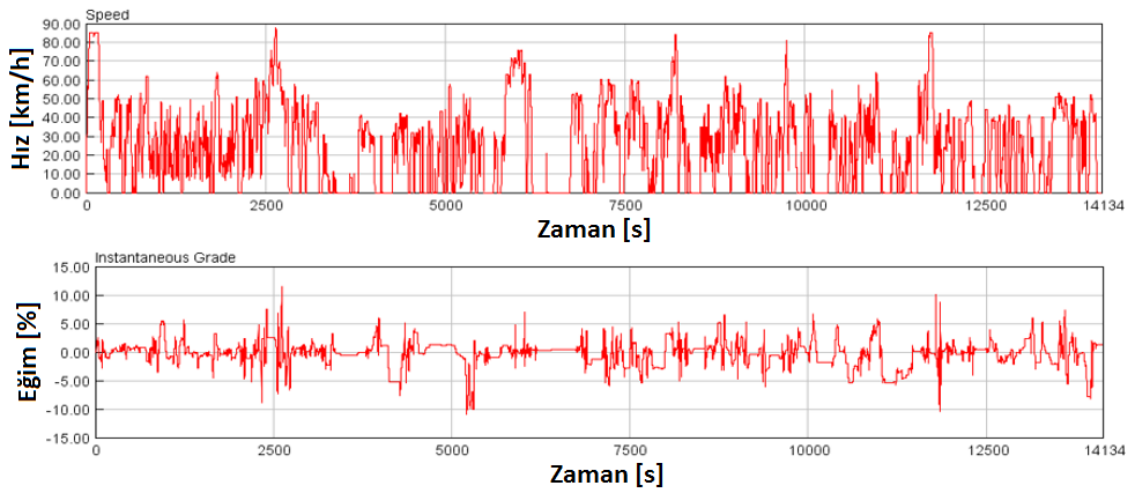
Şekil 2.4 VECTO regülasyonlarının uygulanışında temel aşamalar [26]

VECTO çevrimleri, her bir çevrimin hız ve zaman datasının yanı sıra; yokuş özelliklerini de içermektedir. Bu sebepten, bu çevrim datasıyla yapılan analizlerde hesaplanan yakıt tüketimi, gerçek tüketim değerine daha çok benzemektedir. Seçilen VECTO şehir içi

“Urban Delivery” çevrimi toplam 95 km’lik ve 14063 s’lik bir çevrimdir. Şekil 2.5 ve 2.6’da bu sürüş çevriminin hız ve yokuş profilleri görülmektedir.



Şekil 2.5 VECTO “Urban Delivery”(Şehir İçi Kargo Nakliye) sürüş çevrimi hız-yol-yokuş grafiği [27]



Şekil 2.6 VECTO “Urban Delivery” (Şehir İçi Kargo Nakliye) sürüş çevrimi hız-zaman ve yokuş-zaman grafikleri (simülasyondan alınmıştır)

2.4 Dizel Araç Modeli

GT-Suite programı içinde kurulan dizel kamyon modelinin, tüm devre elemanlarının ve bu elemanların birbirleriyle olan bağlantılarının simülasyon görüntüsü Şekil 2.7’deki gibidir.

Oluşturulan Dizel araç simülasyon modelinin girdileri genel olarak aşağıdaki yakıt tüketimi denlemlerini referans alarak oluşturulmuştur:

Motordan tekerlere aktarılan tahrik kuvveti hesaplanmaktadır [28].

$$F_T = \frac{T_W}{r_W} \quad (2.1)$$

$$T_W = \eta_t * T_e * i_t * i_d \quad (2.2)$$

$$P_e = T_e * n_e \quad (2.3)$$

$$r_W = K * \left[\frac{NRD}{2} + \Phi(NSW) \right] \quad (2.4)$$

$$F_T = \frac{\eta_t * i_t * i_d}{r_W} * (T_e) \quad (2.5)$$

Aracın hareketine ters yöndeki direnç kuvvetlerinin toplamı, motordan dişli oranlarına ve verimlere bağlı olarak tekere aktarılan tahrik kuvvetinden çıkarılarak, tekerdeki net tahrik kuvveti hesaplanmaktadır [28].

$$F_n = F_T - R_T \quad (2.6)$$

$$R_T = R_r + R_g + R_a + R_i \quad (2.7)$$

$$R_r = f_r * W \quad (2.8)$$

$$R_g = W * \sin\theta \quad (2.9)$$

$$R_a = \frac{1}{2} * \rho * C_d * A_f * V_r^2 \quad (2.10)$$

$$R_i = m_V * a_V + \frac{T_W}{r_W} \quad (2.11)$$

$$F_T = m_V * a_V \text{ (aracın çizgisel ivmelenmesi için)} \quad (2.12)$$

$$T_W = J_T * \alpha \text{ (aracın açısal ivmelenmesi için)} \quad (2.13)$$

$$R_i = a_V * \left[m_V + \frac{J_T}{r_W^2} \right] \quad (2.14)$$

$$F_n = \left[\frac{\eta_t * i_t * i_d}{r_W} * (T_e) \right] - [R_r + R_g + R_a + R_i] \quad (2.15)$$

Sürüş çevriminin gerektirdiği hız koşullarına uyum sağlayabilecek net tahrik kuvvetini üretmek için motorun tüketmesi gereken yakıt miktarı hesaplanmalıdır [28].

$$bsfc = f(bmep_s, n_s) \quad (2.16)$$

$$bmep_s = \left(\frac{P_1^r}{P_1} \right) * bmep \quad (2.17)$$

$$n_s = \left(\frac{n_1^r}{n_1} \right) * n_e \quad (2.18)$$

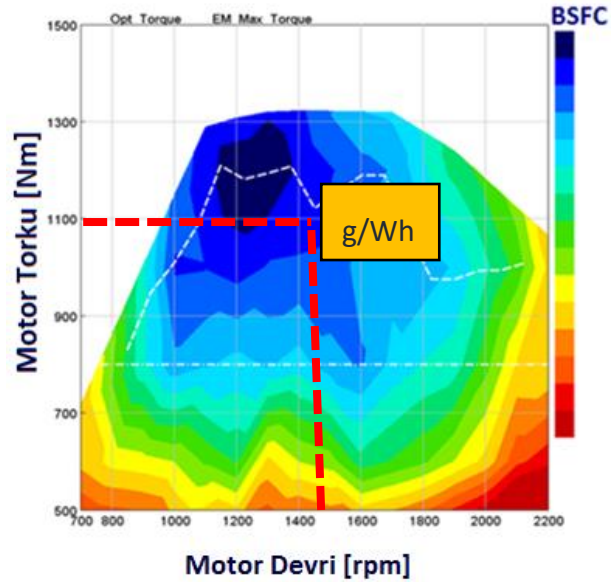
$$bmep = 4\pi * \frac{T_e}{V_D} \quad (2.19)$$

$$bsfc = 4 = \frac{\rho_f * V_f}{P_e * t} = \frac{\rho_f * \left(\frac{V_f}{t} \right)}{P_e} = \frac{\rho_f * Q_f}{P_e} \quad (2.20)$$

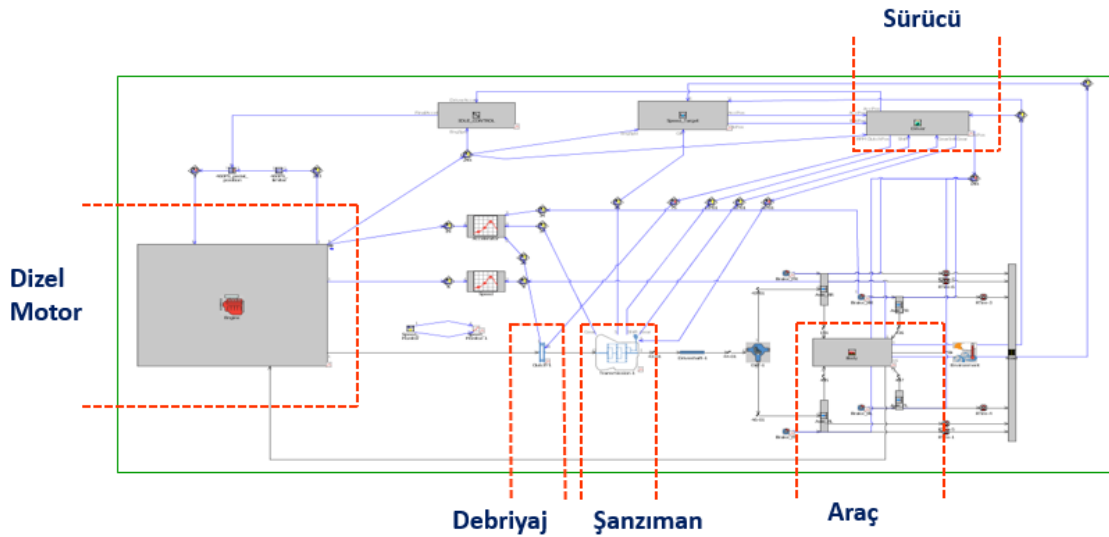
$$\frac{V_f}{D} = \frac{bsfc * F_n}{\rho_f * \eta_t * 36} \quad (2.21)$$

Oluşturulan modelde torku ve hızına bağlı olarak bir motor yakıt tüketimi haritası girilmiştir. Aracın hızına ve torkuna bağlı, anlık olarak motor torku ve hızı hesaplanarak,

anlık yakıt tüketimleri hesaplanmaktadır. Şekil 2.7’de örnek olarak gösterilen spesifik yakıt tüketimi haritası içindeki verilerden beslenen simülasyon, sürüş çevriminin tüm anlarında, o ana kadar tüketilmiş yakıt miktarını söyleyebilmektedir.



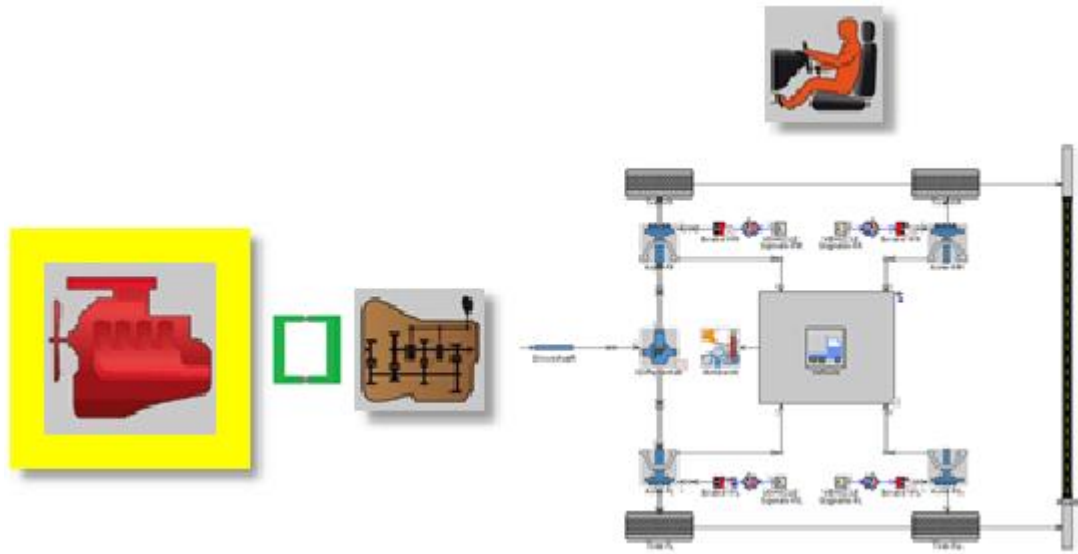
Şekil 2.7 Dizel motorun hızına ve torkuna bağlı tüketilen spesifik yakıt tüketimi haritası Model temel olarak dizel motoru, kavrama, şanzıman, diferansiyel, araç gövdesi ve tekerlerlek modellerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 2.8 Standart Dizel kamyon - GT-suite simülasyon modelinin program üzerinde gösterimi

Şekil 2.8’de yalnızca bu temel devre elemanlarının modelleriyle standart dizel motorlu kamyon modeli şematik olarak gösterilmiştir. Modelin gerçekteki sürüşü simüle

edilebilmesi için model üzerinde bir sürücü elemanı da yer almaktadır. Model üzerinde bulunan bu devre elemanlarının girilen özellikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.9 Standart dizel kamyon - GT-suite simülasyon modelinin devre elemanlarının şematik gösterimi

2.4.1 Dizel Motoru

Dizel motor komponenti, güç ve sürtünme özellikleri ile motor performansının ve yakıt tüketiminin harita temelli bir modelini oluşturmak üzere araç düzeni içerisine tanımlanmıştır. Tüm motor özellikleri motor hızının ve yükünün bir fonksiyonu olarak girilmiştir.

Özellik	Birim	Atanan Değer
Motor Tipi		4-stroklı
Motor Deplasmanı	L	9 ...
Minimum Çalışma Hızı	RPM	350 ...
Motor Eylemsizliği	kg·m ²	0.2 ...

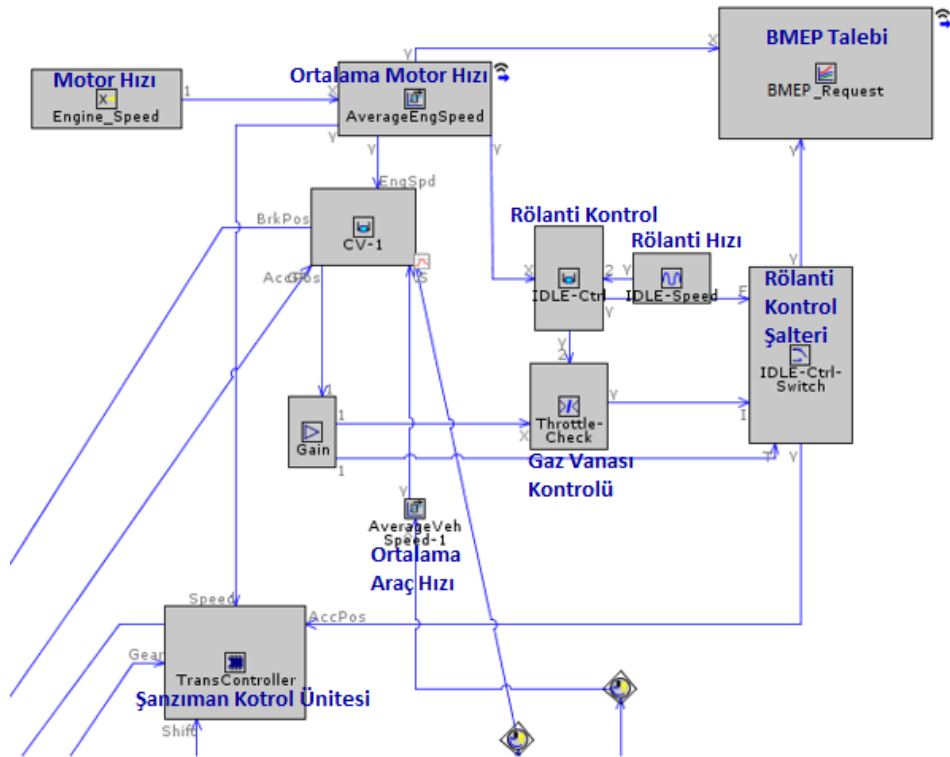
Özellik	Birim	Atanan Değer
Fuel Characteristics		
Yakıt Yoğunluğu	kg/m ³	835 ...
Yakıt Karbon Kütlesi Oranı	fraction	ign ...
Yakıt Isıl Değeri	J/kg	4.395E7 ...
Engine Stop-Start		
Yakıt Kapatma Hızı (Araç-Kinematik Modu)	RPM	ign ...
Motor Çalıştırıldığında Tüketilen Yakıt Kütlesi Artışı		ign ...

Özellik	Birim	Atanan Değer
Secondary Engine Maps (X: Eng Speed [RPM], Y: Brk. Tq. [N·m])		
Yakıt Tüketimi Haritası (RPM, LOAD)		Fuel_Flow_SL_EOM0-2 ...
Isı Atım Haritası (RPM, LOAD)	kW	ign ...
Hava Akış Haritası (RPM, LOAD)	Vol.Eff	ign ...
Egzoz Entalpi Haritası (RPM, LOAD)	kW	ign ...
Initial State		
İlk Hız	RPM	0 ...
İlk Açılma Pozisyonu	deg	0 ...
Load Request		
☒ Gaz Pedalı Pozisyonu	%	0 ...
☐ Engine Load (BMEP)	bar	
☐ Engine Load (Brk.Torque)	N·m	0
Primary Engine Maps		
Mekanik Çıktı Haritası (Torque) (RPM, AcceleratorPos)		Torque_Map_SL_EOM0-2 ...
Motor Sürtünme Haritası (RPM, BMEP)	MEP(Bar)	Ecotorq_SL_Friction_Ma...

Şekil 2.10 Dizel motor devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi

- Güç haritası - Motorun farklı yüklerinde, araç tarafından talep edilen gücün karşılığını gösteren güç ve moment değerleridir. Bir eksen motor hızı, bir eksen

motor yükü olarak haritalandırılır. Gaz pedalı pozisyonuna(%) göre aynı motor hızı için motor yükü değışkenlik göstermektedir.



Şekil 2.11 Simülasyonda dize motorun hız ve pedal pozisyonlarına bağı olarak motor yükünün hesaplanmasını temsil eden şematik bir gösterim

- Sürtünme haritası - Motorun yüksüz durumda yavaşlamasını temsil eden haritadır. Bir eksen motor hızı, diğ er eksen sürtünme momentidir.
- Yakıt haritası - Motorun her bir hız ve yüküne karşılık gelen yakıt tüketim değ erlerini içeren haritadır.
- Eylemsizlik momenti - Motorun bir hızdan diğ erine geç iş i esnasında hızlanmasını do ğ ru hesaplayabilmek için kullanılan parametredir. Dönme eylemsizli ğ i 0,2 kgm² olarak motor modeline tanımlanmı ş tır.
- Motor hacmi - motorda üretilen ortalama efektif basıncın(bmep) hesaplanması için kullanılmaktadır. 9L olarak modele tanımlanmı ş tır.
- Minimum çalı ş ma hızı – motorun duruş ya ş amadan çalı ş aca ğ ı minimum hız değ eri 350 rpm olarak modele tanımlanmı ş tır.

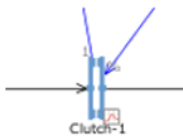
- Yakıt özellikleri - tüketilen yakıt miktarının hacimsel ve kütleli dönüşümleri için kullanılmaktadır. Yakıt yoğunluğu 830 kg/m^3 ve yakıt alt ısı değeri $4,4 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$ modele girilmiştir.

Motor sürücünden gelen gaz pedalı konumu sinyalini alacak şekilde modellenmiştir.

Motorun emisyon ve termal özellikleri modele tanımlanmamıştır.

2.4.2 Kavrama

Kavramanın araç güç aktarımındaki çalışma modunu debriyaj pedalı konumuna(%) bağlı olarak belirleyecek bir model oluşturulmuştur.



Özellik	Birim	Atanan Değer
Kavrama Modu		Debriyaj Pedalı Pozisyonu ▾
Kavrama Kapasitesi		
☒ Maksimum Statik Kavrama Torku	N-m ▾	3000 ...
☐ Maksimum Statik Kavrama Pedalı Kuvveti	N ▾	
Kavrama Geometrisi		
☒ Kavrama Efektif Yarıçapı	mm ▾	90 ...
☐ Kavrama Dış Yarıçapı	mm ▾	
☐ Kavrama İç Yarıçapı	mm ▾	
Sürtünme Modeli		
Sürtünme Modeli Nesnesi		FrictionCoulomb ...
Sürtünme Kısıtlama Nesnesi		Lock-5RPM ...
Başlatma		
İlk Hız Geçiş Şartı (1=Geç ; 0=Geçme)		0 ...

Şekil 2.12 Dizel motor devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi

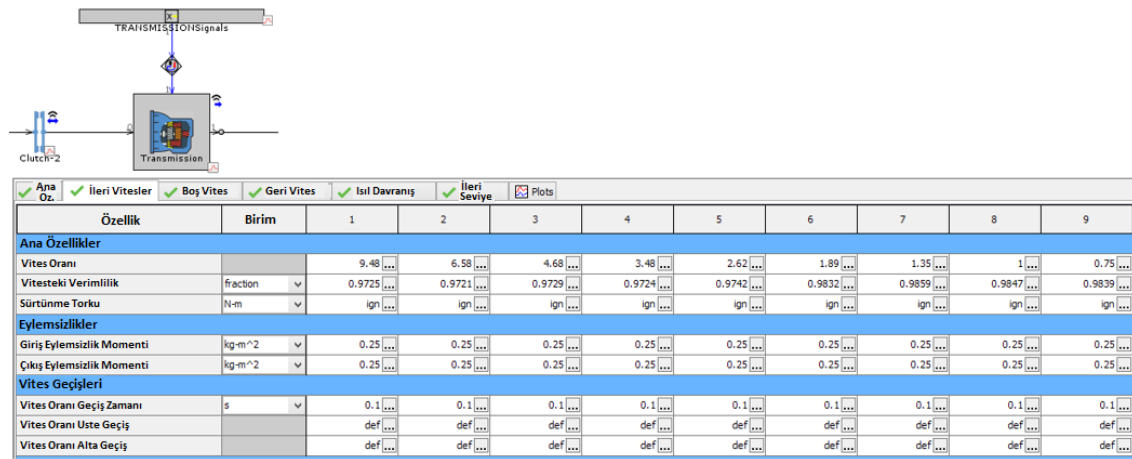
- Kavrama moment kapasitesi – maksimum motor momentıyla ilişkilidir. Debriyajın kavrama durumunu saptamak için gerekli olan bu girdi 3000 Nm'dir. Buradan kavrama plakası efektif yarıçapı ve sürtünme katsayısı bilgileri de hesaba dahil edilerek, maksimum kavrama tahrik gücüne ulaşılır.
- Kavrama sürtünme plakası fiziksel özellikleri
Kavrama plakası çapı - Kavramanın sürtünme plakalarının efektif yarıçapı 90 mm olarak girilmiştir.
- Kavrama Sürtünme Modeli
Kuru sürtünme katsayısı - 0,3 olarak tanımlanmıştır.

Hız Değişimi Boyunca Sürtünme - Kuru sürtünme katsayısına tek bir değer girildiğinde, bu özellik tanımlanan sürtünme katsayısına(0,3) ulaşılan bağlı hız bir doğru denlemiyle tanımlanır. Bu hız değişimi(0'dan V_s 'ye) süresince sürtünme katsayısı 0'dan 0,3'e kadar artar.

- Eylemsizlik momenti – güç aktarma hattının hızlanma ve yavaşlama anındaki davranışlarının doğru hesaplanabilmesi için gerekli parametredir.

2.4.3 Şanzıman

Motordan gelen tahrik torkunun arttırılma, hızın ise düşürülme oranını belirlemek için şanzıman modeli önemli devre elemanlarından biridir.



Şekil 2.13 Şanzıman devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi

- Vites oranları - 9 ileri vitesli şanzımanın katalogta yer alan oranlarıdır.
- Eylemsizlik momentleri - her bir dişli için girilmiştir ve dinamik değişimleri doğru hesaplayabilmek için kullanılır.

Giriş Eylemsizlik Momenti

Aktif dişli oranı için geçerli, şanzıman giriş tarafı eylemsizlik momentidir. Giriş şaftının verilen dişli oranında şafta sabitlenen tüm dişlilerle birlikte toplam eylemsizlik momentini temsil eder.

Çıkış Eylemsizlik Momenti

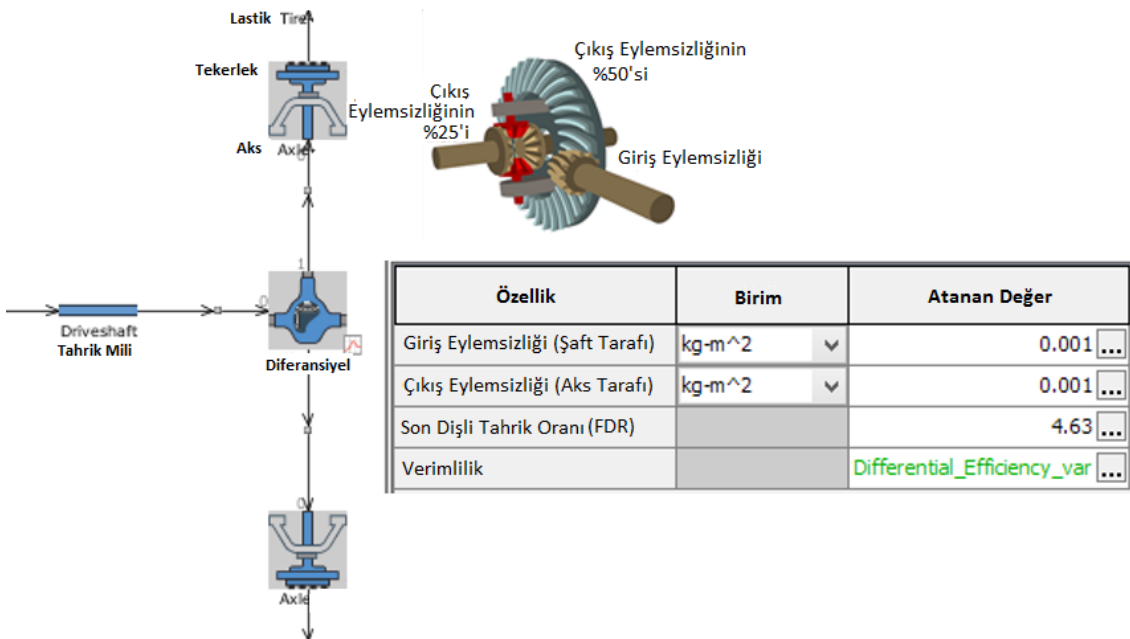
Aktif dişli oranı için geçerli, şanzıman çıkış tarafı eylemsizlik momentidir. Çıkış şaftının verilen dişli oranında şafta sabitlenen tüm dişlilerle birlikte toplam eylemsizlik momentini temsil eder.

Modelde farklı değerlerle değil, ortak bir değer olarak, 0,25 kgm² şeklinde her bir dişli oranına tanımlanmıştır.

- Verimlilik değerleri - her bir vites için motor yüküne ve giriş hızına bağlı olarak haritalandırılabilceği gibi tek bir değerle de ifade edilebilir. Hassas yakıt tüketimi tahmini için girilmesi önemlidir.

2.4.4 Diferansiyel

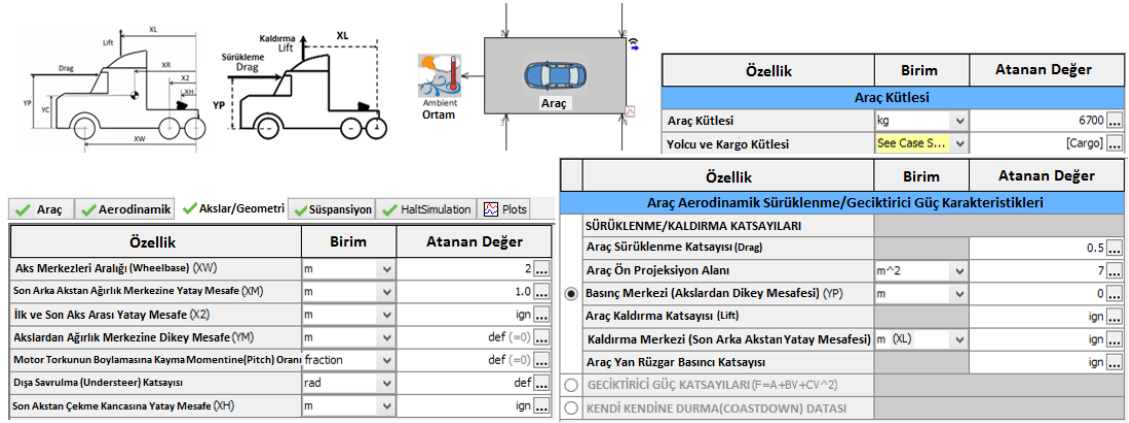
Model kilitli bir diferansiyeli, bağlı her iki yarım aks da aynı hızda dönecek şekilde temsil etmektedir.



Şekil 2.14 Diferansiyel devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi

- Son dişli tahrik oranı - aracın toplam vites oranı ve tahrik momentinin hesaplanması için kullanılır.
- Eylemsizlik momenti - tüm güç aktarımı hattındaki elemanlar için girilmiştir.
- Verimlilik - şanzıman dişlilerinin verimlilik değeri gibi bu değer de hassas yakıt tüketimi hesabı için önem arz etmektedir. Diferansiyel çıkış hızına bağlı olarak tanımlanmış verimlilik değerlerini içeren bir haritadan oluşmaktadır.

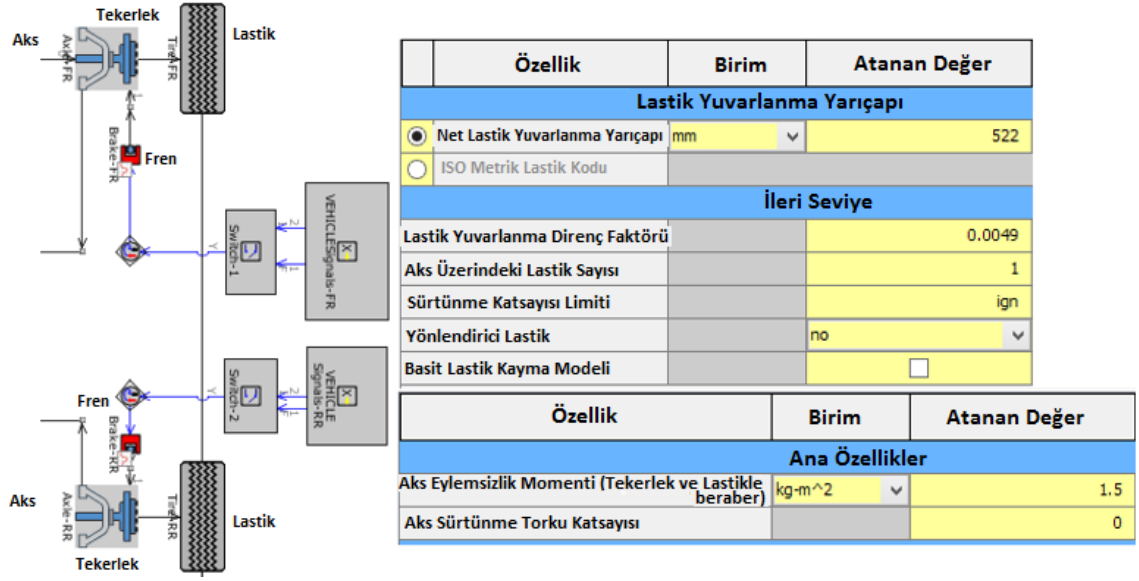
2.4.5 Araç Gövdesi



Şekil 2.15 Araç özelliklerinin simülasyon modeli genel gösterimi

- Araç ağırlığı - aracın boş ve dolu ağırlığı ayrı ayrı temsil edilebilmektedir. Yakıt tüketimi hesabı için en baskın parametrelerden biridir. Aracın boş ağırlığı 6700 kg olarak modele tanımlanmıştır.
- Aerodinamik direnç katsayısı - aerodinamik sürtünme kuvvetinin hesaplanması için girilir. Genellikle 0,5 – 0,6 arasında bir değerdir. Bu analiz için 0,54 seçilmiştir.
- Projeksiyon alanı - aerodinamik direnç kuvvetinin hesaplanması için kullanılır. Aracın projeksiyon alanı 7 m²'dir.
- Kargo kapasitesi - aracın toplam ağırlığına etkisinin ortaya çıkarılması için girilmiştir. Aynı zamanda bir deneysel tasarım parametresidir. Kargo nakliye aracı genel kullanımı gereği hacimsel olarak doldurulması hedeflenir. Tüm hacmin doldurulduğu varsayımıyla ortalama ağırlık olarak 5000 kg tanımlanmıştır. Bu şekilde araç kargo ile dolu haldeyken modelde 11700 kg ağırlığındadır.
- Ağırlık merkezi - tekerleklerin her birine gelen düşey yükün hesaplanması için kullanılır.

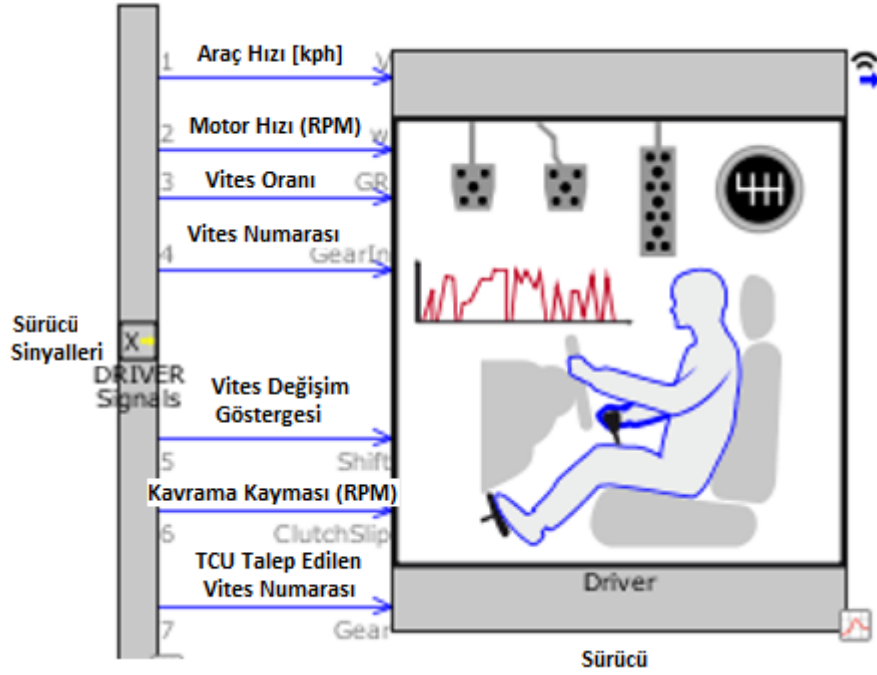
2.4.6 Lastik ve Tekerlekler



Şekil 2.16 Lastik ve tekerlek özelliklerinin simülasyon modeli genel gösterimi

- Yuvarlanma direnç katsayısı - yuvarlanma direncinin hesaplanması için düşey yüke ilave olarak girilen değerdir. Modelde 0,0049 olarak girilmiştir.
- Eylemsizlik momenti - aracın dinamik hesabının hassas yapılabilmesi için kullanılır. Her bir tekerlek için 1,5 kgm² olarak tanımlanmıştır.
- Lastik dinamik yarıçapı - aracın toplam çevrim oranı ve toplam tahrik kuvvetinin hesaplanması için sürüş anındaki yarıçapıdır. Genellikle, aracın statik halindeki yarıçapının %97'si olarak kullanılır.
- Lastik sayısı - toplam yuvarlanma direncinin doğru tespit edilebilmesi için gereklidir. Farklı lastiklere farklı yuvarlanma direnci katsayısı girilebilmesine olanak sağlar. Bu çalışmada örnek olarak her bir lastik için aynı yuvarlanma direnci katsayısı seçilmiştir ve bu değer 0.0055 kg/kg olarak girilmiştir.
- Fren özellikleri - aracın simülasyon esnasında yavaşlaması ve durması durumlarının doğru tespit edilebilmesi için fren kuvveti girilir.

2.4.7 Sürücü Elemanı

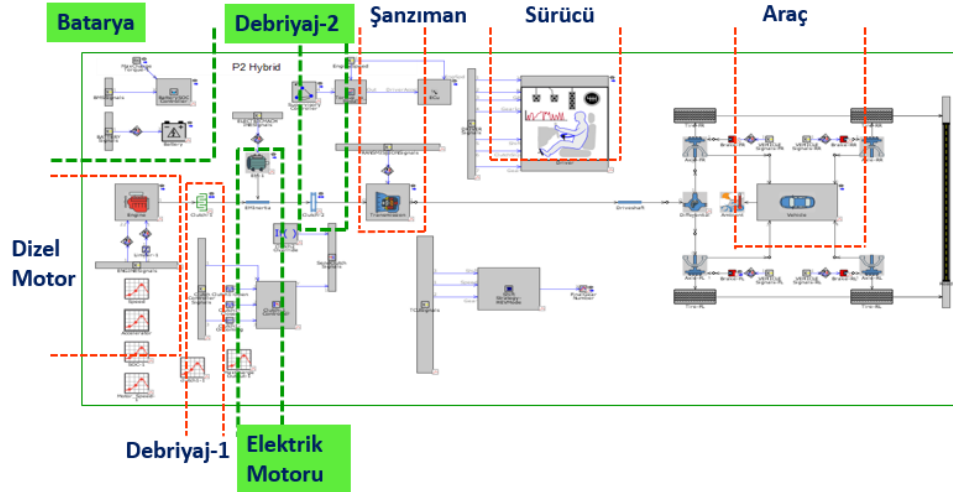


Şekil 2.17 Sürücü elemanının simülasyon modeli genel gösterimi

- Kontrol stratejisi - sürücü elemanı, sürüş çevriminde yer alan hedef hız-zaman profiline uyabilmek için gaz pedalını ve fren pedalını kullanır. Gaz pedalı ile aracın sürüş çevrimi esnasında, her bir zaman diliminde, ihtiyaç duyduğu tahrik gücünün karşılığı motordan temin edilmiş olur. Fren pedalı ile yavaşlama esnasında frene girilen kuvvet, aracın yavaşlaması ve durması gibi profilleri sağlamaktadır. Sürücü modeli aynı zamanda önceden belirlenen vites değiştirme stratejisine göre, kavrama ile motoru devre dışı bırakarak vites değiştirme görevini de gerçekleştirir. Bunun için sürücü modelinin içinde aracın hangi hızlarında bir üst vites, hangi hızlarında bir alt vites geçeceği tanımlanmıştır.

2.5 P2 Elektrik-Hibrit Araç Modeli

GT-Suite programı içinde kurulan P2 elektrik-hibrit kamyon modelinin tüm devre elemanlarının ve bu elemanların birbirleriyle olan bağlantılarının simülasyon görüntüsü Şekil 2.6'daki gibidir.



Şekil 2.18 P2 elektrik-hibrit kamyon - GT-Suite simülasyon modeli

Şekil 2.17’den anlaşılacağı üzere, dizel motorlu aracın mimarisine P2 elektrik-hibrit mimarisinde yer alan devre elemanları ilave edilerek bu aracın modeli kurulmuştur. P2 elektrik-hibrit kamyon modelinde elektrik motoru, ilave kavrama ve batarya bulunmaktadır. Bu sistemin en ayırt edici noktası hibrit sistemin kontrol stratejisidir. P2 elektrik – hibrit sisteminde yer alan ilave devre elemanlarının detayları aşağıdaki gibidir:

2.5.1 Elektrik motoru

Aracın tahrikine destek sağladığı gibi aynı zamanda tek başına tahrik elemanı olarak da kullanılabilir. Elektrik motorunun hibrit sistemlerindeki bir diğer fonksiyonu da jeneratör olarak kullanılabilmesidir.

Elektriksel özelliklerinden ziyade, sistem için doğrudan lazım olan mekanik özellikleriyle modellenmiştir. Elektrik motorunun çalışma modu, talep edilen torka bağlı olarak kontrol edilmektedir. Bu talep torkuna bağlı olarak gerekli olan mekanik güç ve dolayısıyla elektrik gücü simülasyon tarafından hesaplanmaktadır.



Şekil 2.19 Elektrik motoru devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi

Elektrik Motoru Verimlilik Haritası - Maksimum çalışma torku(+\ -400 Nm) ve maksimum çalışma hızı(+\ -6000 rpm) aralığı için tanımlanan verimlilik değerlerini(%) içermektedir.

Object Usage

- EMEffMap
- EMEffMap
- Objects
- EM

Attribute		Unit	Object Value
☒	Data aşağıda belirtilmiştir		
☐	Data harici bir dosyada belirtilmiştir		

Verimlilik		Tork		1	2	3
Z Data	Y Data					
Hız	XDat ⇒			-6000.0 ...	-5500.0 ...	-5000.0 ...
1	-400.0 ...			0.865 ...	0.869 ...	0.857 ...
2	-380.0 ...			0.865 ...	0.869 ...	0.857 ...
3	-360.0 ...			0.865 ...	0.869 ...	0.857 ...
4	-340.0 ...			0.865 ...	0.869 ...	0.857 ...
5	-320.0 ...			0.865 ...	0.869 ...	0.857 ...
6	-300.0 ...			0.864 ...	0.868 ...	0.857 ...
7	-280.0 ...			0.864 ...	0.868 ...	0.857 ...
8	-260.0 ...			0.864 ...	0.868 ...	0.857 ...
9	-240.0 ...			0.864 ...	0.868 ...	0.857 ...
10	-220.0 ...			0.864 ...	0.868 ...	0.857 ...

Şekil 2.20 Elektrik motoru verimlilik haritası temsili gösterimi

Elektrik Motoru Maksimum-Minimum Tork Haritası - Maksimum çalışma hızı(+\ -6000 rpm) aralığı için tanımlanan elektrik motorunun maksimum ve minimum tork değerlerini(Nm) içermektedir. Mutlak değeri aynı olan tork değerleri maksimum haritasında pozitif, minimum haritasında negatif versiyonlarıyla tanımlanmıştır.

Şaft Eylemsizlik Momenti – Elektrik motorunun bağlı olduğu şaftın döndürme eylemsizliği, sistemin nominal tahrik yükünün daha doğru hesabı için 0,05 kgm² olarak tanımlanmıştır.

Elektrik motoruna ait sürtünme ve termal özellikler modele tanımlanmamıştır.

2.5.2 Batarya



Şekil 2.21 Batarya devre elemanının simülasyon modeli genel gösterimi

Batarya modeli, kimyasal özelliklerinin ve iç elektrik devresinin detaylarına girilmeden, sisteme şarj seviyesine bağlı çalışacak şekilde entegre edilmiştir. Batarya şarj seviyesi baz alınarak oluşturulan batarya devre elemanı modeli şu girdilerle beslenmiştir:

Batarya başlangıç şarj seviyesi - 0-1 arasında bir değer olarak tanımlanmıştır. Aracın ilk çalışma anındaki batarya şarj seviyesidir.

Batarya yükü - Güce bağlı bir değişken olarak modele tanımlanmıştır. Bataryadan alınmak istenen veya bataryaya gönderilmek istenen enerji, talep edilen güce bağlı olarak ayarlanmaktadır. Pozitif değerler bataryayı deşarj ederken, negatif güç değerleri bataryayı şarj etmektedir.

Şarj durumu için açık devre voltajı haritası - Şarj durumu için batarya sıcaklığına(K) ve batarya şarj seviyesine(%) bağlı voltaj değerlerini içermektedir.

Deşarj durumu için açık devre voltajı haritası - Deşarj durumu için batarya sıcaklığına(K) ve batarya şarj seviyesine(%) bağlı voltaj değerlerini içermektedir.

Şarj durumu için devre iç direnç haritası - Şarj durumu için batarya sıcaklığına(K) ve batarya şarj seviyesine(%) bağlı iç direnç değerlerini içermektedir.

Deşarj durumu için devre iç direnç haritası - Deşarj durumu için batarya sıcaklığına(K) ve batarya şarj seviyesine(%) bağlı iç direnç değerlerini içermektedir.

Voltaj ve iç direnç haritaları aynı sıcaklık ve aynı batarya şarj seviyeleri için tanımlanan değerlerle oluşturulduklarından dolayı birbirlerine denk düşmektedirler.

Batarya Şarj Seviyesi	Voltaj		Sıcaklık [K]		1	2	3	4
	Z Data	Y Data ↓						
	XDat ⇒				0.0 ...	0.1 ...	0.2 ...	0.3 ...
1		275.0 ...			202.0 ...	209.38 ...	213.47 ...	216.27 ...
2		300.0 ...			202.0 ...	209.38 ...	213.47 ...	216.27 ...
3		350.0 ...			202.0 ...	209.38 ...	213.47 ...	216.27 ...
4		400.0 ...			202.0 ...	209.38 ...	213.47 ...	216.27 ...

Batarya Şarj Seviyesi	İç Direnç		Sıcaklık [K]		1	2	3	4
	Z Data	Y Data ↓						
	XDat ⇒				0.0 ...	0.1 ...	0.2 ...	0.3 ...
1		275.0 ...			0.7 ...	0.623 ...	0.477 ...	0.404 ...
2		300.0 ...			0.7 ...	0.623 ...	0.477 ...	0.404 ...
3		350.0 ...			0.7 ...	0.623 ...	0.477 ...	0.404 ...

Şekil 2.22 Batarya voltaj ve iç direnç haritaları – sıcaklıktan bağımsız olan değerlerin simülasyon modeli temsili gösterimi

Batarya kapasitesi - Batarya paketinin %100 yani tam batarya şarj seviyesindeki Ah cinsinden kapasitesidir.

Modelde batarya şarj seviyesi elektrik motorundan araca çekilen veya jeneratörden bataryaya verilen güce bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Batarya sıcaklığı, bataryanın ve dolayısıyla aracın genel performansını etkileyen bir değişken olmasına rağmen, bataryanın sıcaklık haritasına dair bilgi olmadığından modele sabit bir değer olarak, hesabı etkilemeyecek şekilde, 300 K şeklinde tanımlanmıştır. Bu nedenle batarya sürüş boyunca tanımlanan voltaj ve iç direnç haritalarındaki aynı sıcaklık bölgesindeki değerlerle çalışmaktadır.

Batarya şarj seviyesi kontrolörü - batarya şarj seviyesi her zaman adımında bir PID-kontrolör aracılığıyla sinyallerdeki hata oranı azaltılarak kalibre edilmektedir. Kontrolör bataryadan şarj seviyesi sinyalini, araçtan sürüş torku sinyalini almaktadır.

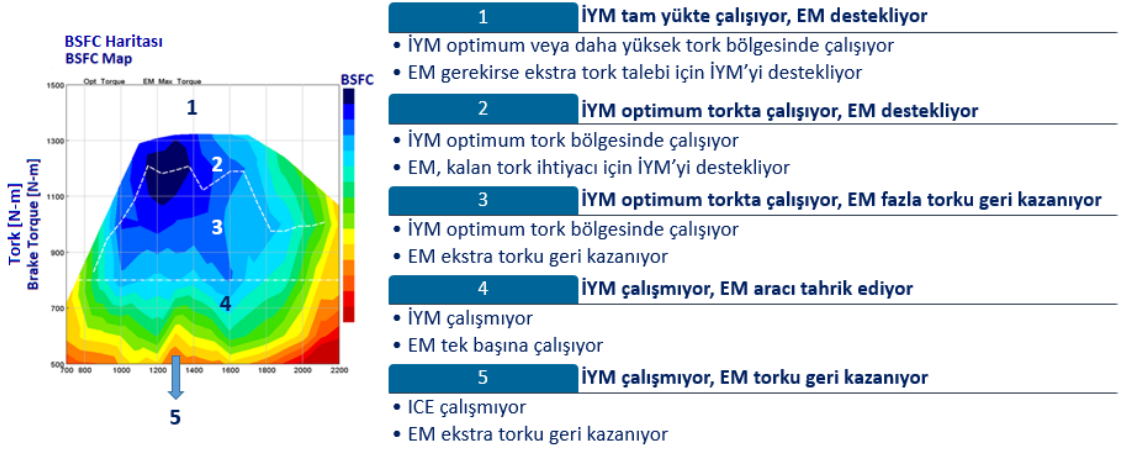
Batarya paketinin ağırlığı çalışmada ihmal edilmiştir.

- İlave kavrama - içten yanmalı motor ve elektrik motorunun ayrılması ve birbirine bağlanması durumlarında kullanılır.

2.6 P2 Elektrik-Hibrit Araç Modeli Kontrol Stratejisi

Elektrik-hibrit güç aktarımı sisteminden performans ve yakıt ekonomisi anlamında maksimum faydalanabilmek için dizel ve elektrik sistemlerinin bir arada uyum içinde çalışmasını sağlayacak bir kontrol sistemi kurulması gerekmektedir. Bu anlamda odaklanılması gereken kısım öncelikli olarak dizel motorun yakıt tüketim haritasının bölgelere ayrılmasıdır. Dizel motorunun farklı hız ve yük bölgelerinde farklı verimlilik değerleri mevcuttur. Hibrit altyapısının dizel motorlu güç aktarım sistemine entegre edildiği durumda, dizel motorunun en verimli bölgelerinin daha sık kullanılması, yakıt ekonomisi açısından avantaj sağlayacaktır. Aynı şekilde, elektrik motoru ve batarya enerjisinden gelen güç, dizel motorun kapasitesinin üzerine eklendiğinde aracın toplam performansının iyileştiği bir çalışma stratejisi de ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca, dizel motorun yüksüz olduğu yavaşlama ve frenleme durumlarında ortaya çıkan negatif enerji -ki bu enerji frenleme esnasında frenlerde ısı olarak çevreye atılmaktadır- elektrik motorunun jeneratör olarak kullanılmasıyla geri kazanılarak bataryayı doldurmak için kullanılır. Çok düşük yüklü kullanım koşullarında ise dizel motoru tamamen kapatılarak sadece elektrik motorunun tahrikiyle araç yoluna devam edebilmektedir. Bu sayede yakıt hiç kullanılmaz ve yakıt ekonomisi en üst seviyeye çıkarılabilir.

Şekil 2.22’de bir dizel motorunun Y ekseninin yük, X ekseninin motor hızı ve Z ekseninin dizel motor verimliliği olarak gösterildiği resimde, yukarıda bahsedilen özellikler bölümler halinde açıklanmıştır. P2 elektrik-hibrit kamyon için, dizel motorun yakıt haritası üzerinde 5 temel çalışma bölgesi tanımlanmıştır:



Şekil 2.23 P2 elektrik-hibrit kamyon dizel motorun verimlilik haritası üzerinde 5 temel hibrit çalışma bölgesinin gösterimi

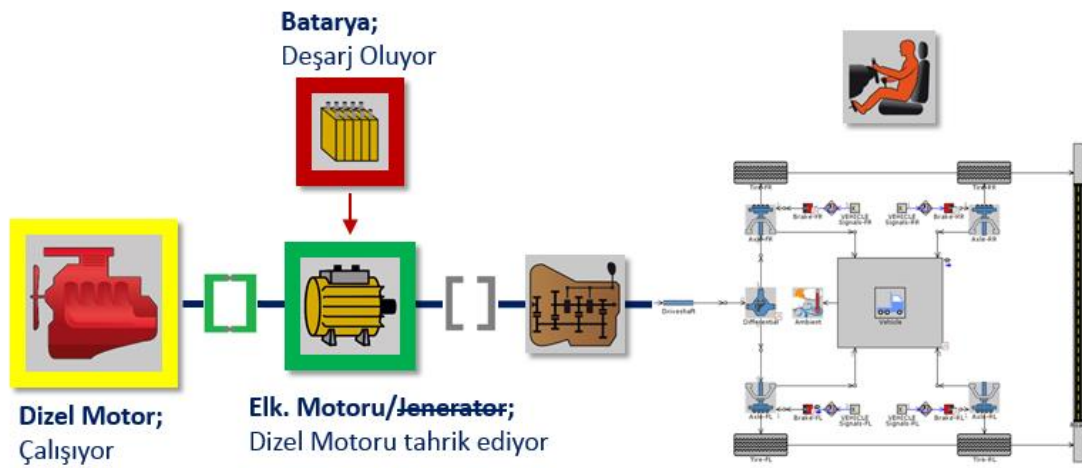
- 1 numaralı bölgede, elektrik motoru dizel motora destek olmakta ve sistemin toplam kapasitesi artabilmektedir.
- 2 numaralı bölgede, dizel motoru en iyi verimliliğin olduğu yerde çalıştırılmakta ve kalan tork gereksinimi elektrik motoruyla sağlanmaktadır.
- 3 numaralı bölgede, dizel motoru yine en iyi bölgede çalıştırılmakta; ve bu esnada elektrik motoru fazla kalan tork ile bataryayı şarj etmektedir.
- 4 numaralı bölge, elektrik motorunun tam kapasitesinin altında olduğu için; bu bölgede sadece elektrik motoru aracı tahrik edebilir.
- 5 numaralı bölge, frenlemenin yapıldığı ya da talep edilen torkun negatif olduğu bölgedir. Bu noktada fren enerjisi ya da yavaşlama enerjisi geri dönüştürülerek batarya şarj edilmektedir.

GT-Suite modelleme altyapısı kullanılarak kurulan P2 elektrik-hibrit araç modelinin kontrol stratejisi, dizel motorun verimlilik haritası üzerinde belirlenen 5 ana bölgeden yola çıkılarak, temel çalışma modlarından oluşturulmuştur. Sürüş çevriminin sürücü elemanı yardımıyla simüle edildiği çalışmada, aracın bu hibrit çalışma modları arasında geçişler yaptığı bilinmektedir. P2 elektrik-hibrit kontrol stratejisinin bir diğer önemli ayağı ise modlar arası bu geçişlerin nasıl tanımlandığıdır. Öyle ki, optimize edilmiş bir geçiş stratejisiyle bataryanın, elektrik motorunun ve dizel motorun performansı en iyi şekilde kullanılarak o sürüş çevrimi için en iyi yakıt ekonomisi ortaya çıkarılabilir. Bu çalışmada kontrol stratejisi mümkün olduğu kadar iyi kurulmuştur. Ancak, hala daha

iyileştirme potansiyelinin de olduğu söylenmelidir. Şekil 2.22’de yer alan çalışma modları aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

2.6.1 Mod 1: Dizel motorunu rölantide çalıştırma

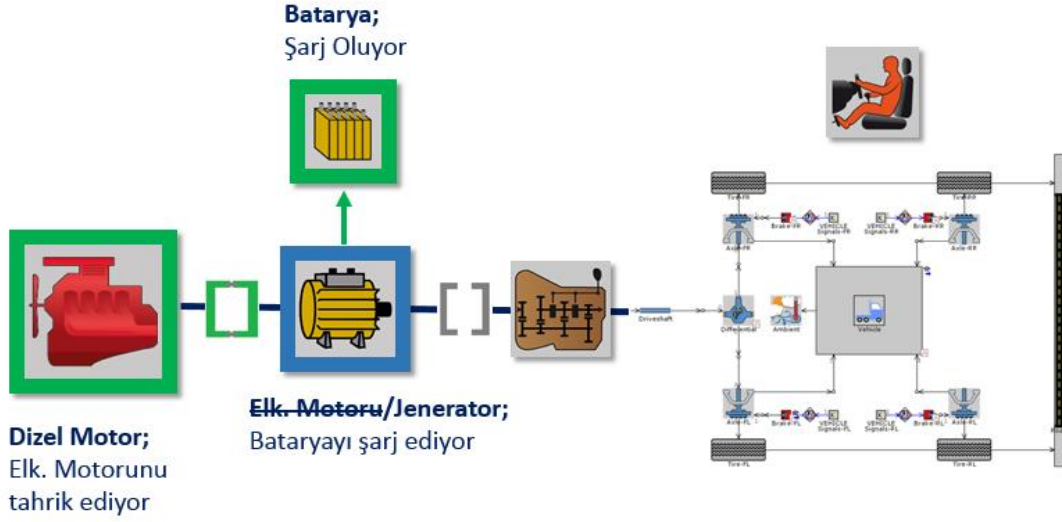
Bu modda elektrik motoru dizel motorunu çalışır duruma getirir. Elektrik motoruyla dizel motoru arasında yer alan Kavrama-1 kapalı(güç aktarır) durumdadır. Dizel motorunun çalıştırılması için ihtiyaç duyulan tork(kabaca 100Nm) marş motoru vazifesi gören elektrik motorundan sağlanır. Gücü tekerleklere aktaran Kavrama-2 ise açık(güç aktarmaz) durumdadır. Araç hareket etmez.



Şekil 2.24 P2 elektrik-hibrit kamyon dizel motorunu rölantide çalıştırma modu gösterimi

2.6.2 Mod 2: Rölantide bataryayı dizel motoruyla şarj etme

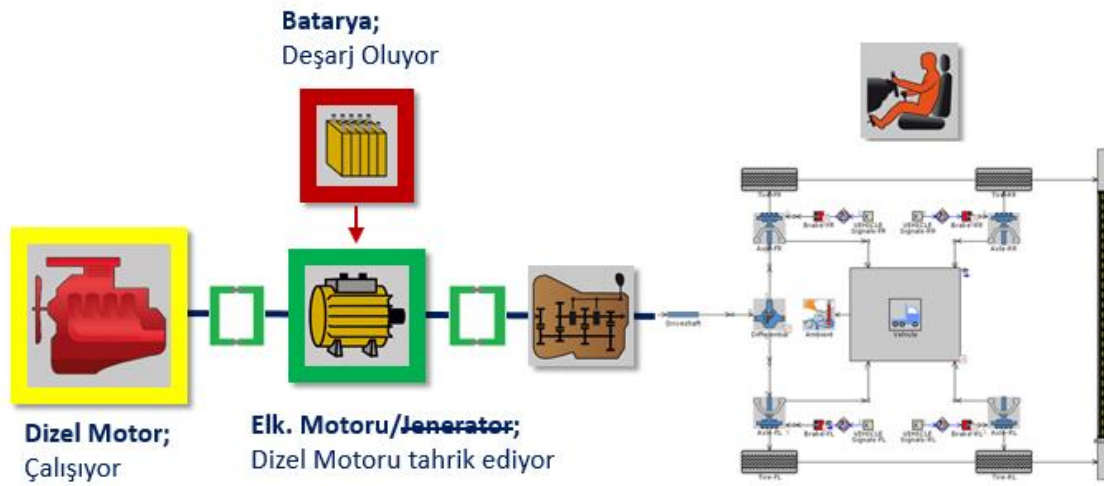
Bu modda dizel motoru, jeneratör olarak vazife gören elektrik motorunu tahrik eder. Dolayısıyla, dizel motoru ve elektrik motoru arasında yer alan kavrama-1 kapalı(güç aktarır) durumdadır. Bataryayı şarj etmek için gereken tork dizel motoru tarafından sağlanır. Tekerleklere güç aktaran kavrama-2 ise açık(güç aktarmaz) durumdadır. Araç hareket etmez.



Şekil 2.25 P2 elektrik-hibrit kamyon rölantide bataryayı dizel motoruyla şarj etme modu

2.6.3 Mod 3: Kapalı konumda olan dizel motorunun araç hareket halindeyken çalıştırılması

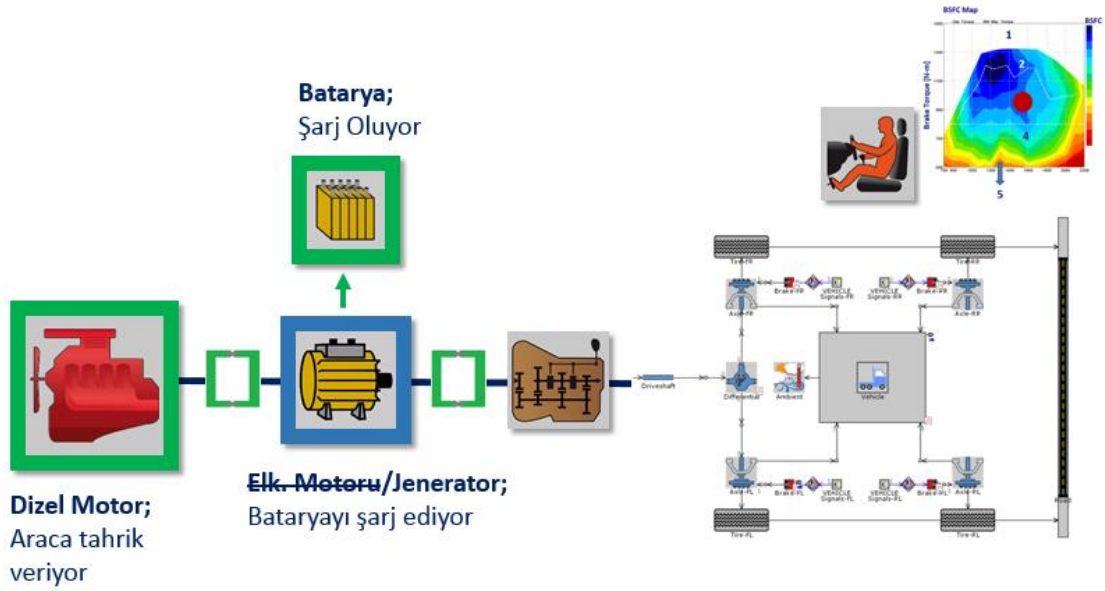
Bu modda araç hareket halindeyken ve sadece elektrik motoruyla tahrik ediliyorken kapalı halde olan dizel motoru çalışır hale getirilir. Dizel motorun iç sürtünmelerini yenecek kadar gerekli tork miktarı elektrik motorundan karşılanır. Elektrik motoru aynı zamanda aracın sürülmesi için gerekli torku da sağlamaktadır. Kavrama-1 ve kavrama-2 güç aktarır durumdadır. Araç hareket halindedir.



Şekil 2.26 P2 elektrik-hibrit kamyon kapalı konumda olan dizel motorunun araç hareket halindeyken çalıştırılması modu

2.6.4 Mod 4: Normal sürüş hibrit modu

Bu modda dizel motor hem aracı sürmekte hem de bataryanın şarj olması için gerekli elektrik enerjisini jeneratör yardımıyla ürettirmektedir. Dizel motoru normal sürüş için gerekli yük, eğer en verimli olduğu yük noktasından daha düşüğe, dizel motoru en verimli olduğu yük bölgesinde çalıştırılır. Böylelikle, sürüş için gerekenden fazla motor yükü jeneratör üzerinden elektrik enerjisi olarak bataryaya aktarılır ve batarya şarj edilir. Kavrama-1 ve kavrama-2 güç aktarır pozisyonundadır. Şekil 2.26'da şematik olarak gösterilen bu çalışma modu, Şekil 2.22'de bölümlere ayrılmış dizel verimlilik haritasındaki 3 numaralı çalışma bölgesine karşılık gelmektedir.

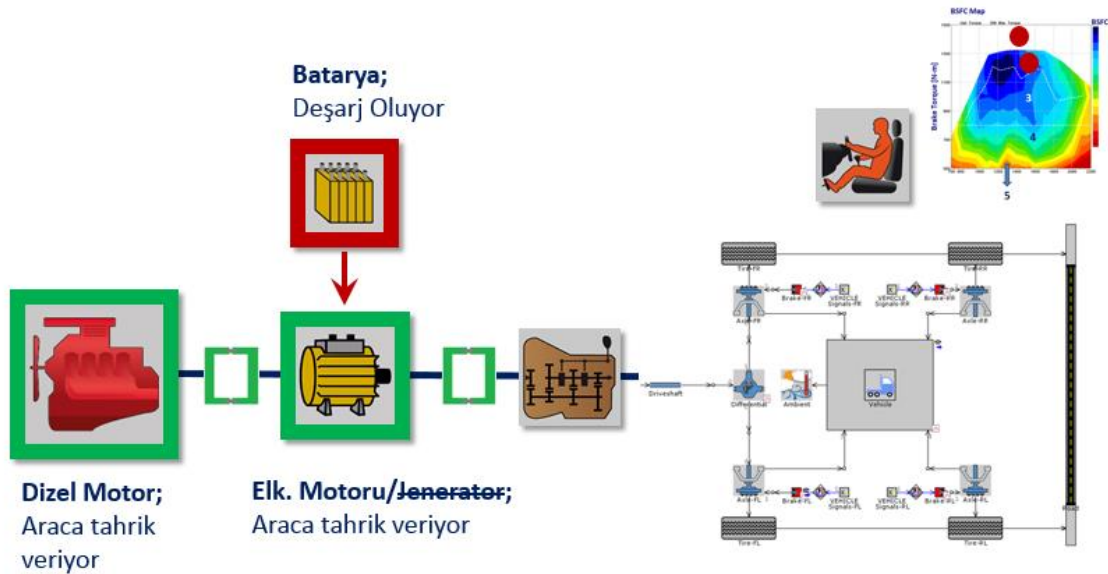


Şekil 2.27 P2 elektrik-hibrit kamyon normal sürüş hibrit modu

2.6.5 Mod 5: Tork destek modu

Eğer sürüş için gerekli tork(yük) dizel motorunun en verimli olduğu torktan fazlaysa sistem bu modda çalıştırılır. Dizel motoru yine en verimli olduğu yükte çalıştırılır. Elektrik motoru ise kalan tork miktarını karşılar. Elektrik motoru bataryadan güç çeker, batarya deşarj olur. Kavrama-1 ve kavrama-2 güç aktarır pozisyonundadır. Bu mod aynı zamanda dizel motorunun maksimum kapasitesinin üstünde bir sürüş torkunun ihtiyaç olduğu durumlarda da kullanılabilir. Böylelikle aracın maksimum performansı artırılmış olur. Örnek olarak sürüşte yokuş tırmanma ve hızlanma kabiliyetinin artması istendiğinde, modellenen hibrit sisteminin bu moda geçmesi gerekecektir. Şekil 2.27'de bu çalışma

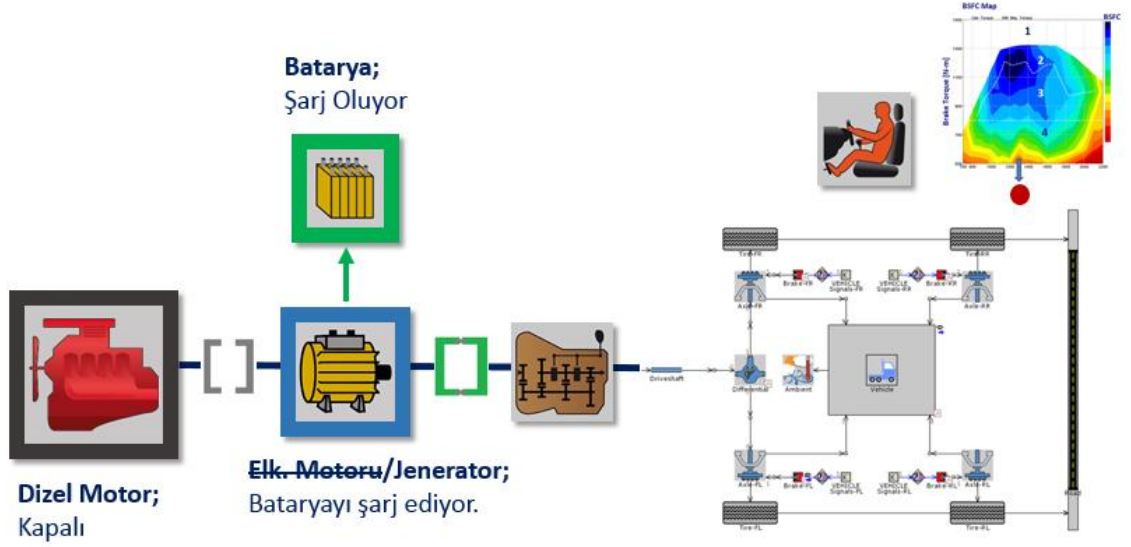
modu şematik olarak gösterilmiştir. Bu mod, Şekil 2.22’de gösterilen dizel verimlilik haritasında, çalışma bölgelerinden 1 ve 2’ye karşılık gelmektedir.



Şekil 2.28 P2 elektrik-hibrit kamyon tork destek modu

2.6.6 Mod 6: Fren enerjisi geri kazanımı (rejeneratif frenleme)

Motor yükünün negatif olduğu, yokuş iniş ve/veya frenleme koşullarında normalde frenlerde ısı olarak atılan enerjinin bir kısmı geri kazanılarak bataryayı şarj etmek için kullanılabilir. Dizel motoru kapalı konumdadır. Elektrik motoru jeneratör olarak görev yapar. Kavrama-1 açık(güç aktarmaz) durumdadır. Kavrama-2 kapalıdır, güç aktarır ve araç jeneratörü tahrik eder. Böylelikle, yavaşlama ve/veya iniş eğiminde hedef hızda kalma gibi çalışma durumlarında aracın sahip olduğu momentum jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine çevrilerek batarya şarj edilir. Şekil 2.28’de şematik olarak gösterilen bu mod, Şekil 2.22’deki dizel verimlilik haritasında, çalışma bölgelerinden 5’e karşılık gelmektedir.



Şekil 2.29 P2 elektrik-hibrit kamyon rejeneratif frenleme modu

2.6.7 Mod 7: Vites değiştirme

Aracın bir sürüş çevriminde sürülmesi esnasında farklı vitesleri kullanması gerekmektedir. Vites geçişleri, kavrama-2'nin açık(güç aktarmaz) olduğu durumlarda gerçekleştirilir. Elektrik-hibrit sisteminin etkilendiği bir çalışma modu olmasa da kavrama-2'nin kullanılmasını gerektirdiği için kontrol stratejisinde ayrı bir mod olarak tanımlanması gerekmektedir. Dizel motoru çalışmaz, elektrik motoru dizel motorunun iç sürtünmelerini yenecek kadar enerji üretir, kavrama-1 kapalı durumdadır. Bu mod aynı zamanda kavrama-1'in de açık hale getirildiği ve dizel motorun rölantide çalıştırıldığı şekilde de tarif edilebilir. Bunun dezavantajı vites geçişi esnasında dizel motorun rölantide yakıt harcamasıdır. Diğer türlü de elektrik motorunun dizel motorun sürtünmeleri kadar elektrik enerjisi tüketmesi gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen, simülasyon modeline tanımlanmış her bir hibrit çalışma modunun çalışma kriterlerinin ana hatları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 P2 elektrik-hibrit araç modeli kontrol stratejisi çalışma modları kriterleri

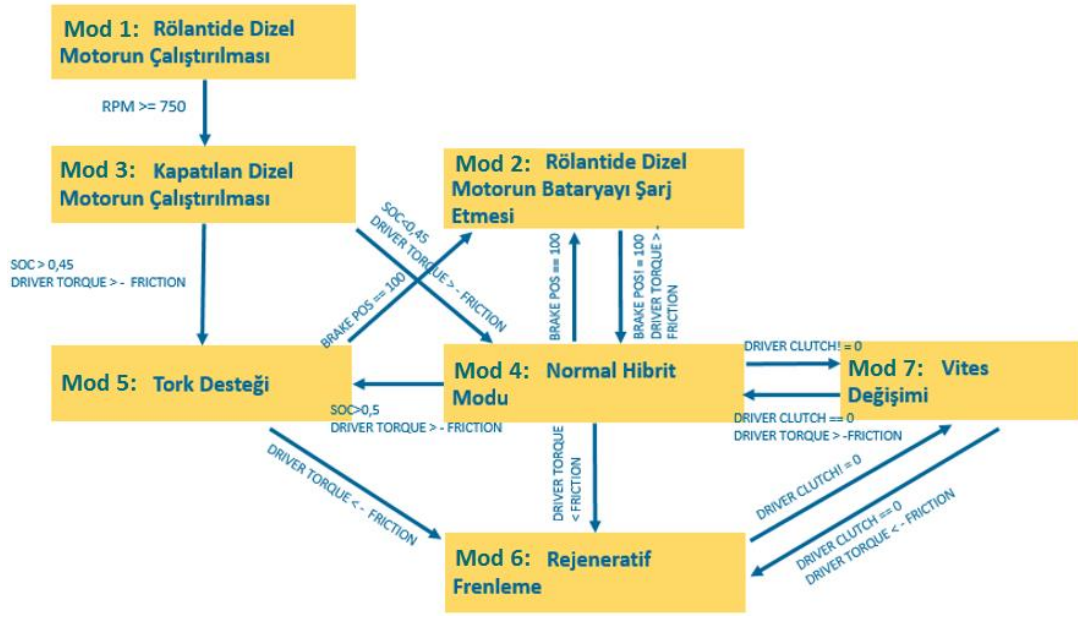
#	Hibrit Çalışma Modu Tanımları	Dizel Motor	EM'den Tork Talebi	Dizel Motordan Tork Talebi	Kavrama1	Kavrama2
1	Dizel motora marş verilip rölantide çalıştırılması	Çalışıyor	100	0	Kapalı(güç aktarıyor)	100-açık(güç aktarmıyor)
2	Rölantide dizel motorun bataryayı şarj etmesi	Çalışıyor	-500	500	Kapalı(güç aktarıyor)	100-açık(güç aktarmıyor)
3	Dizel motorun yeniden çalışır hale getirilmesi	Çalışıyor	Sürücünün tork talebi + Dizel motor sürtünme torku	0	Devreye giriyor(güç aktarmak üzere)	0-kapalı(güç aktarıyor)
4	Normal sürüş hibrit modu	Çalışıyor	-BMS şarj torku talebi	Sürücünün tork talebi + BMS şarj torku talebi	Kapalı(güç aktarıyor)	Sürücü Kavrama Pedalı Pozisyonu(güç aktarıyor)
5	Tork destek hibrit modu	Çalışıyor	min(Sürücünün tork talebi, 0,5*maksimum EM torku)	Sürücünün tork talebi - min(Sürücünün tork talebi, 0,5*maksimum EM torku)	Kapalı(güç aktarıyor)	Sürücü- Kavrama Pedalı Pozisyonu(güç aktarıyor)
6	Rejeneratif frenleme	Çalışmıyor	Sürücünün tork talebi + Dizel motor sürtünme torku	0	Açık(güç aktarmıyor)	Sürücü- Kavrama Pedalı Pozisyonu(güç aktarıyor)
7	Vites geçişleri ve boşa alma	Çalışmıyor	Dizel motor sürtünme torku	0	Kapalı(güç aktarıyor)	Sürücü- Kavrama Pedalı Pozisyonu(güç aktarmıyor)

Çizelge 2.2’de ise açıklanan P2 elektrik-hibrit çalışma modlarının birbirleri arasında geçişleri, ilk moddan ikinci moda geçiş şartlarıyla birlikte tanımlanmıştır. Bu geçiş şartları motor hızına, bataryanın şarj seviyesine, kavrama ve fren pedal pozisyonlarına ve sürücünün tork talebine bağlıdır. Dizel motor 750 RPM ve daha düşük hızlarda rölantide

alışmaktadır. Bataryanın %45 şarj seviyesi altına dışmesi tercih edilmemekte, dolayısıyla bu tip durumlarda şarj edilmesi gerekmektedir. Dizel motorun aracı tahrik edebilmesi için sđrđcđnđn tork talebinin, yani aracı istenen anlık hıza ulaştırmak için gerekli torkun, dizel motorun iç sđrtđnmelerinden kaynaklı torktan bđyđk olması gerekmektedir. Rejeneratif frenlemelerde, sđrđcđnđn tork talebi dizel motorun sđrtđnme torkundan kđđktđr. Bđylece frenleme veya yokuş aşağı sđrđřlerde dizel motorun çalışmaması(kapanması), gelen negatif yđnlđ torkun elektrik motoru aracılığıyla bataryada enerji olarak depolanması planlanmıştır. Genel anlamda sade bir yaklaşımla oluşturulan bu geçiş şartlarının farklı sđrđř profillerine gđre yeniden daha farklı, ve belki daha detaylı kalibre edilmesiyle sistemin yakıt ekonomisi veya performansı optimize edilebilir.

Çizelge 2.2 P2 elektrik-hibrit araç modeli kontrol stratejisinde çalışma modları arası geçişler

Mod Geçişi	Çalışma Modu Geçişi Tanımı	Başlangıç Modundan Bitiş Moduna Geçiş Şartı
1 3	Dizel motor rölantideyken araca tek başına tahrik verecek şekilde çalışır hale getirilmesidir.	$RPM \geq 750$
3 5	Dizel motor aracı tek başına tahrik ederken, EM'den tork desteği almaya başlamaktadır.	$SOC > 0,45$ & Sürücünün tork talebi > -Dizel motor sürtünme torku
3 4	Dizel motor aracı tek başına tahrik ederken ürettiği torkun talepten fazla olması sonucu EM'in fazla tork ile bataryayı şarj etmesidir.	$SOC < 0,45$ & Sürücünün tork talebi > -Dizel motor sürtünme torku
4 5	Dizel motor aracı tahrik ederken ve ve EM fazla tork ile bataryayı şarj ediyorken, dizel motorun EM'den tahrik desteği almaya başlamasıdır.	$SOC > 0,5$ & Sürücünün tork talebi > -Dizel motor sürtünme torku
4 7	Dizel motor aracı tahrik ediyor ve EM fazla tork ile bataryayı şarj ediyorken, vites değiştirmeye geçiştir.	Sürücü debriyaj pedalı konumu $\neq 0$ (basılı)
6 7	Dizel motor kapalı ve EM bataryayı şarj ederken(rejeneratif frenleme), vites değiştirmeye geçiştir.	Sürücü debriyaj pedalı konumu $\neq 0$ (basılı)
4 6	Dizel motor aracı tahrik ediyor ve EM fazla tork ile bataryayı şarj ediyorken, rejeneratif frenleme moduna geçilir. Böylece dizel motor çalışmayı durdurur, EM(jeneratör) gelen negatif yönlü tork ile bataryayı şarj eder.	Sürücünün tork talebi < -Dizel motor sürtünme torku
5 6	Dizel motor ile EM aracı birlikte tahrik ediyorken, rejeneratif frenleme moduna geçilir. Böylece dizel motor çalışmayı durdurur, EM(jeneratör) gelen negatif yönlü tork ile bataryayı şarj eder.	Sürücünün tork talebi < -Dizel motor sürtünme torku
5 2	Dizel motor ile EM aracı birlikte tahrik ediyorken, dizel motorun rölantide çalışarak bataryayı şarj etmeye başlamasıdır.	Fren pedalı pozisyonu = 100
4 2	Dizel motor aracı tahrik ediyor ve EM fazla tork ile bataryayı şarj ediyorken, dizel motorun rölantide çalışarak bataryayı şarj etmeye başlamasıdır.	Fren pedalı pozisyonu = 100
7 6	Vites değişimi sonrasında, rejeneratif frenleme moduna geçilir.	Sürücü debriyaj pedalı konumu = 0 (basılı değil) & Sürücünün tork talebi < -Dizel motor sürtünme torku
7 4	Vites değişimi sonrasında, dizel motor ve EM'nin aracı beraber tahrik ettiği normal sürüş hibrit moduna geçilir.	Sürücü debriyaj pedalı konumu = 0 (basılı değil) & Sürücünün tork talebi > -Dizel motor sürtünme torku
2 4	Dizel motorun rölantide çalışarak bataryayı şarj etmesi sonrası, dizel motor ve EM'nin aracı beraber tahrik ettiği normal sürüş hibrit moduna geçilir.	Fren pedalı pozisyonu $\neq 100$ & Sürücünün tork talebi > -Dizel motor sürtünme torku
7 2	Vites değişimi sonrası, rölantide dizel motor bataryayı şarj eder.	Fren pedalı pozisyonu = 100 & $RPM < 750$ & Araç Hızı(kph) < 2



Şekil 2.30 P2 elektrik-hibrit kamyon çalışma modları arası geçiş stratejisi şematik gösterimi

Çizelge 2.2’de gösterilen P2 elektrik-hibrit çalışma modlarının birbirleri arasında geçişleri daha anlaşılır bir gösterim olması açısından Şekil 2.29’da şematik olarak gösterilmiştir. Bu gösterimde mod geçiş şartları simülasyon üzerinde tanımlandığı şekliyle gösterilmiştir. Bu İngilizce simülasyon kısaltmalarının anlaşılır halleri Çizelge 2.2’de “Başlangıç Modundan Bitiş Moduna Geçiş Şartı” başlıklı kolonda bulunmaktadır. Şekil 2.29’da vurgulanmak istenen, herhangi bir çalışma modundan bir diğer çalışma moduna geçişin mutlaka tersinir olmadığıdır. Örneğin Mod1’den Mod3’e geçiş olmakta, fakat Mod3’ten Mod1’e geçiş olmamaktadır. P2 elektrik-hibrit sistemi genel çalışma prensibi düşünülerek, modlar arası bir geçişler stratejisi oluşturulmuştur. Bu strateji farklı çalışmalarla çok daha detaylı hale getirilip büyütülebilir. Bu çalışmada genel hatlarıyla tanımlanmış sade ve gelişmeye açık bir modlar arası geçiş stratejisi oluşturulmuştur.

SİMÜLASYON VE ANALİZ

3.1 Duyarlılık Analizi

Çalışma modları ve bu modların arasındaki geçişlerin tanımlandığı P2 elektrik-hibrit simülasyon modelinin sınırlarının belirlenebilmesi için sistemin toplam yakıt ekonomisi kazancını etkileyen bazı parametrelerine duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu kapsamda belirlenen parametrelerden birinin değişiminin yakıt ekonomisine etkisi, diğer parametreler sabit tutularak incelenmiştir. Duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre sistemin aslında farklı özelliklerle konfigüre edilmesine göre ya da farklı kalibre edilmesine göre kazancın hangi mertebelere ulaşabileceği görülmüştür.

3.2 Duyarlılık Analizi Parametreleri

Standart dizel motorlu kamyonun referans alınarak yakıt tüketimi değerleriyle karşılaştırmak üzere, P2 elektrik-hibrit altyapısının kurulduğu sistemde bir deneysel tasarım çerçevesinde yakıt tüketimi analizleri gerçekleştirilmiştir. VECTO şehir içi nakliye (“urban delivery”) sürüş çevriminde gerçekleştirilen bu analizlerde aşağıdaki parametreler denenmiştir. Bu çalışmada incelenen P2 elektrik-hibrit sistemi priz yardımıyla şehir şebekesinden şarj edilebilir değildir. Bu sebepten dolayı araç çalışma gününe bir önceki günden kalan batarya şarj seviyesi ile başlamak durumundadır.

- **Araç Ağırlığı:** Şehir içi nakliye işleri yapan ağır ticari araçlar için, simülasyonlarda kullanılmak üzere boş ağırlık olarak 6700 kg seçilmiştir. Bu tip araçların gün içinde taşıdıkları yükler ağırlık ve hacim olarak çok değişkenlik göstermektedir. Yine de bu simülasyon çalışmasında, aracın yüklü halini temsil etmek için kabaca 5000 kg ilave yük ile aracın toplam ağırlığı 11700 kg olarak seçilmiştir. Bu varsayımın temelinde

bu tip araçların maksimum ağırlıkları olan 16-18 ton yükleme koşuluna göre daha ziyade hacimsel kapasitesinin doldurulduğu bilgisi yer almaktadır. Bu nedenle de ağırlık limitinden çok daha aşağıda yükleme koşullarıyla kullanıldığı varsayımı yapılmıştır. Böylelikle simülasyon deneysel tasarımda 6700 kg ve 11700 kg olmak üzere 2 farklı araç ağırlığı denenmiştir.

- **Batarya Kapasitesi:** Batarya kapasitesi en temel anlamıyla elektrik-hibrit araç mimarisinde elektrik enerjisinin kapasitesini temsil etmektedir. Bu da yakıtın hiç kullanılmadığı sürüş modlarında ihtiyaç duyulan enerjinin tek kaynağı olarak önem arz etmektedir. Farklı batarya tipleri ve kapasiteleri hibrit-elektrik araç mimarisinde kullanılabilir. Batarya kapasitesinin artması depolama kapasitesinin artması anlamına geleceği gibi araca entegre edilecek bu bataryanın ağırlığının ve ebatlarının da artacağı anlamına gelmektedir. Bu çalışmada seçilen batarya kapasiteleri için ağırlık ve ebat sınırlandırmaları gözardı edilmiştir. Batarya kapasitelerinin sürüş profilleri ya da sürüş çevrimlerine göre konfigüre edilmesi yakıt ekonomisi optimizasyonu için gereklidir. Bu çalışmada 32 Ah, 48 Ah ve 64 Ah olmak üzere 3 farklı batarya kapasitesi denenmiş ve yakıt ekonomisi üzerine etkileri standart dizel motorun yakıt tüketimiyle karşılaştırılarak incelenmiştir.
- **Batarya Başlangıç Şarj Seviyesi:** P2 elektrik-hibrit mimarisine sahip olan araçlar gün boy kullanımdan sonra bir batarya şarj seviyesinde günü tamamlar ve şehir şebekesinden şarj edilebilir varsayımı olmadığı için bir sonraki iş gününe kalan şarj seviyesi ile başlamak durumundadır. Analizlerde farklı başlangıç şarj seviyeleri denenmiştir. Bir sonraki güne şarj seviyesinin kaldığı yerden devam etmesini bir anlamda temsil edebilmek için simülasyon çevrimi sonunda gelinen şarj seviyesi başlangıçtaki şarj seviyesine geri getirilmiştir. Simülasyon modeli, çevrim süresi sonundaki şarj seviyesini, Mod 2 (rölantide şarj) üzerinden başlangıç şarj seviyesine getirmek için dizel motorundan rölantide enerji/yakıt harcar. Böylelikle dizel motoruyla daha adil bir yakıt ekonomisi karşılaştırması yapılmış olur. Bu çalışmada başlangıç şarj seviyeleri yüzde olarak; 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40 seçilmiştir.

3.3 Simülasyon Deneysel Tasarımı

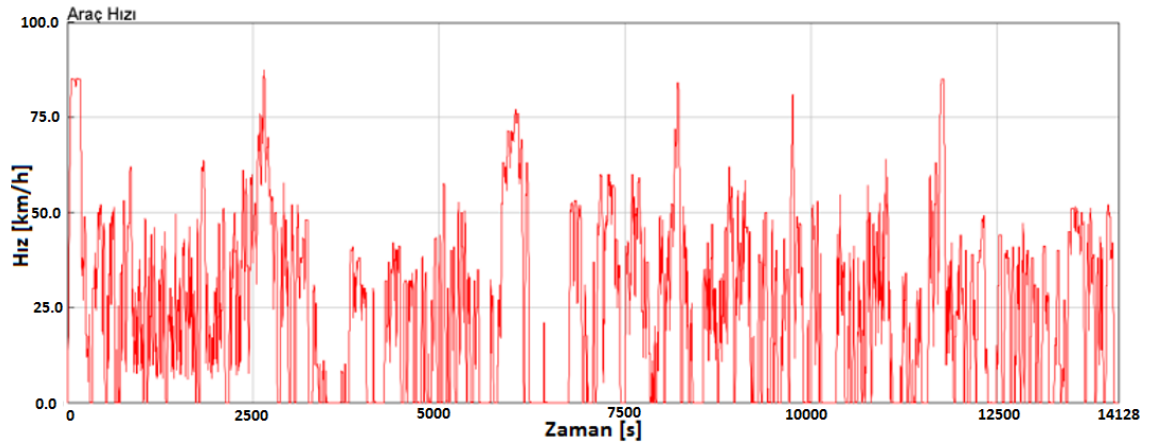
Bu çerçevede aracın iki ağırlık durumu için de üç batarya kapasitesi senaryosu ve yedi farklı batarya başlangıç şarj seviyesi ile yakıt ekonomisi kazançlarının analiz edileceği bir plan oluşturulmuştur. Toplamda 42 farklı senaryo için analizler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen deney seti ve analiz girdileri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 P2 elektrik-hibrit araç simülasyon modeli deneysel tasarım girdileri

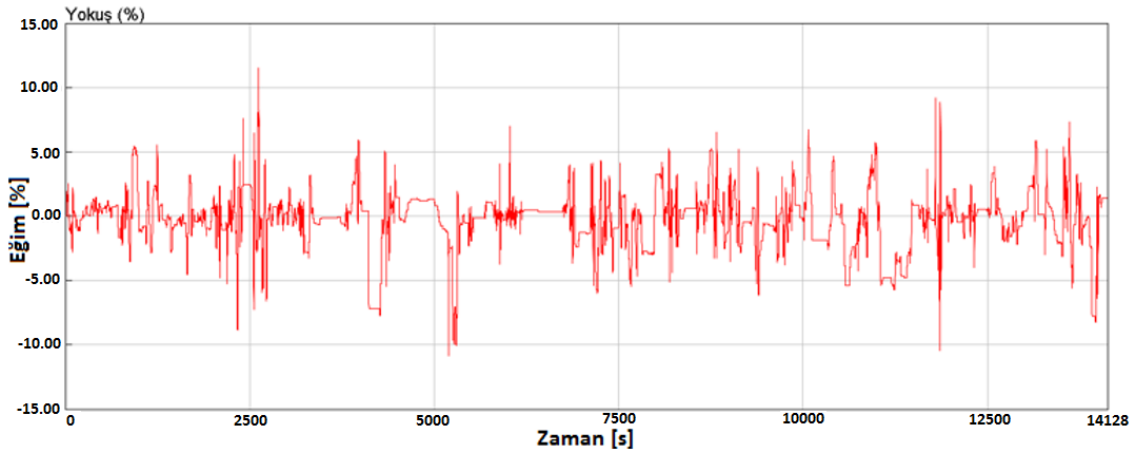
Sürüş Çevrimi	VECTO Urban Delivery					
Araç Ağırlığı (kg)	6700 (Yüksüz)			11700 (Yüklü)		
Batarya Kapasitesi (Ah)	32	48	64	32	48	64
Batarya Şarj Durumu (%)	100	100	100	100	100	100
	90	90	90	90	90	90
	80	80	80	80	80	80
	70	70	70	70	70	70
	60	60	60	60	60	60
	50	50	50	50	50	50
	40	40	40	40	40	40

3.4 Bulgular

Analizlerde P2 elektrik-hibrit araç modelinin simülasyon modeline girdi olarak tanımlanan VECTO “Urban Delivery” şehir içi kargo nakliye çevrimini, çevrimin zamana bağlı hız ve yokuş profillerine uygun bir şekilde tamamladığı Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de birer örneği gösterilen, analiz sonuçlarından alınan hız-zaman ve yokuş-zaman grafiklerinden doğrulanmıştır. Oluşturulan deneysel tasarım dahilinde gerçekleştirilen analizlerin her birinden sürüş çevrimine ait aynı hız ve yokuş rejimleri elde edilmiştir.

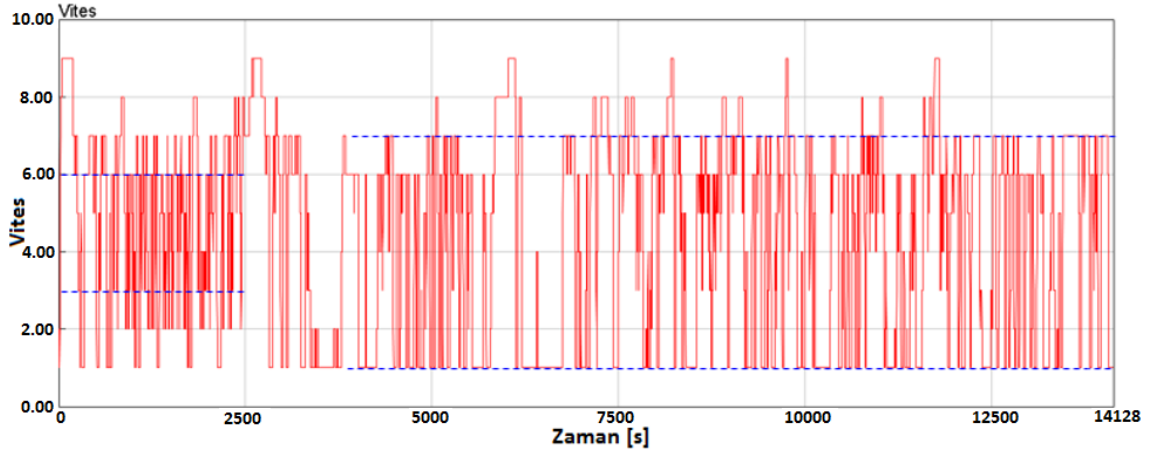


Şekil 3.1 Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın analiz sonucu elde edilen hız-zaman grafiği



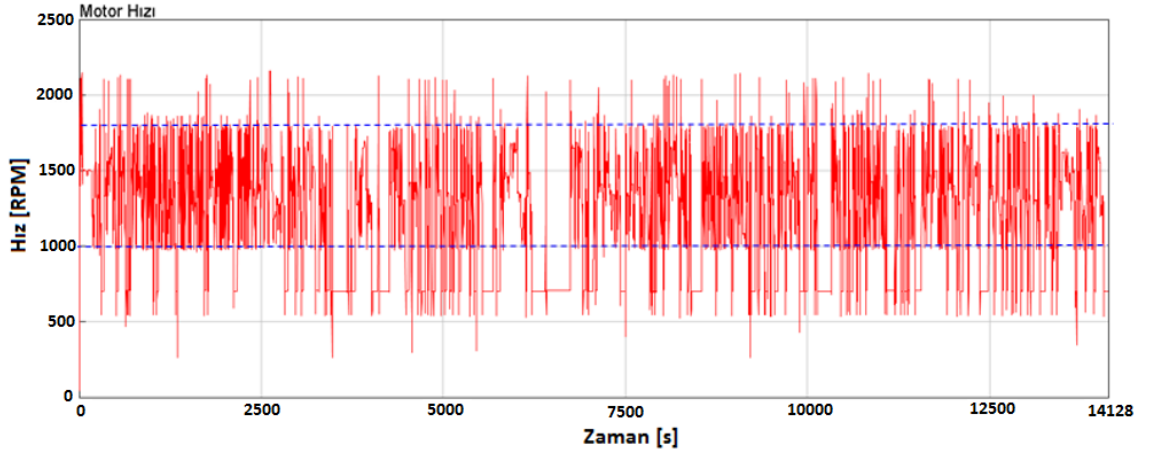
Şekil 3.2 Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın analiz sonucu elde edilen yokuş-zaman grafiği

Sürüş boyunca vites değişimleri Şekil 3.3'teki gibidir. Buna istinaden, sürüş çevriminin ilk 2500 s'lik kısmında 3. ve 6. vites aralığının ağırlıklı olarak kullanıldığı, sürüş çevriminin kalan kısmında ise ağırlıklı olarak 1. ve 7. vites aralığında daha homojen bir vites geçişi dağılımı olduğu söylenebilir.



Şekil 3.3 Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın analiz sonucu elde edilen vites değişimi-zaman grafiği

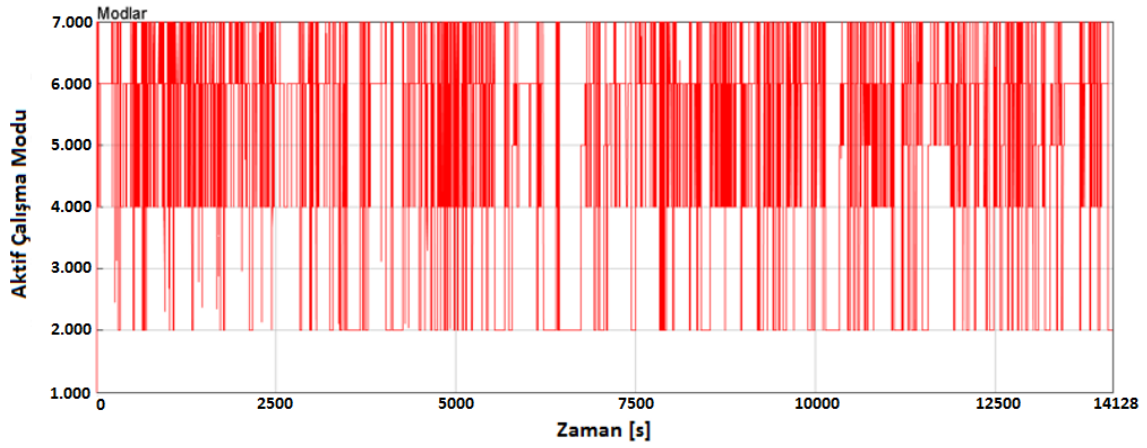
Motorun daha aktif olarak 1000 rpm-1800 rpm aralığında çalıştığı Şekil 3.4'te gösterilen dizel motorun hız-zaman grafiğinden gözlenebilmektedir. Sürüş çevriminin ilk 2500 s'lik kısmında motor hızının çevrimin kalanına kıyasla daha çok değişiklik gösterdiği söylenebilir. Sürüş çevriminin, kabaca 3500. ve 4500. sn aralığında ve 5500. ve 7000. sn aralığındaki iki bölgesinde Şekil 3.3'ten vites geçişlerinin azaldığı, Şekil 3.4'ten ise motor hızı değişimlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.4 Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın analiz sonucu elde edilen dizel motorunun hız-zaman grafiği

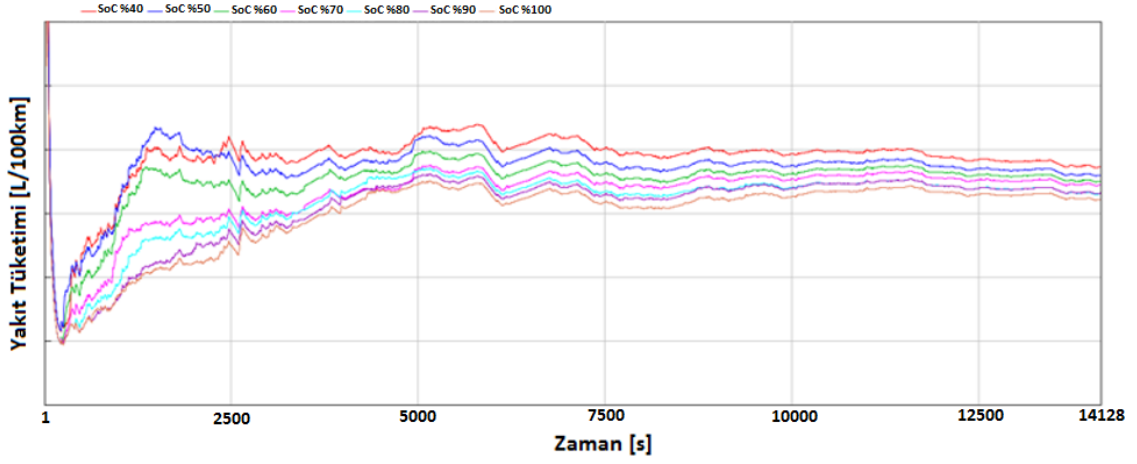
Çevrim boyunca kullanılan elektrik-hibrit çalışma modları Şekil 3.5'te gösterilen grafikteki gibidir. Sürüş çevrimi boyunca 4-5-6-7 çalışma modlarının sıklıkla aktif olduğu görülmektedir. Yani elektrik hibrit aracın normal sürüş, tork desteği, rejeneratif frenleme ve vites geçişleri için tanımlanan çalışma modları, dizel motorun rölantide çalıştırılması, rölantide dizel motorun bataryayı şarj etmesi ve dizel motorun yeniden çalışır hale getirilmesi çalışma modlarına kıyasla daha sık aktif hale gelmiştir. Dizel motorun kapalı

olduğu iki çalışma modu Mod6-rejeneratif frenleme ve Mod7-vites geçişleridir. Mod1, yani dizel motora marş verilerek aracın rölantide çalıştırılması, sürüş çevriminin yalnızca başında çevrimi başlatmak üzere oluşturulmuş bir moddur.

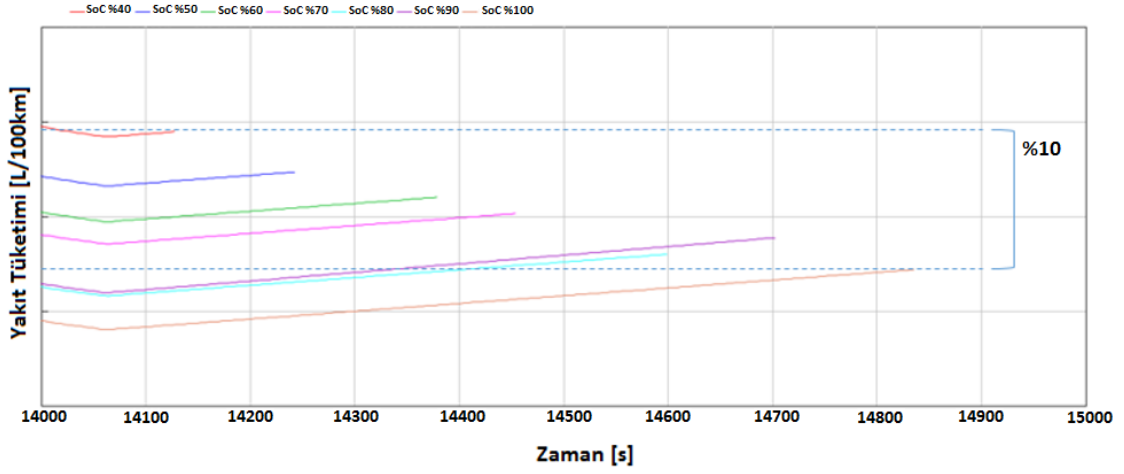


Şekil 3.5 Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın çevrim boyu çalışma modu-zaman grafiği

Deneysel tasarımda belirlenen 7 batarya başlangıç şarj seviyesinde gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen yakıt tüketimi-zaman grafiklerinin bir örneği batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz ağırlıklı araç senaryosu için Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.6'da sadece sürüş çevriminin toplam zamanı, yani 14128 s'lik sürüş, için rejimler görülmektedir. Genel ve bütünsel bir rejimi gösteren Şekil 3.6'daki grafiğin sürüş çevrimi sonunda harcanan yakıt miktarını asıl gösteren son kısmı Şekil 3.7 ile yakınlaştırılmış, Şekil 3.8 ile de yakınlaştırılmış bölge detaylandırılmıştır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sürüş çevrimi sonunda bataryanın, başlangıç şarj seviyesine getirilmek üzere, şarj edilmesi nedeniyle son yakıt tüketiminin okunduğu saniye değeri her başlangıç şarj seviyesi senaryosu için değişkenlik göstermiştir. Başlangıç şarj seviyesinin %40 olduğu senaryoda en çok, %100 olduğu senaryoda ise en az yakıt tüketilmiştir. %100 şarj seviyesi ile çevrime başlanan senaryodaki yakıt tüketimi, %40 şarj seviyesi ile çevrime başlanan senaryodaki tüketim değerinden %10 kadar düşüktür, denilebilir.

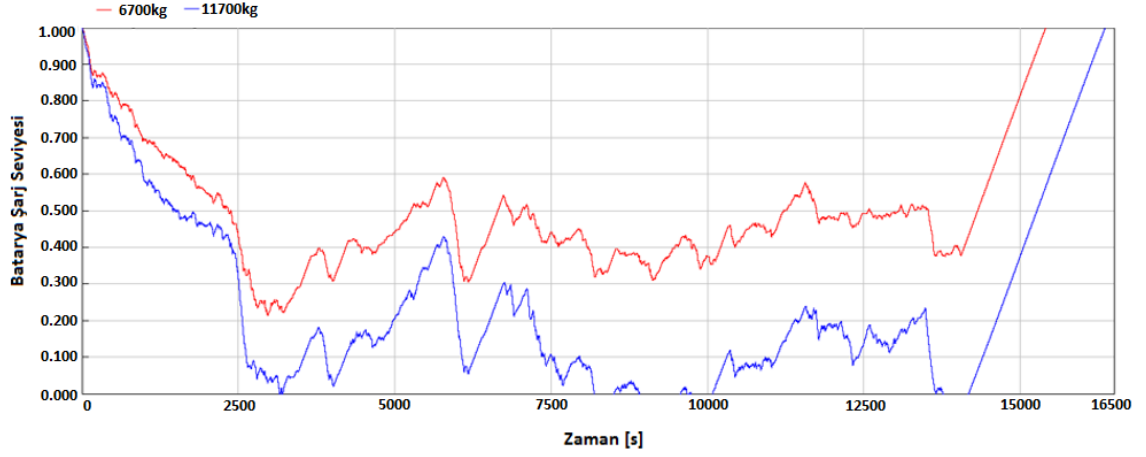


Şekil 3.6 Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın her bir batarya şarj seviyesine göre yakıt tüketimi-zaman grafiği



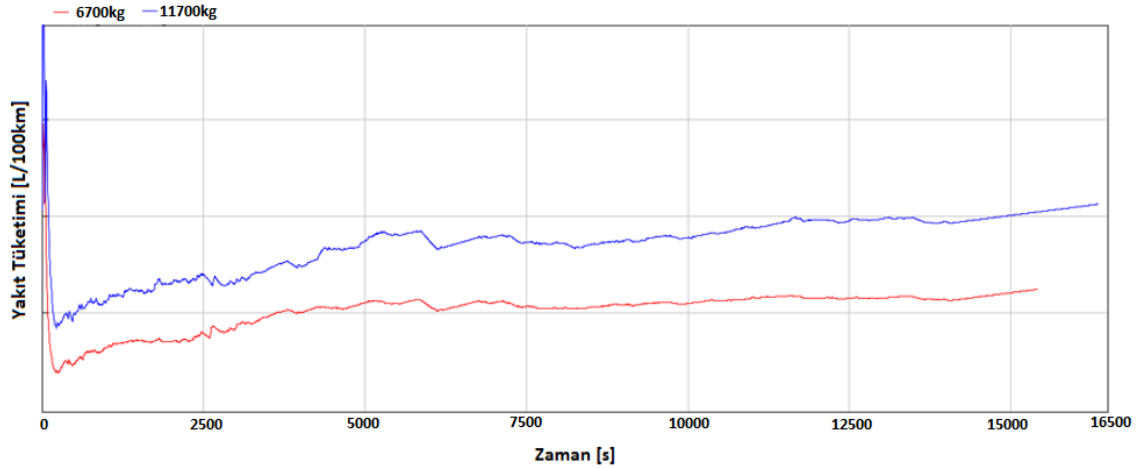
Şekil 3.7 Batarya kapasitesi 32 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın her bir batarya şarj seviyesine göre yakıt tüketimi-zaman grafiği (yakınlaştırılmış)

Çevrim boyunca aracın tanımlanan elektrik-hibrit modları arasındaki geçişleri neticesinde batarya şarj seviyesi anlık olarak değişmektedir. Şekil 3.8’de örnek olarak 64 Ah batarya kapasitesinin %100 şarj seviyesi ile sürüşe başlatıldığı elektrik-hibrit araca ait yüklü ve yüksüz koşulların zamana bağlı batarya şarj seviyesi değişimleri gösterilmiştir.

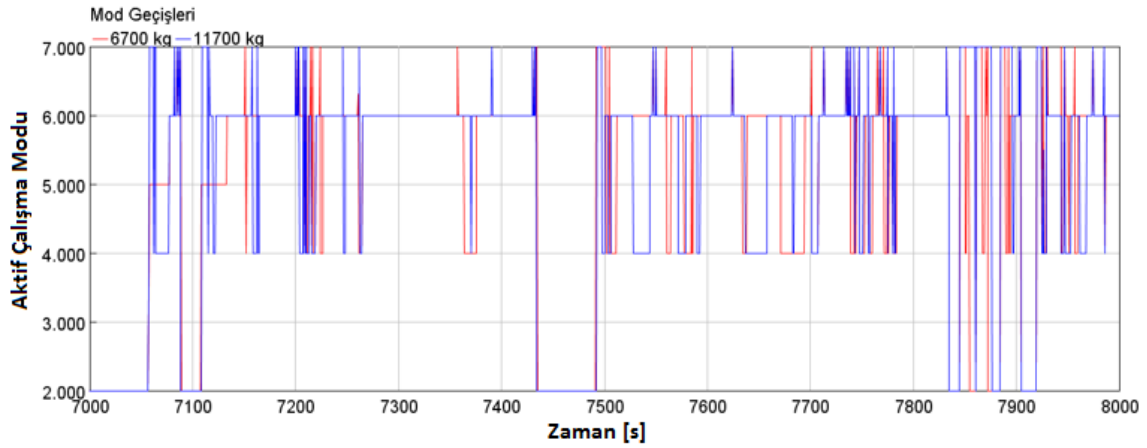


Şekil 3.8 Batarya kapasitesi 64 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %100 olan yüklü ve yüksüz iki aracın batarya şarj seviyesi-zaman grafiği

Şekil 3. 8'de batarya kapasitesi 64 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %100 olan yüklü ve yüksüz iki aracın batarya şarj seviyesi-zaman grafiği gösterilmiştir. Burada dikkati çeken, sürüş çevrimi boyunca bataryanın şarj değişimi rejimlerinin çok benzer olmasına karşın, yüklü ağırlıklı aracın batarya şarj seviyesinin 2500 s'sinden itibaren yüksüz ağırlıklı araca göre %10 ile %40 arasında daha düşük olmasıdır. Sürüş çevrimi sonunda rölantide şarj modu ile şarj seviyesi her iki araç için de tekrardan %100'e getirilmiştir. Bunun için yüklü araç, çevrim sonundaki şarj seviyesi %0 olduğundan, bataryayı baştan tam şarj edecek kadar, yani daha fazla enerji ve yakıt harcamıştır.



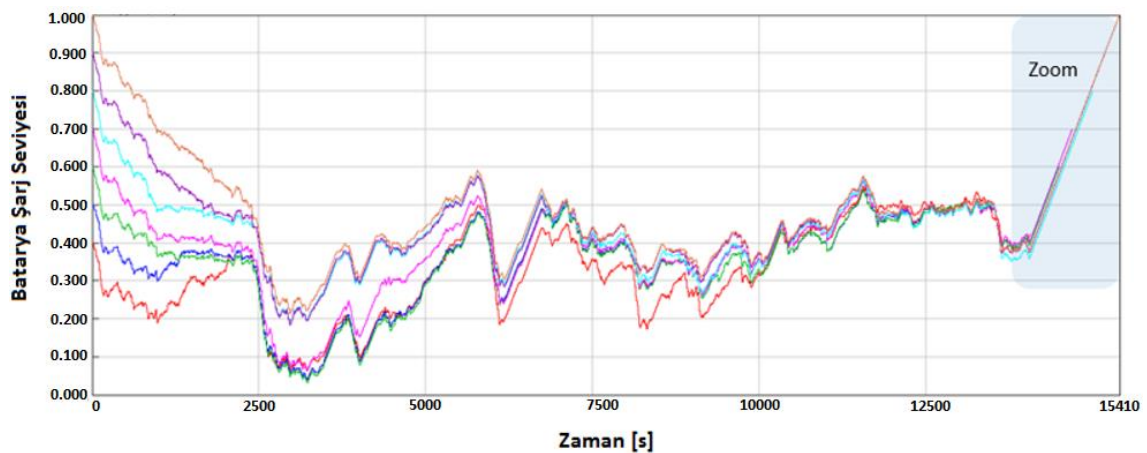
Şekil 3.9 Batarya kapasitesi 64 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %100 olan yüklü ve yüksüz iki aracın yakıt tüketimi-zaman grafiği



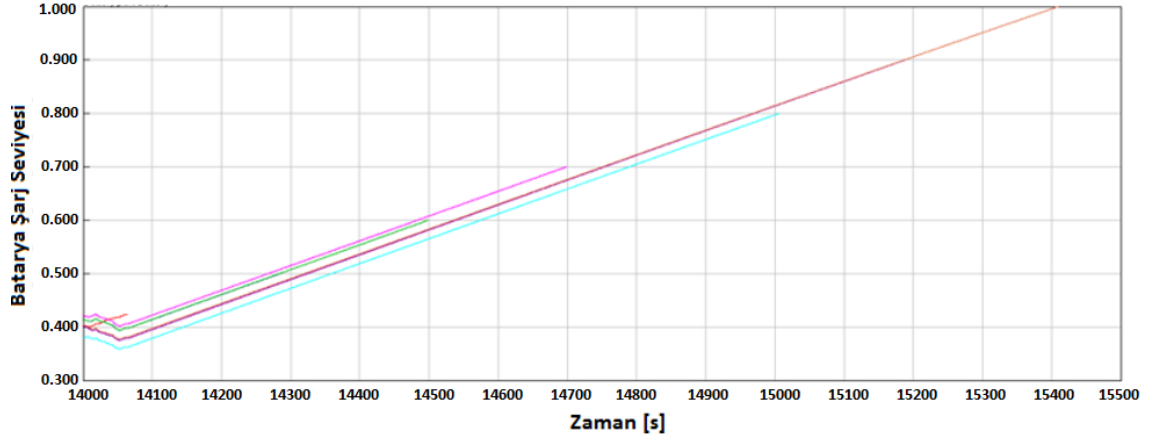
Şekil 3.10 Batarya kapasitesi 64 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %100 olan yüklü ve yüksüz iki aracın aktif çalışma modu-zaman grafiği

Şekil 3. 10'da batarya kapasitesi 64 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %100 olan yüklü ve yüksüz iki aracın aktif çalışma modu-zaman grafiği gösterilmiştir. Her iki araç da 4. ve 7. modlar arasında daha aktif çalışmıştır.

Şekil 3. 11-3.12 ve 3.13'te batarya kapasitesi 64 Ah olan yüksüz ağırlıklı P2 elektrik-hibrit aracın deneysel tasarımda planlanan başlangıç batarya şarj seviyelerinin zamana bağlı değişimlerinin grafiği gösterilmiştir. Şekil 3. 11'de başlangıç şarjının %80 ve üzeri olduğu üç senaryoda şarjın sürüş çevrimi boyunca %20 seviyesinin altına düşmediği görülebilir. %70 ve %40 da dahil olmak üzere bu aralıktaki başlangıç şarjları için yapılan analizlerde ise şarj seviyesinin çevrim boyunca en düşük olduğu durumun %10'un altında olduğu ve çevrim boyunca %80 ve üzeri başlangıç şarj seviyesine göre batarya şarjının daha düşük seyrettiği gözlenmektedir. Şekil 3.13'te her bu senaryo için sürüş çevrimi sonucunda batarya şarjının başlangıç seviyesine getirildiği görülmektedir.

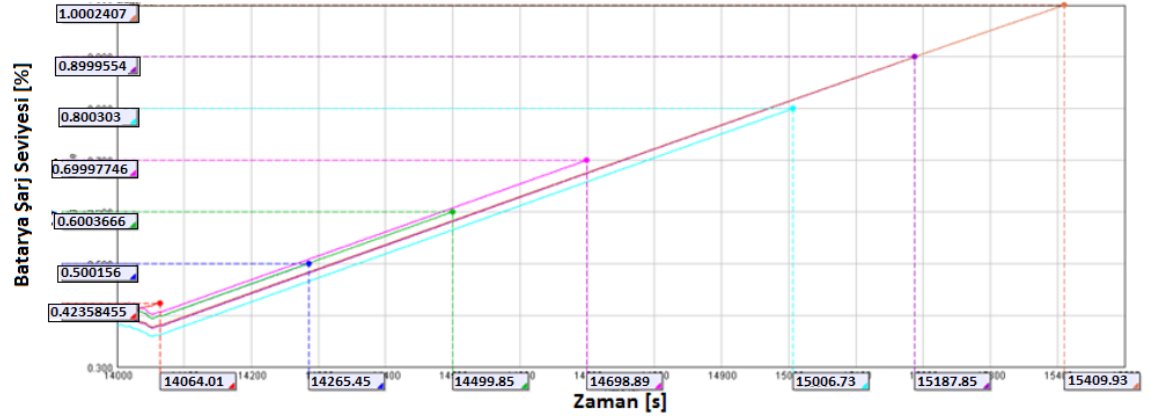


Şekil 3.11 Batarya kapasitesi 64 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın deneysel tasarımda planlanan başlangıç batarya şarj seviyelerinin zamana bağlı değişimleri



Şekil 3.12 Batarya kapasitesi 64 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın deneysel tasarımı planlanan başlangıç batarya şarj seviyelerinin zamana bağlı değişimleri (son kısmı yakınlaştırılmış)

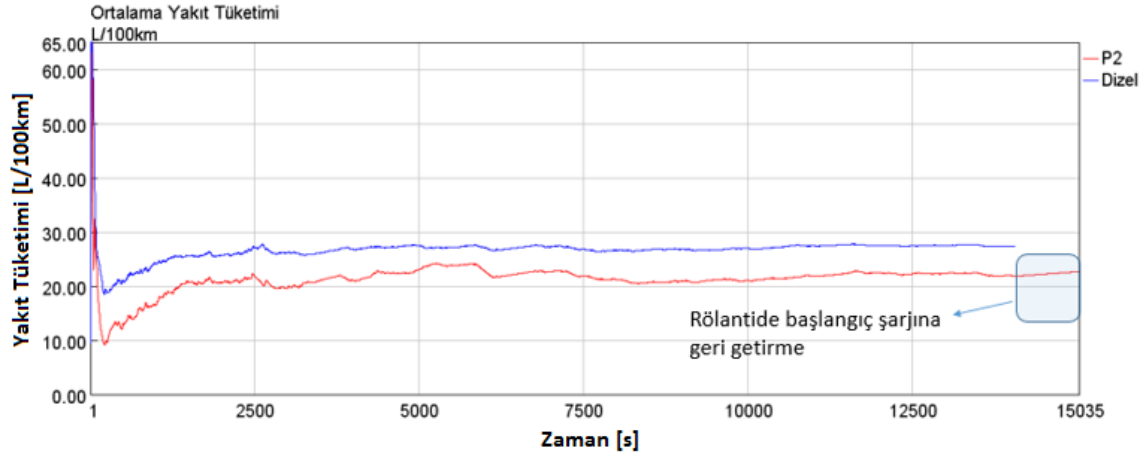
Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te görüleceği gibi, çevrim sonunda batarya şarjının başlangıç seviyesine getirilmesi için gerekli zaman aralığı her başlangıç şarj seviyesi senaryosu için farklıdır. %100 şarj ile sürüş çevrimine başlayan 64 Ah'lık bataryanın çevrim sonunda tekrar %100 şarj seviyesine ulaşabilmesi için 1347 s (15410 s-14063 s) boyunca rölantide şarj gerçekleşmiştir. %40 batarya başlangıç şarjı senaryosunda ise aynı amaçla tekrar şarja gerek kalmadığı gözlenmektedir. Yine örneğin, %50 batarya başlangıç senaryosunda çevrim sonunda 202 s (14265 s-14063 s) rölanti şarjı gerçekleşmiştir.



Şekil 3.13 Batarya kapasitesi 64 Ah olan yüksüz P2 elektrik-hibrit aracın deneysel tasarımı planlanan başlangıç batarya şarj seviyelerinin zamana bağlı değişimleri (son kısmı yakınlaştırılmış ve detaylandırılmış)

Şekil 3.14'te ise 48 Ah'lık batarya kapasitesi ile yapılan analizlerden başlangıç batarya şarj seviyesi %50 olan yüklü araç senaryosunun yakıt tüketimi-zaman grafiği, standart dizel motorlu aracın yakıt tüketimi ile kıyaslanabilir şekilde gösterilmiştir. 14093 s'lik sürüş çevrimi boyunca dizel aracın yakıt tüketiminin elektrik-hibrit araca göre istikrarlı

biçimde daha fazla olduğu söylenebilmektedir. Bu grafikten aynı zamanda, elektrik-hibrit aracın sürüş çevrimi sonunda 942 s (15035 s-14093 s) rölantide bataryayı şarj ettiği de görülmektedir.



Şekil 3.14 Batarya kapasitesi 48 Ah, başlangıç batarya şarj seviyesi %50 olan yüklü P2 elektrik-hibrit aracın ve standart dizel aracın yakıt tüketimi-zaman grafiği

Çalışmada oluşturulan simülasyonun deneysel tasarım analizlerinden elde edilen çıktılar Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Çizelgede denenen her bir koşul için referans standart dizel motorlu kamyonun sürüş çevrimi sonundaki toplam yakıt tüketimine kıyasla, P2 elektrik-hibrit sistemine geçişin oluşturduğu iyileşmeleri temsil etmektedir. Bu bulgular ışığında, P2 elektrik-hibrit uygulaması ile araçtaki yakıt ekonomisinin her denemede referans standart dizel araca göre iyileştiği gözlenmiştir. Özellikle aracın yüksüz ağırlığıyla yapılan analizlerde, daha büyük iyileşmeler gözlenmiştir.

Çizelge 3.2 Referans standart dizel kamyonu kıyasla, P2 elektrik-hibrit kamyonun yakıt ekonomisini iyileştirme oranları (%)

		6700 kg			11700 kg		
		32	48	64	32	48	64
Batarya Başlangıç Şarj Seviyesi(%)	100	35,89	36,04	40,71	16,92	21,24	22,18
	90	34,28	38,46	39,36	17,18	18,54	21,41
	80	35,12	34,91	39,29	16,83	17,63	19,02
	70	33,07	33,97	36,77	17,77	17,85	18,46
	60	32,24	33,96	35,75	17,19	17,00	17,29
	50	30,98	32,93	35,01	15,81	16,88	17,03
	40	28,95	30,31	29,03	16,13	15,74	15,63

Çizelge 3.3 incelendiğinde, yakıt tüketiminde en büyük iyileşmenin aracın yüksüz, başlangıç şarjı seviyesi %100 olan 64 Ah kapasiteli batarya kullanımı senaryosunda %40,71 iyileşme oranıyla gerçekleştiği görülmektedir. En az iyileşme ise aracın yüklü, başlangıç şarjı seviyesi %40 olan 64 Ah kapasiteli batarya kullanımı senaryosunda %15,63 iyileşme oranıyla gerçekleşmiştir. Çizelge 3.2’de gösterilen bu sonuçlara göre elde edilen bulgulardan biri yakıt tüketiminin batarya kapasitesi ile doğru orantılı olarak arttığıdır.

Çizelge 3.3 Deneysel tasarım senaryoları arası yakıt tüketimini iyileştirme oranları farkları

		6700 kg			11700 kg			
		32	48	64	32	48	64	
Batarya Başlangıç Şarj Seviyesi(%)	100	35,89	36,04	40,71	16,92	21,24	22,18	23,79
	90	34,28	38,46	39,36	17,18	18,54	21,41	22,18
	80	35,12	34,91	39,29	16,83	17,63	19,02	22,47
	70	33,07	33,97	36,77	17,77	17,85	18,46	18,99
	60	32,24	33,96	35,75	17,19	17,00	17,29	18,75
	50	30,98	32,93	35,01	15,81	16,88	17,03	19,21
	40	28,95	30,31	29,03	16,13	15,74	15,63	14,68
max-min		6,94	8,15	11,68	1,97	5,50	6,55	
MAX-MIN		25,08						

Aracın yüklü ve yüksüz ağırlık durumlarının diğer deneysel tasarım parametrelerine bağlı farklı koşulları için elde edilen iki analiz çıktısı grubunun sonuçları birbiriyle genel anlamda aynı rejimdedir. Şöyle de denilebilir; hem yüklü hem de yüksüz durumda, belirlenen üç batarya kapasitesi için de, bataryanın başlangıç şarj seviyesi arttıkça(%40’tan %100’e), yakıt tüketiminde standart dizel araca göre iyileşme oranları da artmıştır.

Yakıt tüketimindeki iyileşme oranlarının aracın yüksüz ağırlığı için yaklaşık %28-40 aralığında, aracın yüksüz ağırlığı için ise yaklaşık %15-22 aralığında olduğu bulunmuştur. Bu durumun sebebi olarak, kamyon yüklü halde iken, dizel motorun yakıt haritasının verimsiz kısımlarında daha çok çalıştığı söylenebilir.

Aracın yüklü ve yüksüz ağırlıklarında her bir batarya kapasitesi için elde edilen maksimum ve minimum yakıt tüketimi iyileştirme oranları arasındaki farklar karşılaştırıldığında, batarya başlangıç şarj seviyesine en duyarlı deneysel tasarım senaryosu aracın yüksüz, batarya kapasitesinin 64 Ah olduğu senaryodur, yorumu yapılabilir. Bu senaryoda %100 batarya şarjı seviyesi ile %40 batarya şarjı seviyesinin yakıt tüketiminde oluşturduğu iyileştirmeler arası fark; %11,8’dir. Batarya başlangıç şarj

seviyesine en az duyarlı senaryonun ise aracın yüklü, batarya kapasitesinin 32 Ah olduğu senaryo olduğu da gözlenmiştir. Bu senaryoda %100 batarya şarjı seviyesi ile %40 batarya şarjı seviyesinin yakıt tüketiminde oluşturduğu iyileştirmeler arası fark; %1,64'tür.

Aynı P2 elektrik-hibrit araç konfigürasyonunda, farklı araç ağırlıklarının, farklı batarya kapasitelerinin ve farklı batarya başlangıç şarj seviyelerinin aracın yakıt tüketimi miktarı üzerine etkileri de birbirinden farklı olmuştur. Yakıt tüketiminin en çok ve en az iyileştiği deneysel tasarım senaryoları arasında %25,08'lik bir iyileştirme farkı vardır. Bu çalışmada yalnızca batarya kapasitesinin, batarya başlangıç şarj seviyesinin ve araç ağırlığının yakıt tüketimine etkisi incelenmiş ve bu sonuca ulaşılmıştır. Buradan aracın farklı parametrelerinde, örneğin hibrit kontrol algoritması veya elektrik motoru özelliklerinde, aracın koştığı sürüş çevriminde veya aracın hibrit mimarisinde değişiklikler yapıldığı takdirde yakıt tüketimindeki iyileştirme miktarları da geniş bir yüzde bandında değişkenlik gösterebilir. Buradan yola çıkarak hibrit araçların projelendirilirken, yakıt tüketiminde en büyük iyileştirmeyi sağlamak için, tüm parametrelerin hassasiyetle ele alınacağı, detaylı bir çalışma gerektiği söylenebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma, hibrit altyapısının standart dizel altyapısına göre, avantajlarını belli bir çerçeveden göstermeyi amaçlamıştır. Hibrit aracın yüksüz ağırlığında gözlenen en düşük iyileşme oranı %28,95'un, aracın yüklü ağırlığında gözlenen en yüksek iyileşme oranı %22,18'den daha yüksek olması çarpıcı bir veridir. Aracın yüksüz olmasının yakıt ekonomisini iyileştirdiği bilgisiyle, araç ağırlığı ve yakıt tüketimindeki azalma miktarı arasında ters bir orantı olduğu söylenebilir.

Araç kargo nakliye kamyonu hizmeti vermek üzere kullanıldığından dolayı yakıt ekonomisini iyileştirmek amacıyla boş ağırlığın üzerine eklenen kargo kaynaklı yükleme koşulları pratikte kesin ve belirgin bir şekilde değiştirilemeyecektir. Fakat ağırlığın analiz sonuçları üzerindeki etkileri, aracın tasarım aşamasında boş ağırlığının, özellikle bir batarya paketinin varlığında, olabildiğince hafif tutulması üzerine odaklı bir çalışma yapılması gerektiğini göstermektedir. Batarya kapasitesi bataryanın araca gereken enerjiyi sağlayabileceği şekilde seçilecek olsa da, kapasite arttıkça ağırlığın da artacağı ve bunun sonucunda yakıt ekonomisini etkileyeceği unutulmamalıdır.

Çalışmada modellenen hibrit sistemin yakıt tüketiminde en büyük iyileşme batarya kapasitesinin 64 Ah, yani en büyük olduğu deneysel tasarım senaryolarında görülmüştür. Bu nedenle modellenen bu araç için batarya kapasitesinin arttırılmasının, aynı sürüş koşullarında yakıt ekonomisini de iyileştireceği sonucuna varılabilmektedir. Bu modelde bataryanın ağırlığı aracın toplam ağırlığına dahil edilmediği için, daha gerçekçi ağırlık senaryosunda elde edilen yakıt ekonomisi iyileşme oranlarının daha az olabileceği belirtilmelidir.

Bir diğ er önemli nokta, batarya kapasitesinin büyüklüğünün de aracın kullanım koşullarına istinaden bir limiti olduğ udur. Kapasite arttıkça ebatların ve ağırlığın artışıının yanında, bataryanın belirli şarj seviyelerine ulaşması için gereken süre ve harcanacak yakıt miktarının da artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuc lar incelendiğ inde aracın yüksüz ağırlığından elde edilen tüm sonuc lar içerisinde maksimum(%40,71) ve minimum(%28,95) yakıt ekonomisi iyileşme oranları arasında %11,76 kadar bir fark olduğı; aracın yüklü ağırlığında ise maksimum(%22,18) ve minimum(%15,63) yakıt ekonomisi iyileşme oranları arasında %6,55 kadarlık fark olduğı görülmektedir. Yani araç yüksüz haldeyken batarya kapasitesi ve batarya başlangıç  arjının artması, yüklü halin yaklaşık iki katı kadar iyileşmeye sebep olmuştur. Bunun sebebi, aracın yüklü ağırlığı için maksimum batarya kapasitesi olarak denenen 64 Ah'in en iyi performansı sağlayacak kapasitede olmaması, 32 Ah kapasiteli bataryanın ise aracın değişik modlarına ucu ucuna yetmesi olabilir. Daha yüksek kapasiteli bir batarya bu ağırlıkta yakıt ekonomisini iyileştirebilir.

Batarya başlangıç  arjı %100 iken, batarya kapasitesinin değişmesi, iki ağırlık senaryosu için de yakıt ekonomisinde %5-6 civarı iyileşme sağlarken, batarya başlangıç  arjının %40 olduğı durumda batarya kapasitesinin değişimi yakıt ekonomisini neredeyse iyile tirmemektedir; aracın yüksüz ağırlığında 32 Ah ve 64 Ah kapasiteli bataryaların %40 başlangıç şarj seviyesi senaryoları için iyileşme oranları farkı %1'in altındadır(%28,95-%29,03), yüklü ağırlığında ise batarya kapasitesinin 32 Ah'ten 64 Ah'e artışı ile iyileşme oranı azalmıştır(%16,13-%15,63). Aracın yüksüz ağırlığında başlangıç batarya şarj seviyesi %50 olduğunda %40 senaryosuna göre batarya kapasitesinin yakıt ekonomisini iyileştirmesi açısından belirgin bir değişim gözlenmektedir. 64 Ah'lik bataryanın sağladığı iyileşme oranı %35,01 ile 32 Ah'lik bataryanın sağladığı iyileşme oranı %30,98 arasında %4,03'l k bir fark olduğı görülmektedir. Aracın yüklü ağırlığında ise batarya kapasitesinin iyileşme oranları üzerinde belirgin etkisinin %90 başlangıç batarya şarj seviyesinden itibaren olduğunu söylenebilir(%17,18-%21,41). Batarya başlangıç şarj seviyelerinin sonuc lar üzerinde bu şekilde bir etkisinin olması aracın ilk kalkış sırasında bataryadan  ektiğı enerjinin düşük şarj seviyelerinde yetersiz olması ve dizel motorun bu durumlarda sürüş çevrimi boyunca daha ağırlıklı kullanılması(normal sürüş hibrit modu baskın kullanılıyor olabilir) ve bir yandan bataryayı da şarj etmesi olabilir.

Elde edilen sonuçlar, tüm parametrelerin belli durumlarda yakıt tüketimine etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle aracın ağırlığı hem yakıt ekonomisini doğrudan etkilemekte, hem de araç için seçilen bataryanın kapasitesinde belirleyici olan önemli bir kriterdir. Batarya kapasitesinin ise yakıt tüketimine etkisi oranının batarya başlangıç şarj seviyesi ile ilişki olduğu elde edilen bulgulardan düşünülebilir. Bu sonuçlar seçilen sürüş çevrimi ve oluşturulan hibrit kontrol modeli ile doğrudan bağlantılıdır. Kontrol modelinde tanımlanan modlar ve modlar arası geçiş şartları(örneğin batarya şarj seviyesinin 0,45'ten büyük veya küçük olması) değiştirildiğinde, sonuçların da değişebileceği; çünkü aracın sürüş çevriminde farklı modlar arasında geçişler yapabileceğine de dikkat edilmelidir.

Çalışma her ne kadar elektrik-hibrit bir ağır ticari aracın bir dizel ağır ticari araca göre yakıt ekonomisini hangi düzeyde iyileştirebileceği amacıyla yapılmışsa da; aynı zamanda elektrik-hibrit bir aracın yakıt tüketimi analizini yapabilmek için detaylarıyla bir simülasyon modeli ve kontrol modeli tariflemiş olması açısından da gelecek çalışmalar için faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Velders, G.J.M., Andersen, S.O., Daniel, J.S., Fahey, D.W. ve McFarland, M., (2007). "The Importance of the Montreal Protocol in Protecting Climate", Proceedings of the National Academy of Sciences, 9 April 2007, 104(12):4814.
- [2] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kyoto Protokolü, <https://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363>, Şubat 2019.
- [3] European Commission, Kyoto First Commitment Period, (2008), https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_1_en, Şubat 2019.
- [4] Continental, Worldwide Emission Standards and Related Regulations, [https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/Emission Booklet 2017.pdf](https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/Emission_Booklet_2017.pdf), Şubat 2019.
- [5] TheAA, "Limits to Improve Air Quality and Health", <https://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/euro-emissions-standards>, Şubat 2019.
- [6] WLTP Facts, "What is WLTP and How Does It Work", <https://wltpfacts.eu/what-is-wltp-how-will-it-work>, Şubat 2019.
- [7] İklim Haber, (2017). "Paris İklim Anlaşması İki Yaşında: Nereden Nereye Geldik", <https://yesilgazete.org/blog/2017/12/12/paris-iklim-anlasmasi-2-yasinda-nereden-nereye-geldik>, Yeşil Gazete, Şubat 2019.
- [8] Dass, B., Jobs, (2017). "Tax and Politics: Three Ways Electric Vehicles Will Change Our World", <http://theconversation.com/jobs-tax-and-politics-three-ways-electric-vehicles-will-change-our-world-84910>, Şubat 2019.
- [9] Liu, W., (2013). Introduction to Hybrid Vehicle System Modeling and Control, Third Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [10] X-Engineer, Understanding Micro, Mild, Full & Plug-in Hybrid Electric Vehicles, <https://x-engineer.org/automotiveengineering/vehicle/hybrid/micro-mild-full-hybrid-electric-vehicle>, Şubat 2019.
- [11] Mareev, I., Becker, J. ve Sauer, D.U., (2017). "Battery Dimensioning and Life Cycle Costs Analysis for a Heavy-Duty Truck Considering the Requirements of Long-Haul Transportation", Energies, 28 December 2017, 11(1)-55.

- [12] Asher, Z., Wifvat, V., Navarro, A. ve Samuelsen, S., (2017). "The Importance of HEV Fuel Economy and Two Research Gaps Preventing Real World Implementation of Optimal Energy Management", SAE Technical Paper, 26 January 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0106>.
- [13] Meng, Y., Jennings, M., Tsou, P., Brigham, D., Bell, D., ve Soto, C., (2011). "Test Correlation Framework for Hybrid Electric Vehicle System Model", SAE International Journal of Engines, 12 April 2011, V120-3.
- [14] Çalışkan, K., Ünlüsoy, Y.S., Konukseven, İ., Arıkan, K.B., Kılıç, V., Koçkan, İ., ve Yıldırım, M., (2009). "A Hybrid Electric Heavy Duty Truck Ford Cargo Hybrid", 3rd International Conference on Experiments/Process/System Modeling/Simulation & Optimization, Volume: 1, July 2009, Athens, Greece.
- [15] Orbaiz, P., Dijk, N.V., Cosentino, S., ve Oxenford, N., (2018). "A Technical, Environmental and Financial Analysis of Hybrid Buses Used for Public Transport", WCX World Congress Experience, April 2018.
- [16] Yuan, X., Zhang, C., Hong, G., Huang, X., ve Li, L., (2017). "Method for evaluating the real-world driving energy consumptions of electric vehicles", Energy, Volume 141, 15 December 2017, 1955-1968.
- [17] Cusenza, M.A., Bobba, F., Ardente, F., Cellura, M. ve Persio, F.D., (2018). "Energy and Environmental Assessment of a Traction Lithium-ion Battery Pack for Plug-in Hybrid Electric Vehicle", Journal of Cleaner Production, Volume 215, 1 April 2019, 634-649.
- [18] Orecchini, F., Santiangeli, A., Zuccari, F., Ortenzi, F., Genovese, A., Spazzafumo, G. ve Nardone, L., (2018). "Energy Consumption of a Last Generation Full Hybrid Vehicle Compared With a Conventional Vehicle in Real Drive Conditions", Energy Procedia, Volume 148, August 2018, 289-296..
- [19] Ackerl, M., "48V Mild Hybrid", VL Commercial Electrification Symposium, (2017).
- [20] Gamma Technologies GT-Suite Software, <https://www.gtisoft.com/gt-suite-applications/integrated-systems/gt-drive>, Şubat 2019.
- [21] Ford Otosan R&D Technologies, Ecotorq Engine Family, www.fordotosan.com.tr/en/operations/randd/technologies/ecotorq-engine-family, Şubat 2019.
- [22] Global Machinery Trade, <https://npo-kvant.all.biz/en/gear-box-ppc-zf-6s1200-zf-16s1820-gearbox-gearbox-g3008940>, Şubat 2019.
- [23] Hampel, C., Industry Service for Electric Mobility, (2019). <https://www.electrive.com/2019/02/17/daimler-embarks-on-3-year-test-for-bev-trucks-called-eactros>, Şubat 2019.
- [24] Liberty Access Technologies, <https://www.libertyplugins.com/blog/2019/02/22/borgwarner-to-supply-electric-motors-for-plug-in-hybrid-truck>, Şubat 2019.
- [25] Trade Trucks, (2013). <https://www.tradetrucks.com.au/truck-reviews/1305/test-fuso-canter-hybrid>, Şubat 2019.

- [26] E.A.M. Company, Bringing Down CO₂ Emissions and Fuel Costs of Heavy-Duty Vehicles by Promoting Transparency Vehicle Comparability and Competition, <https://reducingco2together.eu/assets/docs/vecto.pdf>, Şubat 2019.
- [27] Delgado, O. F., Rodriguez, F., ve Façanha, C., (2019). “Technology Verification Tool for Green Freight Programs-Application of Vehicle Simulation Tools to Accelerate Technology Uptake”, The International Council on Clean Transportation, March 2019.
- [28] Ünlüsoy, S., (2007). Performance of Road Vehicles Lecture Notes, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Ezgi ŞİMŞEKLi
Doğum Tarihi ve Yeri :05.07.1989 - Osmangazi
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :ezgisimsekli@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği Enerji Ana Bilim Dalı	Yıldız Teknik Üniversitesi	Devam ediyor
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen	Nilüfer Milli Piyango Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	Ford Otosan	Bağlantı Elemanları Mühendisi

2013

Ford Otosan

Araç Yapısal Dayanım
Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Şimşekli, E., Çetin, B., (2019). "P2 Hibrit Elektrikli Bir Aracın Yakıt Tüketiminin Çeşitli Parametrelere Duyarlılığının Analizi", ENRES 2019 Proceeding Book, 2: 66-74.