

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT ELEKTRİKLİ BİR KAMYON İÇİN BULANIK MANTIK TABANLI
ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazal SÖLEK

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT ELEKTRİKLİ BİR KAMYON İÇİN BULANIK MANTIK TABANLI
ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazal SÖLEK
504161025**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504161025 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hazal SÖLEK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**HİBRİT ELEKTRİKLİ BİR KAMYON İÇİN BULANIK MANTIK TABANLI ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ramazan Nejat TUNCAY**
Okan Üniversitesi

Doç. Dr. Özgür ÜSTÜN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 3 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 12 Haziran 2019







ÖNSÖZ

Öncelikle yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca hiçbir konuda desteğini esirgemeyen, ihtiyaç duyduğum noktada bana yol gösteren danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ'a tez çalışmama katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimimden yüksek lisans eğitimime kadar desteğini her zaman hissettiğim, mesleğimi severek ve özveriyle yapmamda büyük katkısı olan, gerek kişilik gerekse de mesleki yönüyle örnek aldığım Sayın Prof. Dr. Ramazan Nejat TUNCAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca zorlandığım her konuda fikirlerini aldığım başta değerli meslektaşlarım Kenan Müderrisoğlu ve Cem Armutlu olmak üzere tüm Anadolu ISUZU ailesine sonsuz destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019

Hazal Sölek
(Elektrik-Elektronik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konvansiyonel Araçların Neden Olduğu Çevre Kirliliği	1
1.2 Elektrikli Araçların Tarihçesi	4
1.3 Hibrit Elektrikli Araçların Tarihçesi	5
1.4 Hibrit Elektrikli Araç Türleri	6
1.4.1 Mikro hibrit araçlar	7
1.4.2 Hafif hibrit araçlar	7
1.4.3 Tam hibrit araçlar	7
1.4.3.1 Seri hibrit araçlar	8
1.4.3.2 Paralel hibrit araçlar	9
1.4.3.3 Seri-paralel hibrit araçlar	10
1.4.3.4 Kompleks hibrit araçlar	12
1.5 TruckMaker Araç Modelinin Oluşturulması	12
1.5.1 Araç gövdesi	13
1.5.2 Kabin ve platform bağlantısı	14
1.5.3 Akslar	15
1.5.4 Direksiyon sistemi	16
1.5.5 Lastikler	16
1.5.6 Fren sistemi	16
1.5.7 Güç aktarma sistemi	17
1.5.8 Aerodinamik model	18
1.6 Araç Boylamsal Dinamiği Denklemleri	18
1.6.1 Yuvarlanma direnci kuvveti	19
1.6.2 Aerodinamik kuvvet	19
1.6.3 Yerçekimi kuvveti	19
1.6.4 İvmelenme kuvveti	20
2. ISUZU NPR10 HİBRİT KAMYON	21
2.1 Araç Gereksinimlerinin Belirlenmesi	21
2.1.1 Yol testleri hazırlık süreci	21
2.1.2 Test rotası	22
2.2 Araç Özellikleri	24
2.2.1 Çekiş motoru	25

2.2.2	Generatör seti	27
2.2.2.1	İçten yanmalı motor	27
2.2.2.2	Generatör	27
2.2.3	Batarya	28
3.	HİBRİT ARAÇLARDA ENERJİ KONTROL YÖNTEMLERİ.....	31
3.1	Enerji Kontrol Yöntemlerinin Önemi ve Literatür Araştırması	31
3.2	Çevrimdışı Kontrol Yöntemleri.....	32
3.2.1	Doğrusal programlama.....	33
3.2.2	Dinamik programlama.....	33
3.2.3	Stokastik kontrol	34
3.2.4	Genetik algoritma.....	34
3.2.5	Parçacık sürüşü optimizasyonu	35
3.3	Çevrimiçi Kontrol Yöntemleri	35
3.3.1	Kural tabanlı kontrol yöntemleri	35
3.3.1.1	Deterministik kural tabanlı kontrol yöntemleri	36
3.3.1.2	Bulanık mantık kontrol yöntemleri	39
3.3.2	Optimizasyon tabanlı kontrol yöntemleri.....	42
3.3.2.1	Eşdeğer yakıt tüketimini azaltma yöntemi	43
3.3.2.2	Model kestirimci kontrol yöntemi.....	44
4.	ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ.....	45
4.1	Deterministik Kural Tabanlı Kontrolcü Geliştirilmesi.....	45
4.1.1	Simulasyon modeli bloğu.....	45
4.1.2	Kontrol modeli bloğu	49
4.2	Bulanık Mantık Tabanlı Kontrolcü Geliştirilmesi.....	52
4.2.1	Bulanık mantık mod seçim kontrolcüsü.....	57
4.2.2	Bulanık mantık generatör seti hız seçim kontrolcüsü	61
4.3	Benzetişim Sonuçları Ve Fonksiyon Testleri	63
4.3.1	Bulanık mantık mod seçimi kontrolcüsü performans analizi.....	64
4.3.2	Deterministik kural tabanlı mod seçimi kontrolcüsü performans analizi ..	67
4.3.3	Bulanık mantık generatör seti hız seçimi kontrolcüsü performans analizi	69
4.3.4	Deterministik kural tabanlı generatör seti hız seçimi kontrolcüsü performans analizi	70
4.3.5	Performans analizlerinin karşılaştırılması	71
4.3.5.1	Mod seçimi kontrolcülerinin performans analizlerinin karşılaştırılması	71
4.3.5.2	Generatör seti hız seçimi kontrolcülerinin performans analizlerinin karşılaştırılması	73
4.3.6	Fonksiyon Testleri Sonuçları	74
5.	SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR.....	77
	KAYNAKLAR.....	79
	EKLER	85
	ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

ABS	: Anti-Lock Braking System
ACC	: Adaptive Cruise Control
BLDC	: Fırçasız Doğru Akım Makinesi
BMS	: Batarya Yönetim Sistemi
CAN	: Controller Area Network
CD	: Çok Düşük
CHD	: ŞarjAzaltma Modu (Charge Depletion)
CS	: Şarj Sürdürme Modu (Charge Sustaining)
CY	:Çok Yüksek
D	: Düşük
DC	: Doğru Akım
DP	: Dinamik Programlama
ECMS	: Eşdeğer Yakıt Tüketimini Azaltma Yöntemi
EM	: Elektrik Makinesi
EMK	:Elektromotor Kuvveti
EMS	: Enerji Yönetim Sistemi
ESP	: Electronic Stability Program
GA	: Genetik Algoritma
GPS	:Küresel Konum Belirleme Sistemi
İYM	: İçten Yanmalı Motor
LFP	: Lityum Demir Fosfat
LTO	: Lityum Titanat
N	: Normal
NCA	:Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit
NMC	: Nikel Manganez Kobalt Oksit
PMSM	: Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor
SOC	:Batarya Doluluk Durumu
Y	: Yüksek



SEMBOLLER

A_v	: Araç önyüzey alanı
$b(t)$	: Hız ölçümü sonucu
C	: Batarya Ah kapasitesi
C_x	: Aerodinamik sürtünme katsayısı
$e(t)$	: Hata sinyali
F_a	: Aerodinamik kuvvet
F_{acc}	: İvmelenme kuvveti
F_g	: Yerçekimi kuvveti
F_r	: Yuvarlanma direnci kuvveti
F_t	: Çekiş kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi
G_b	: Anlık batarya deşarj gücü
G_g	: Generatör seti gücü
G_m	: Çekiş motoru gücü
G_p	: Generatör seti güç ihtiyacı
G_{ref_m}	: Generatör seti referans momenti
GP_p	: Pedala basılma oranı
I	: Eylemsizlik
K_i	: İntegral kontrolcükazancı
K_p	: Oransal kontrolcü kazancı
m	: Araç kütlesi
M_d	: İYM yük altında devir düşüş katsayısı
M_m	: En yüksek elektrik motoru momenti
N_c	: Seri bağlı hücre sayısı
R	: Batarya iç direnci
R_b	: Batarya kontak direnci
R_c	: Hücre şarj iç direnci
$r(t)$	: Referans hız sinyali
S_{gen}	: Generatör seti hız kademesi
S_{iym}	: İYM hızı

S_m	: Elektrik motoru hızı
S_{ul}	: İYM yüksüz durumdaki hızı
SOC_0	: Başlangıç durumu SOC
$u(t)$	: Kontrol sinyali
$u_i(t)$	: İntegral (I) kontrolcü
$u_p(t)$	: Oransal (P) kontrolcü
$u_{pi}(t)$	: Oransal İntegral (PI) kontrolcü
V	: Araç hızı
V_0	: Rüzgar hızı
$y(t)$	: Generatör seti hızı
λ	: Döner kütle faktörü
μ	: Yuvarlanma direnci katsayısı
ρ	: Havanın yoğunluğu
η_0	: Şarj modunda araç verimi
η_1	: Sürüş destek modunda araç verimi
η_2	: Elektrikli modda araç verimi
η_{bd}	: Batarya deşarj verimi
η_{bs}	: Batarya şarj verimi
η_{em}	: Elektrik motoru ve sürücüsünün toplam verimi
η_{gen}	: Generatör ve sürücüsünün toplam verimi
η_{iym}	: İçten yanmalı motor verimi
η_{mk}	: Mekanik güç aktarma sistemleri verimi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çekiş motoru özellikleri.	25
Çizelge 2.2 : İçten yanmalı motor özellikleri.	27
Çizelge 2.3 : Generatör özellikleri.....	27
Çizelge 2.4 : Lityum iyon batarya kimyaları.	29
Çizelge 2.5 : Batarya paketi özellikleri.....	29
Çizelge A.1 : NPR10 Long özellikleri.....	87



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çeşitli enerji kaynakları ile çalışan taşıtların, kaynaktan tekerleğe verimlilikleri [11].	3
Şekil 1.2 : Seri hibrit araç yapısı.	8
Şekil 1.3 : Paralel hibrit araç yapısı.	10
Şekil 1.4 : Seri paralel hibrit araç yapısı.	11
Şekil 1.5 : Kompleks hibrit araç yapısı.	12
Şekil 1.6 : Araç gövdesi parametreleri.	13
Şekil 1.7 : Gövde parametreleri.	14
Şekil 1.8 : Kabin montaj parametreleri.	14
Şekil 1.9 : Aks parametreleri.	15
Şekil 1.10 : Lastik parametreleri.	16
Şekil 1.11 : Güç aktarım sistemi.	17
Şekil 1.12 : Aerodinamik model parametreleri.	18
Şekil 1.13 : Doğrusal araç dinamiği modeli.	19
Şekil 2.1 : Test aracı.	22
Şekil 2.2 : Test rotası.	22
Şekil 2.3 : Araç hız-zaman grafiği.	23
Şekil 2.4 : Kardan şaftı güç grafiği.	23
Şekil 2.5 : Kardan şaftı torku grafiği.	24
Şekil 2.6 : Çekiş sistemi enerji tüketimi grafiği.	24
Şekil 2.7 : Anadolu Isuzu NPR10 Hybrid.	25
Şekil 3.1 : Üst seviye kontrol yöntemleri.	32
Şekil 3.2 : Kontrolcü blok şeması [33].	40
Şekil 3.3 : Kontrolcü blok şeması [41].	41
Şekil 4.1 : Kontrolcünün genel yapısı.	45
Şekil 4.2 : Hücre şarj iç direnci.	46
Şekil 4.3 : Simulasyon bloğu iç yapısı.	47
Şekil 4.4 : İYM hızı hesaplanması bloğu.	49
Şekil 4.5 : Kontrol bloğu iç yapısı.	50
Şekil 4.6 : Generatör seti hız kontrolcüsü.	52
Şekil 4.7 : Bulanık mantık tabanlı kontrolcünün akış diyagramı.	55
Şekil 4.8 : Bulanık mantık mod seçim kontrolcüsü.	57
Şekil 4.9 : Sürücü güç isteği (kW) girişi üyelik fonksiyonları.	58
Şekil 4.10 : Batarya deşarj gücü (kW) girişi üyelik fonksiyonları.	58
Şekil 4.11 : SOC (%) girişi üyelik fonksiyonları.	59
Şekil 4.12 : SOC farkı (%) girişi üyelik fonksiyonları.	60
Şekil 4.13 : Araç çalışma modu çıkışı üyelik fonksiyonları.	60
Şekil 4.14 : Bulanık mantık generatör hız seçimi kontrolcüsü.	61
Şekil 4.15 : Generatör gücü üyelik fonksiyonları.	62
Şekil 4.16 : Generatör seti hızı üyelik fonksiyonları.	62
Şekil 4.17 : Bulanık mantık kontrolcülerin birbirleri ile ilişkisi.	63

Şekil 4.18 : Araç hız zaman grafiği.	64
Şekil 4.19 : Araç çekiş motoru gücü zaman grafiği.	65
Şekil 4.20 : Araç kontrol modu zaman grafiği.	65
Şekil 4.21 : Batarya gücü zaman grafiği.	66
Şekil 4.22 : SOC zaman grafiği.	67
Şekil 4.23 : Kural tabanlı kontrolcü çekiş motoru gücü zaman grafiği.	67
Şekil 4.24 : Kural tabanlı kontrolcü kontrol modu zaman grafiği.	68
Şekil 4.25 : Kural tabanlı kontrolcü SOC zaman grafiği.	68
Şekil 4.26 : Kural tabanlı kontrolcü batarya gücü zaman grafiği.	69
Şekil 4.27 : Kontrol modu profili.	69
Şekil 4.28 : Generatör seti güç gereksinimi grafiği.	70
Şekil 4.29 : Bulanık mantık tabanlı kontrolcü generatör seti hız-zaman grafiği 70	70
Şekil 4.30 : Kural tabanlı kontrolcü generatör seti hız-zaman grafiği.	71
Şekil 4.31 : Farklı mod seçim kontrolcülerinin yakıt tüketimi sonuçlarının karşılaştırılması.	73
Şekil 4.32 : Farklı generatör seti kontrolcülerinin yakıt tüketimi sonuçlarının karşılaştırılması.	73
Şekil 4.33 : Talep edilen moment ve gerçek moment grafikleri.	74
Şekil 4.34 : Talep edilen moment ve gerçek momentin karşılaştırılması.	74
Şekil 4.35 : Generatör seti hız kontrolü grafiği.	75
Şekil A.1 : NPR10 Long ölçüleri.	87

HİBRİT ELEKTRİKLİ BİR KAMYON İÇİN BULANIK MANTIK TABANLI ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Gelişen dünyamızda otomotiv sektörü endüstriyel, ekonomik ve ulaşım sistemleri bakımından büyük önem taşımaktadır. İnsanlar ihtiyaç duydukları hareketliliği otomotiv sektörü sayesinde sağlarken, sektör de her geçen gün gelişmektedir. Günümüzde kullanılan araçların çok büyük bir kısmı içten yanmalı motora sahip, fosil yakıt tüketen araçlardır ve sayıları her geçen gün artmaktadır. Yandığında çevreye zararlı atıklar salgılayan fosil yakıtların kullanımının bu kadar artmasının sonucu olarak, çevre kirliliği kabul edilemeyecek derecelere yükselmiştir. Otomotiv sektörünün çevre kirliliğine olan etkilerinin geri dönülmez bir düzeye ulaşmakta olduğunu fark eden pek çok devlet konuyla ilgili önlem almaya başlamıştır. Bu amaçla ülkeler, emisyon seviyelerini düşürmek için yeni yasalar çıkarmıştır. Çıkarılan bu yasalar pek çok otomotiv üreticisini alternatif enerjili araçlar üretmeye zorlamıştır. Çünkü içten yanmalı motorun yapısı giderek zorlaşan emisyon standartlarını sağlamaya uygun değildir.

Alternatif enerjili araç çalışmaları; elektrikli araçlar, yakıt hücreli araçlar ve hibrit araçlar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Henüz gelişme aşamasında olan bu araç yapılarının her birinin ayrı avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Ancak tüm alternatif enerjili araçların dezavantajlarının ilk sıralarında, uygun enerjinin üretimi ve depolanması sorunu gelmektedir. Örneğin hidrojen yakıt hücreli araçlarda yakıtın elde edilmesi ve uygun istasyonlarda satılması büyük bir sorunken, elektrikli araçlarda elektrik enerjisinin depolanması büyük bir sorun teşkil etmektedir. Elektrikli araçlar ve içten yanmalı araçlar arasında bir geçiş bölgesinde olan hibrit araçlar, günümüzde oldukça popüler bir alternatif enerjili araç türüdür. Generatör seti sayesinde elektrik enerjisinin depolanması sorununa alternatif bir çözüm üretilirken, elektrik enerjisi ile alınan mesafelerde de sıfır emisyon değerine sahip olunmaktadır.

Hibrit araçlarda kullanılan düşük verimli içten yanmalı motor nedeniyle, aracın enerji yönetim sisteminin doğru bir şekilde tasarlanması oldukça önemlidir. Başta içten yanmalı motor olmak üzere, tüm sistem komponentlerini en yüksek verim bölgesinde uyumlu bir şekilde çalıştırmak, tüm enerji yönetim sistemlerinin esas amacıdır. Literatürde hibrit araçların kontrolü için pek çok farklı yöntem mevcuttur. Bu yöntemler çevrimiçi ve çevrimdışı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Çevrimdışı yöntemler, yüksek işlem yoğunluğu nedeniyle gerçek zamanlı çalışması zor olan ancak optimum çözüme en çok yaklaşan uygulamalardır. Doğrusal programlama, dinamik programlama, genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemleri en çok kullanılan çevrimdışı yöntemlerdir. Bu yöntemler sıklıkla çevrimiçi yöntemlerin başarı oranını ölçmek için kullanılır. Çevrimiçi yöntemler ise araç üzerinde gerçek

zamanlı çalışabilen yöntemlerdir. Bu yöntem kendi içinde kural tabanlı kontrol ve optimizasyon tabanlı kontrol olarak ikiye ayrılır. Kural tabanlı algoritmalar, önceden tanımlanmış kural setlerine bağlı olarak çalışan kontrol yöntemleridir. Uygulama ve gerçek zamanlı çalışma kolaylığı nedeniyle sıkça tercih edilirler. Kural tabanlı algoritmalar kendi içlerinde deterministik kural tabanlı algoritmalar ve bulanık mantık tabanlı algoritmalar olmak üzere ikiye ayrılır. Aralarındaki temel fark deterministik yöntemler kesin sınırlara sahipken, bulanık tabanlı yöntemlerin daha esnek geçişlere sahip olmasıdır. Optimizasyon tabanlı yöntemler ise global optimizasyon problemlerini yerel optimizasyon problemlerinin arka arkaya çözülmesi şeklinde indirgeyerek, çevrimdışı yöntemlerde görülen yüksek yoğunluklu işlem yükünü hafifleterek sistemin gerçek zamanlı olarak çalışabilmesini sağlar. En çok tercih edilen optimizasyon tabanlı yöntemler; eşdeğer tüketim azaltma stratejisi, model kestirimci kontrol ve yapay sinir ağlarıdır.

Tez kapsamında ISUZU NPR10 Long model şarj edilebilir seri hibrit bir kamyon için enerji yönetim sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen araç çöp kamyonu olarak kullanılacaktır. Konvansiyonel araçtan hibrit sisteme geçilirken öncelikle aracın çalışma şekli incelenmiş ve komponentlerin gereksinimleri belirlenmiştir. Bu amaçla öncelikle konvansiyonel bir araç üzerinde yol testleri yapılmış ve aracın enerji tüketim, güç isteri, günlük alınan yol gibi veriler toplanmıştır. Ardından veriler yorumlanarak araç için uygun komponentler seçilmiş ve konvansiyonel aracın, elektrikli araca dönüşümü tamamlanmıştır. Sonraki aşama ise aracın enerji yönetim metodunun belirlenmesidir. Bu amaçla metodunun belirlenmesi için literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Uygulama kolaylığı ve gerçek zamanlı çalışılabilirlik durumları göz önünde bulundurulduğunda, kural tabanlı yöntemlerin seçimi uygun olarak görülmüştür.

Geliştirilen ilk EMS deterministik kural tabanlı bir kontrolcüdür. Burada araç üzerindeki komponentlerin verim haritaları göz önünde bulundurularak temel bir enerji yönetim sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen ilk kontrolcü, aracın kullanım amacı ve çalışma koşullarından bağımsız olarak tasarlanmıştır. Geliştirilen ikinci kontrolcü ise bulanık mantık tabanlı bir kontrolcüdür. Deterministik kontrolcünün fonksiyonlarından olan araç çalışma modu ve generatör seti hızı belirleme işlemleri, geliştirilen yeni kontrolcüde bulanık mantık tabanlı kontrolcüler tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu fonksiyonların bulanık mantık kontrolcüler tarafından yaptırılmasındaki temel amaç, araç performansı ve yakıt tüketimini doğrudan etkileyen bu fonksiyonların daha yüksek doğruluk oranında gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Deterministik kural tabanlı kontrolcüde modların ve hız geçişlerinin kesin sınırlar ile belirlenmesi ve doğrudan tasarımcı tecrübesine bağlı olması, bazı durumlarda sistemin nistepeten düşük verim seviyelerinde çalışmasına neden olabilmektedir. Bulanık mantık tabanlı kontrolcüye geçiş ile bu durumun önlenmesi hedeflenmiştir.

Geliştirilen ikinci kontrolcünün bir diğer özelliği, aracın kullanım amacı göz önünde bulundurularak tasarlanmış olmasıdır. Çöp kamyonları, çalışma koşulları gereği sabit rotalı araçlar sınıfındadır. Bu araçlar gün içinde belirli rotaları belirli saatlerde tamamlarlar. Bu nedenle aracın enerji tüketiminin öngörülmesi nispeten kolaydır. Geliştirilen aracın tasarım hedeflerinden biri çöp toplama alanı olan yerleşim bölgelerinde sıfır emisyonu sahip olması ve gürültü seviyesinin azaltılmasıdır. Bu tasarım hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi için aracın yerleşim bölgelerinde elektrikli modda çalıştırılması gerekmektedir. Belirtilen bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi bulanık mantık tabanlı kontrolcüye, çevrimdışı çalışan bir kısım eklenmiştir.

Algoritmanın bu kısmının ilk olarak; araç rotası, sürüş saati ve sürücü bilgilerini kullanarak hafızasından eski enerji tüketim bilgisini okur. Ardından araçta yakıt deposunda ve bataryada depolanan toplam enerjiyi kontrol ederek rotanın tamamlanması için yeterli enerjiye sahip olup olmadığı bilgisini sürücü ile paylaşır. Ardından aracın elektrikli modda çalışılacak alana gelene kadar bataryasında yeterli enerji miktarını depolaması için bir referans SOC sinyali oluşturur. Oluşturulan bu sinyal ardından çevrimiçi çalışan kontrolcüye giriş sinyali olarak aktarılır. Çevrimiçi kontrolcünün bulanık mantık araç çalışma modu seçimi kontrolcüsü tarafından kullanılan bu sinyal, aracın elektrikli çalışma alanına gelene kadar yeterli enerjiyi depolamak için hangi çalışma modunda çalışması gerektiğini belirler. Kullanılan bulanık mantık kontrolcüler sayesinde kontrolcü tasarımcısının, aracın doğrusal olmayan yapısı gereği göz önünde bulunduramadığı pek çok durumda daha esnek bir karar mekanizmasına sahip olması sağlanır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen iki farklı enerji yönetim sistemi kontrolcüsünün modellenmesi açıklanacak ve performans sonuçları elde edilerek karşılaştırılacaktır.

Tezin birinci bölümünde konvansiyonel araçların neden olduğu çevre kirliliği ve buna karşı devletlerin aldığı önlemler, geliştirilen alternatif enerjili araçlar ve bunların türlerinden bahsedilmektedir.

Tezin ikinci bölümünde; konvansiyonel bir çöp kamyonuna yapılan yol testlerinden, seri hibrit NPR 10 Long kamyonun temel özelliklerinden ve aracın TruckMaker ortamında modellenmesi ele alınmaktadır.

Tezin üçüncü bölümünde ise, hibrit araçlarda kullanılan enerji yönetim sistemleri hakkında literatür taraması geniş kapsamlı olarak ele alınarak incelenmektedir.

Tezin dördüncü bölümünde, geliştirilen deterministik kural tabanlı enerji yönetim sistemi ve bulanık mantık tabanlı enerji yönetim sistemi hakkında ayrıntılı bilgiler ve modellemeler açıklanmaktadır.

Tezin beşinci bölümünde ise geliştirilen iki EMS kontrolcüsünden elde edilen performans sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi verilmektedir.



DEVELOPMENT OF FUZZY LOGIC BASED ENERGY MANAGEMENT SYSTEM ALGORITHMS FOR HYBRID ELECTRIC TRUCK

SUMMARY

The automotive sector has a great importance in our developing world. While the people provide the mobility they need through the automotive sector, the sector is evolving. Most of the vehicles currently used are fossil fuel consuming vehicles with internal combustion engines. The number of these vehicles are increasing day by day. As a result of the increase in the use of fossil fuels that release hazardous waste to the environment, environmental pollution has increased to unacceptable levels. Many states that have realized that the effects of the automotive sector on environmental pollution are reaching an irreversible level have begun to take measures on this issue. To this end, countries have adopted new laws to reduce emissions. These laws have forced many automobile manufacturers to produce alternative energy vehicles. Because the internal combustion engine structure is not suitable to comply with increasingly difficult emission standards.

Alternative energy vehicle studies concentrates on electric vehicles, fuel cell vehicles and hybrid vehicles. Each of these vehicle structures, which are still in development, has different disadvantages. However, the problem of production and storage of the appropriate energy is in the first ranks of the disadvantages of all alternative energy vehicles. For example, in the case of hydrogen fuel cell vehicles, obtaining fuel and selling at suitable stations is a major problem, while the storage of electrical energy in electric vehicles is a major problem. Hybrid vehicles, which are in the transition zone between electric vehicles and internal combustion vehicles, are a popular alternative energy vehicle today. Hybrid vehicles are equipped with a generator set that stores electrical energy as an alternative solution to the problem, and has 0 emission value at distances taken with electrical energy.

Due to the low efficiency internal combustion engine used in hybrid vehicles, it is very important that the energy management system of the vehicle is done correctly. The main purpose of all energy management systems is to operate all system components in the highest efficiency region in the most efficient way. There are many different methods for the control of hybrid vehicles in the literature. These methods are divided into online and offline methods. Offline methods are applications that are difficult to run in real time due to high processing density but are most close to the optimum solution. Linear programming, dynamic programming, genetic algorithm and particle swarm optimization methods are the most commonly used offline methods. These methods are often used to measure the success rate of online methods. Online methods are real-time methods on the vehicle. This method is divided into two as rule-based control and optimization-based control. Rule-based algorithms are control methods

that operate based on predefined rule sets. They are frequently preferred for application and real-time operation. Rule-based algorithms are divided into deterministic rule-based algorithms and fuzzy logic-based algorithms. The main difference between them is that deterministic methods have definite boundaries, whereas fuzzy based methods have more flexible transitions. Optimization-based methods reduce global optimization problems by sequential resolution of local optimization problems, thus allowing the system to operate in real time by reducing the high-intensity processing load seen in offline methods. Most preferred optimization-based methods; equivalent consumption reduction strategy, model predictive control and artificial neural networks.

Within the scope of the thesis, an energy management system has been developed for plug in ISUZU NPR10 Long model serial hybrid truck. The developed vehicle will be used as garbage truck. When switching from conventional vehicle to hybrid system, the operation of the vehicle was examined and the requirements of the components were determined. For this purpose, road tests have been performed on a conventional vehicle and the data such as energy consumption, power demand, daily collected route are collected. Then the data were interpreted and the appropriate components for the vehicle were selected and the conversion of the conventional vehicle to the electric vehicle was completed. The next step is to determine the energy management method of the vehicle. For this purpose, literature review was done to determine the method. Given the ease of implementation and real-time workability, the choice of rule-based methods was deemed appropriate. The first controller developed is a deterministic rule-based controller. Here, a basic energy management system has been developed by considering the efficiency maps of the components on the vehicle. The first controller developed was designed independent of the intended use and operating conditions of the vehicle. The second controller developed is a fuzzy logic-based controller. The vehicle operating mode and generator set speed determination, one of the functions of the deterministic controller, are carried out by fuzzy logic-based controllers in the newly developed controller. The main purpose of these functions by fuzzy logic controllers is to ensure that these functions are directly affected by vehicle performance and fuel consumption at a higher accuracy rate. In deterministic rule-based controller, determining the modes and velocity transitions with exact boundaries and being dependent on direct designer experience may cause the system to operate at low efficiency levels in some cases. This is aimed at preventing this by using to a fuzzy logic-based controller.

Another feature of the second controller is that it is designed with the purpose of use of the vehicle. Garbage trucks are in the class of vehicles with a fixed course due to working conditions. These vehicles complete certain routes during the day. Therefore, it is relatively easy to predict the energy consumption of the vehicle. One of the design objectives of the developed vehicle is to have zero emissions in the residential area with garbage collection area and to reduce the noise level. In order to achieve these design objectives, the vehicle must be operated in electrical mode in residential areas. In order to perform these operations, an offline working part added to a fuzzy logic-based controller has been. This part of the algorithm first reads old energy consumption information from the memory using the vehicle route, driving time and driver information. It then checks the total energy stored in the fuel tank and the battery and shares the information with the driver whether or not it has enough energy to complete the route. It then generates a reference SOC signal to store sufficient energy in the battery until the vehicle is in the electric mode. This generated signal is then

transmitted to the online controller as an input signal. This signal, used by the online controller's fuzzy logic vehicle operating mode selector controller, determines which operating mode should operate to store enough energy until the vehicle is in the electrical work area. Thanks to fuzzy logic controllers, it is ensured that the controller designer has a more flexible decision-making mechanism in many cases resulting from the non-linear nature of the vehicle which the designer cannot consider.

Within the scope of the thesis, modeling of two different controllers will be explained and their performances will be compared.

In the first part of the thesis, the environmental pollution caused by conventional vehicles and the measures taken by the states, alternative energy vehicles developed and their types are mentioned.

In the second part of the thesis, the road tests of a conventional garbage truck are explained and the basic features of the series hybrid NPR 10 Long and the modeling of the vehicle in the TruckMaker environment is discussed.

In the third part of the thesis, there is a literature review about energy management systems used in hybrid vehicles.

In the fourth part of the thesis, there are explanations about the deterministic rule based energy management system and fuzzy logic based energy management system.

In the fifth part of the thesis, the performances of the two controllers were compared.



1. GİRİŞ

Gelişen dünyamızda otomotiv sektörü büyük önem taşımaktadır. Otomobiller modern toplumun gelişmesine büyük katkı sağlamıştır. İnsanlar günlük hayatta ihtiyaç duydukları hareketliliği hızla gelişen otomotiv sektörü ile gidermişlerdir. Önemi her geçen gün artan otomotiv sektörü, bu durumun sonucu olarak hızlı bir gelişim göstermiştir. Büyüyen sektörün mühendisliğe katkılarının yanı sıra pek çok ülkede otomotiv, ekonominin bel kemiği haline gelmiştir. Yan sanayiden satış sonrası hizmetlere kadar otomotiv sektörü pek çok farklı alanda insanları istihdam etmektedir. Aktif olarak çalışan insanların Avrupa’da beşte biri, Amerika’da dörtte biri direkt ya da dolaylı olarak otomotiv sektöründe çalışmaktadır [1].

1.1 Konvansiyonel Araçların Neden Olduğu Çevre Kirliliği

Günümüzde kullanılan araçların çok büyük bir kısmı içten yanmalı motora sahip, fosil yakıt tüketen araçlardır ve sayıları ise her geçen gün artmaktadır. Dünya çapında araçlar günde yaklaşık 2.8 milyar litre yakıt tüketmektedir [2,3]. Artan fosil yakıt tüketiminin çevreye verdiği zarar da giderek artmaktadır. Bu zararlar emisyon kaynaklı hava kirliliği, küresel ısınma ve hızla azalan petrol rezervleridir. Hava kirliliğinin temel nedeni fosil yakıtların yanması sonucu oluşan zehirli atıklardır. Hidrokarbonlardan oluşan fosil yakıtların, içten yanmalı motorlarda yanmasıyla araçlarda çekiş enerjisi elde edilir. Bu yanma reaksiyonu sonunda karbondioksit (CO_2), su (H_2O) ve çevreye zararlı azot oksitleri (NOX), karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbonlar açığa çıkar [4]. Araçlar yılda 2.7 milyar ton emisyonu neden olmaktadır [2,5]. Fosil yakıtların yanmasıyla oluşan emisyon sonucu atmosfere salınan CO_2 ve diğer gazlar sera gazı etkisi oluşturur. Bu durum küresel ısınmaya da neden olmaktadır.

Sera gazı salınımında otomotiv sektörünün payı çok yüksektir. 2012 yılında toplam enerji tüketiminin %27’si, sera gazı salınımının ise %33.7’si taşıma sektörü kökenlidir [6,7]. Sera gazı salınımında ilk sıralarda yer alan Amerika’da, 2014 yılında sera gazı emisyonunun %26’sı taşıma sektöründen kaynaklanmaktadır [8]. Otomotiv sektörünün

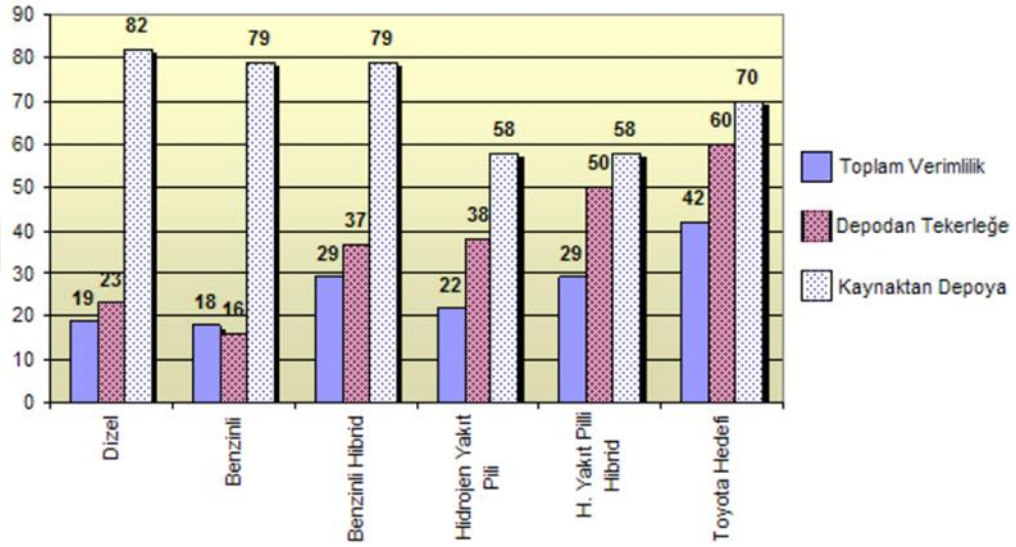
çevreye olan etkilerinin geri dönülmez bir düzeye ulaşmakta olduğunu fark eden devletler konuyla ilgili önlem almaya başlamıştır. 2015 yılında 100’den fazla ülke küresel ısınmayı 2 °C’nin altında tutmak ve geri dönüşü olmayan çevresel ve ekonomik zararları durdurmak adına Paris Antlaşmasını imzalamıştır [9]. Pek çok ülkede emisyon seviyelerini düşürmek adına yeni yasalar çıkartılmıştır.

Emisyon seviyelerini düşürmek için fosil yakıtlar yerine alternatif enerjiler kullanılan araçlara yönelme başlamıştır. 2014 ve 2015 yılları arasında, elektrikli ve hibrit araçların satışı %70 oranında artış göstermiştir [2]. Bu konuda devletler kadar, vatandaşlar da hassasiyet göstermektedir. Lin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [10], Çin’in dört büyük kentinde alternatif enerjili otobüslerin kullanılması için insanların ödeme yapma istekleri üzerine yapılan bir araştırma anlatılmaktadır. Bu çalışmada, insanların %80’inin yenilenebilir, alternatif enerjili otobüslerin kullanımını desteklemek için fazladan ödeme yapmayı kabul ettikleri görülmüştür.

Farklı alternatif enerjili araç topolojileri üzerine olan çalışmalar devam etmektedir. En popüler alternatif enerjili araç türleri; elektrikli araçlar, hidrojen yakıt hücresel araçlar ve hibrit araçlardır. Her bir topoloji henüz gelişme aşamasındadır. Gelişme aşamasında olan her teknolojiye olduğu gibi, alternatif enerjili araç teknolojilerinin de zayıf yanları mevcuttur. Örneğin, yandığında sadece su buharı oluşturan, sıfır emisyonlu hidrojenin araçlarda yakıt olarak kullanılması oldukça popüler bir konudur. Fakat enerji kaynağının üretiminden, araçta çekiş enerjisine dönüştürülmesine kadarki süreç düşünüldüğünde, hidrojen sıfır emisyonlu bir yakıt değildir. Doğada saf halde bulunmayan hidrojeni elde etmek için fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Bu durum hidrojenin elde edilmesinden araçta kullanılmasına kadar ki süreçte enerjinin kaybedilmesine ve emisyonu neden olmaktadır [11]. Ayrıca yakıt hücresel araçlar için gerekli dolun istasyonu altyapısı bulunmadığı için, araçların ilk yatırım maliyeti çok yüksektir [2]. Elektrikli araçların en büyük dezavantajı ise bataryalardır. Batarya teknolojisi henüz gelişme aşamasındadır. Bataryaların enerji yoğunluğu, fosil yakıtlara oranlara çok daha düşüktür. Bu durum düşük menzil ve ya aynı menzil için daha yüksek batarya ağırlığı ile sonuçlanmaktadır. Bataryaların yüksek maliyeti ise elektrikli araçların bir diğer dezavantajıdır. Ref [6]’da bahsedildiği üzere, batarya maliyeti yaklaşık olarak elektrikli bir aracın maliyetinin %45.3’ü civarındadır.

Farklı alternatif enerjili araç topolojilerini karşılaştırmak için en sık kullanılan yöntem verim analizidir. Aracın toplam verimini hesaplamak için literatürde gösterilen en

kapsamlı yöntem; enerji kaynağının üretilmesinden, araçta hareket enerjisine çevrilmesine kadarki süreci kapsayan analizdir. Correa ve arkadaşları [2] da bu yöntemi kullanılarak farklı araç topolojilerini incelemişlerdir. Hibrit araçların kısa ve orta vadede en iyi alternatif enerjili araç türü olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Şekil 1’de Toyota tarafından 2003 yılında yapılan bir enerji verimliliği karşılaştırılması gösterilmektedir. Bu karşılaştırma hibrit araç topolojisinin verimliliğinin, diğer araçlardan fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.1 : Çeşitli enerji kaynakları ile çalışan taşıtların, kaynaktan tekerleğe verimlilikleri [11].

Çöp kamyonları, belirli bir rota kapsamında çalışma şekilleri nedeniyle sürekli dur-kalk yapmak zorundadır. Bu çalışma şeklinin sonucu olarak da, çöp kamyonları yüksek yakıt tüketimi ve emisyon değerlerine sahiptir. Araştırmalar çöp kamyonlarının yılda 4.5 milyar litre yakıt tükettiğini göstermektedir [8]. Bu doğrultuda tez kapsamında, içten yanmalı motora sahip bir kamyonun seri hibrit elektrikli bir çöp kamyonuna çevrilmesi, modellenmesi ve kontrolü gerçekleştirilecektir. Kullanılacak araç ISUZU NPR10 Long model bir kamyondur. Çalışmanın başlangıç noktası olarak konvansiyonel bir çöp kamyonuna çevrim testleri uygulanmıştır. Test verileri incelenerek aracın hibritleştirilmesi için gerekli komponentlerin boyutları ve yapıları belirlenmiştir. MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan araç modeli üzerinde farklı kontrol algoritmaları denenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Geliştirilen ilk EMS algoritması, kural tabanlı bir algoritmadır. Komponentlerin verim haritaları kullanılarak tasarlanan bu modelin performans sonuçları, doğrudan tasarımcının tecrübesi ile ilişkilidir. Geliştirilen ikinci EMS algoritması ise, kural tabanlı ilk

algoritmada türetilmiştir. Kural tabanlı algoritmada da bulunan generatör seti hız seçimi ve araç çalışma modu belirleme fonksiyonları, ikinci EMS’de bulanık mantık kontrolcüler tarafından yapılmaktadır. Bu fonksiyonların bulanık mantık kontrolcüye geçirilme nedeni, durum geçişlerinde kesin sınırlar koymak yerine, sisteminin doğrusal olmayan yapısını da göz önünde bulundurarak tasarımcının geçiş aralıklarını daha geniş bir sınırdan belirleyebilmesini ve buna bağlı olarak sistemin verinin arttırılmasını sağlamaktır. Ayrıca ikinci EMS algoritmasında aracın çalışma şekli de göz önünde bulundurulmuştur. Aracın çöp kamyonu olması, yerleşim alanlarında sıfır emisyon ve mümkün olan en düşük gürültü seviyesine sahip olması için elektrikli modda kullanılması gerekmektedir. İkinci EMS algoritmasına eklenen çevrimdışı kontrolcü, aracın yerleşim alanları içerisinde elektrikli modda çalışabilmesi için sürüş çevrimi boyunca aracın çalışma modunu belirlemektedir.

1.2 Elektrikli Araçların Tarihçesi

Enerji depolama birimlerinde depolanan elektrokimyasal enerjiyi, elektrik motorları vasıtasıyla mekanik enerjiye çeviren elektrikli araçların tarihi, bilinenin aksine çok eskiye dayanmaktadır. Bilinen ilk elektrikli araç 1832 yılında Robert Anderson tarafından geliştirilmiştir. Bu aracı 1835 yılında Hollandalı Profesör Stratingh tarafından geliştirilen ve 1834-1836 yılları arasında ABD’de geliştirilen araçlar izlemiştir. ABD’de geliştirilen aracın şarj edilemeyen bataryalara sahip olduğu raporlanmıştır. Araçlar, bu özellikleri nedeniyle ticari anlamda başarı kazanamamıştır. 1859’da şarj edilebilen kurşun asit bataryaların gelişmesiyle, elektrikli araçlar ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1881 yılında Trouve Plante tarafında kurşun asit bataryalar kullanılarak geliştirilen elektrikli araç halka sunulmuştur. Kurşun asit bataryalar kullanılarak 1882 yılında William Ayrton ve John Perry tarafından geliştirilen elektrikli araç 20km menzil ve azami 14 km/s hız değerlerine sahiptir.

19. yy’ın sonlarında pek çok şirket elektrikli araç üretmeye başlamıştır. Bu şirketlerden en çok bilineni Electric Carriage and Wagon Company’dır. Morris ve Salomon’un sahip olduğu bu şirket 1895 yılında Electrobats isimli elektrikli aracı üretmiştir.

Aynı dönemlerde gelişme göstermekte olan içten yanmalı motorlu araçların gürültü, çevre kirliliği, krank kolu ile çalışmaya başlatılma zorunluluğu gibi pek çok

dezavantajı vardır. İçten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslandığında, elektrikli araçların en büyük dezavantajları kısa menzil ve batarya ağırlığı sorunudur. Bu dezavantajlara rağmen Amerika’da 1900’lü yıllarda elektrikli araçların sayısı yaklaşık olarak içten yanmalı motorlu araçların sayısının iki katıdır. 1918 yılında Amerika’da 50.000 kadar elektrikli araç kullanılmaktaydı [20].

1920’li yıllarda Amerika’da şehirlerarası yolların açılmaya başlaması ve buna bağlı olarak kullanıcıların sürüş mesafesinin artmasıyla elektrikli araçların menzil sorunu daha büyük bir sorun haline geldi. Bu dönemde hibrit araç denemeleri yapılmıştır ancak karışık sistem yapısı ve yüksek maliyet nedeniyle bu araçlar ilerleyen dönemde tercih edilmemiştir. Bu sürecin sonucunda içten yanmalı motorlu araçlar, elektrikli ve hibrit araçların yerini almıştır.

O dönemde düşük petrol fiyatı, susturucu icadı ile gürültü probleminin çözülmesi ve marş motorunun icadı gibi gelişmeler, içten yanmalı motorun daha fazla kullanılabilir hale gelmesini sağlamıştır. Dönemin şartlarında elektrikli araçla kıyaslandığında, içten yanmalı motorlu araçların düşük maliyetleri bir diğer avantajlarıdır.

1960’lı yıllarda çevre kirliliği sorunun baş göstermesiyle elektrikli araçlar tekrar gündeme gelmiştir. Bu dönemde artan petrol fiyatları da elektrikli araçlara yönelimi arttırmıştır. 1970’li yıllarda baş gösteren petrol krizi nedeniyle pek çok ülke elektrikli araç çalışmalarına hız vermiştir. İlerleyen süreçte devletler çevre kirliliğinin de önüne geçilmesi için elektrikli araç çalışmalarını teşvik etmiştir. Bu teşviklerin sonucu olarak 90’lı yılların sonunda Peugeot 106 Electric ve Nissan Altra EV gibi araçlar tanıtılmaya başlamıştır [49]. 2000’li yıllara gelindiğinde elektrikli araç pazarındaki çeşitlilik hızlı bir artış göstermiştir. 2008 yılında Tesla Motors tarafından üretilen Roadster ilk defa satışa sunulmuştur. Roadster’ı 2009 yılında müşteriye sunulan Mitsubishi i MiEV ve 2010 yılında piyasaya çıkan Nissan Leaf izlemiştir. Günümüzde pek çok otomotiv firması elektrikli araç çalışmalarına aktif bir şekilde devam etmektedir.

1.3 Hibrit Elektrikli Araçların Tarihçesi

Hibrit otomobilin tarihçesi çok eskiye dayanmaktadır. Geliştirilen ilk hibrit araçlarda amaç günümüzdeki gibi yakıt tasarrufu sağlamak değil, içten yanmalı motora bir elektrik motoru sayesinde destek sağlanmasıdır. Bilinen ilk hibrit araç, Henri Pieper

tarafında 1899 yılında tasarlanan paralel hibrit araçtır. Bu araç, benzinli motora destek sağlayan elektrik motoru ve kurşun asit bataryalardan oluşmaktadır [4,12].

1901 yılında Ferdinand Porche tarafından tasarlanan seri hibrit araç, aynı yıl Exelberg Rallisi'ni kazanmış ve Avusturya'da pek çok hız rekorunu kırmıştır. Bu araç benzinli bir motor tarafından desteklenen hub motorlar ve küçük bir batarya paketinden oluşmaktadır. Aracın en yüksek hızı 50 km/h ve menzili ise 50 km'dir [13].

1915 yılında elektrikli araç üretici Woods Motor şirketi tarafından başka bir hibrit araç üretilmiştir. 55 km/h en yüksek hız değerine sahip olan araç, 25km/h hızın altında elektrik motoru tarafından sürülürken, daha yüksek hızlarda içten yanmalı motor tarafından sürülmektedir [13].

Hibrit ve elektrikli araç teknolojisinde önemli yer tutan rejeneratif frenleme sistemi, 1978 yılında David Arthurs tarafından geliştirilmiştir [13].

1989 ve 1991 yıllarında Audi tarafından, Audi 100 Avant Quattro model araç üzerinde çalışılan hibrit prototipler geliştirilmiştir.

İçten yanmalı motorlardaki teknolojilerin hızla gelişmesi ve petrolü araçların toplu üretilerek ucuza satılması, hibrit ve elektrikli araç piyasasında durgunluğa neden olmuştur. Hibrit araçların popülerlik kazanması, 1990'lı yıllarda Honda Insight ve Toyota Prius modelleri ile gerçekleşmiştir. İlk üretildikleri tarihten itibaren yüksek talep gören bu araçlarda paralel hibrit yapısı tercih edilmiştir.

1.4 Hibrit Elektrikli Araç Türleri

Araç sistemleri üç ana başlık altında incelenir. Bunlar; içten yanmalı motorlu (İYM) araçlar, hibrit araçlar ve elektrikli araçlardır. İYM araçlar ilk konvansiyonel araçlardır. Bu araçlarda çekiş enerjisinin tamamı İYM'den sağlanır. Araçta elektrik motoru bulunmamaktadır. Elektrikli araçlarda, çekiş enerjisinin tamamı bir elektrik motorundan sağlanmakta olup İYM bulunmamaktadır. Bu araçlar sıfır emisyon değerine sahiptir. Ancak menzil, uzun şarj süresi gibi teknik olarak henüz aşılamayan engelleri vardır. İYM'li ve elektrikli araçlar arasında bir geçiş olan hibrit araçlar ise yapısında hem İYM hem elektrik motoru bulundurarak elektrikli araçların teknik kısıtlamalarını aşmayı başarır.

Araçların hibritleştirilmesinde iki temel yol vardır. Bunlardan ilki belirli bir sürüş profilinde enerji kaynağından tekerleğe kadar en yüksek verimi ve mümkün olan en düşük emisyon seviyesini elde etmek hedefi ön planda tutularak yapılan tam hibrit araçlardır [14]. Bunlar elektrikli modda alınan yolu uzatarak emisyon değerlerini düşüren araçlardır. Ancak maliyetleri yüksektir. İkinci yöntem ise maliyeti düşüren, içten yanmalı motora destek olan mikro ve hafif (mild) hibrit araçlardır. Elektriksel gücün seviyesi ve motorun görevine göre, hibrit araçlar 3 kategoriye ayrılır. Bunlar; mikro hibrit, hafif hibrit ve tam hibrit araçlardır [14, 15].

1.4.1 Mikro hibrit araçlar

İçten yanmalı motora sahip araçlar, ilk çalışma esnasında fazla yakıt tüketmektedirler. Mikro hibrit araçlarda kullanılan elektrik motoru, içten yanmalı motoru; kalkış ve duruş anlarında destekler, sürüşe katkı sağlamaz. Bu elektrik motoru düşük gerilim (12-14V) ve güç (5 kW) seviyelerindedir. Sürekli dur kalk yapılan şehir trafiğinde, mikro hibrit araçların enerji tasarrufuna katkısı %5-10 arasında değişmektedir. Düşük güçte elektrik motoru kullanımı ve mikro hibrit yapısının sadeliği nedeniyle, araç maliyeti konvansiyonel aracın maliyetine çok yakındır [15,17].

1.4.2 Hafif hibrit araçlar

Hafif hibrit araçların yapıları kısmi olarak mikro hibrit araçlara benzer ancak elektrik motoru boyutları biraz daha büyüktür. Hafif hibrit araçlarda gerilim seviyesi 150 V, güç seviyesi ise 7-12 kW civarındadır. Elektrik motoru, içten yanmalı motora direk bağlanacak şekilde tasarlanır. Motor yüksek çap/uzunluk oranı nedeniyle, yüksek ataletle sahip olur. Bu durum sayesinde, içten yanmalı motorda kullanılan volanın yerini alabilecek özelliktedir. Araç yapısı olarak paralel hibrit yapısı ile benzerdir. Bu araçlarda elektrik motoru, İYM ile birlikte sürüşe destek olur. Bu sayede %30'a varan yakıt tasarrufu sağlanır. Mikro hibrit araçlarda olduğu gibi hafif hibritlerde de elektrik motoru aracı tek başına hareket ettirebilecek performans özelliklerine sahip değildir. Hafif hibrit yapısı araç maliyetini %20-30'a kadar arttırmaktadır [15,17].

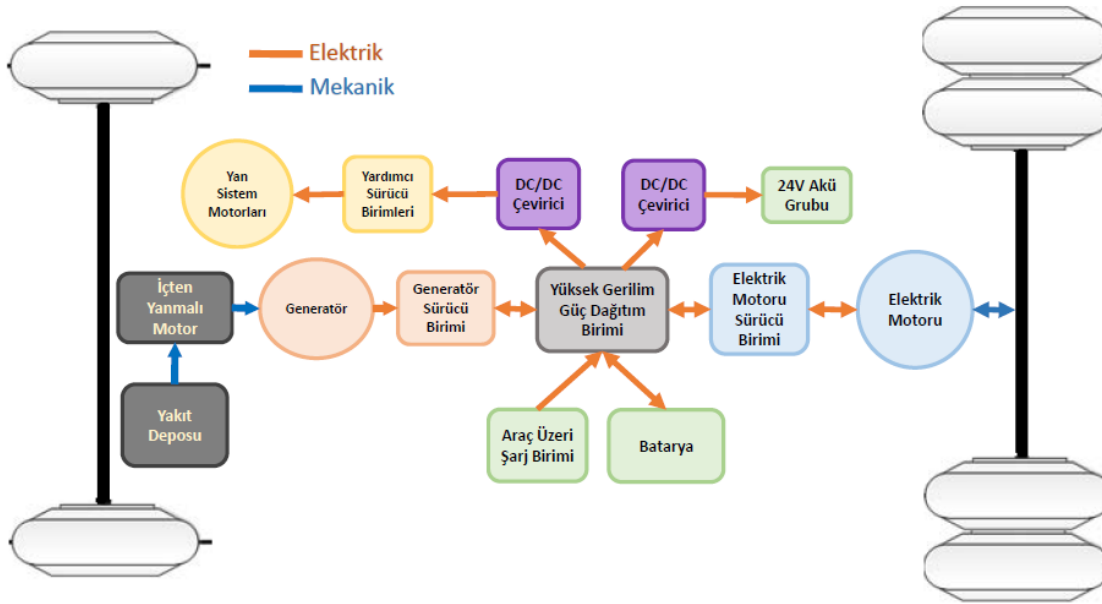
1.4.3 Tam hibrit araçlar

Tam hibrit araçların diğer hibrit araçlardan farkı, sadece elektrik motoru veya sadece içten yanmalı motor ile de hareket ettirilebilir olmasıdır. Bu araçlarda yakıt tasarrufu

daha fazladır ve daha karmaşık bir yapıya sahiptirler. Tam hibrit araçlar, çalışma prensibine göre dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar; seri hibrit, paralel hibrit, seri-paralel hibrit, kompleks hibrit araçlardır.

1.4.3.1 Seri hibrit araçlar

Seri hibrit araçların çekiş sistemi, elektrikli araçlar ile aynı yapıdadır, çekişin tamamı elektrik motoru tarafından sağlanır. Seri hibrit araçlarda içten yanmalı motora mekanik olarak bağlanan bir generatör bulunmaktadır. Bu generatör elektrik enerjisi üreterek bataryayı şarj edebilmekte veya elektrik motorunun enerji ihtiyacını doğrudan sağlayabilmektedir. Elektrik motoru elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek aracın tekerleklerine aktarmaktadır. Seri hibrit araçlarda elektrik motoru ve içten yanmalı motor birbirlerine mekanik olarak bağlı değildir. Bundan dolayı elektrik motorunun aracın hareket ettirebilmesi için gerekli bütün isterlere sahip olması gerekmektedir. Şehir içinde aracın sürekli durup kalkması gereken yoğun trafik koşulu için en uygun hibrit araç yapısıdır. Ancak enerji dönüşümü nedeniyle %25 civarında düşük bir verime sahiptir [17].



Şekil 1.2 : Seri hibrit araç yapısı.

Seri hibrit araçların avantajları :

- Transmisyonu ihtiyaç duyulmamaktadır. Elektrik motoru doğrudan aracı tahrik ettiğinden genellikle tek kademeli dişli kutusu yeterli olmaktadır.

- İçten yanmalı motorun, tekerlekler ile direk bağlantısı olmadığı için motor verimin yüksek olduğu hız aralığında çalıştırılabilir. Bu sayede daha küçük motor kullanımı ve daha düşük emisyon salınımı mümkün olmaktadır [16].
- Sürüş için sadece elektrik motorunun kullanılması kontrol kolaylığı sağlar.
- İçten yanmalı motor ünitesi ve elektrik motoru mekanik olarak birbirine bağımlı olmadıkları için araç üzerinde istenilen konuma yerleştirilebilmektedir.
- Bu sistemdeki içten yanmalı motor, geleneksel motorlara göre daha az donanıma ihtiyaç duymaktadır. Örneğin, marş motoru ve alternatöre ihtiyacı yoktur. Çünkü bağlı bulunduğu generatör bu işlemleri yapmaktadır.

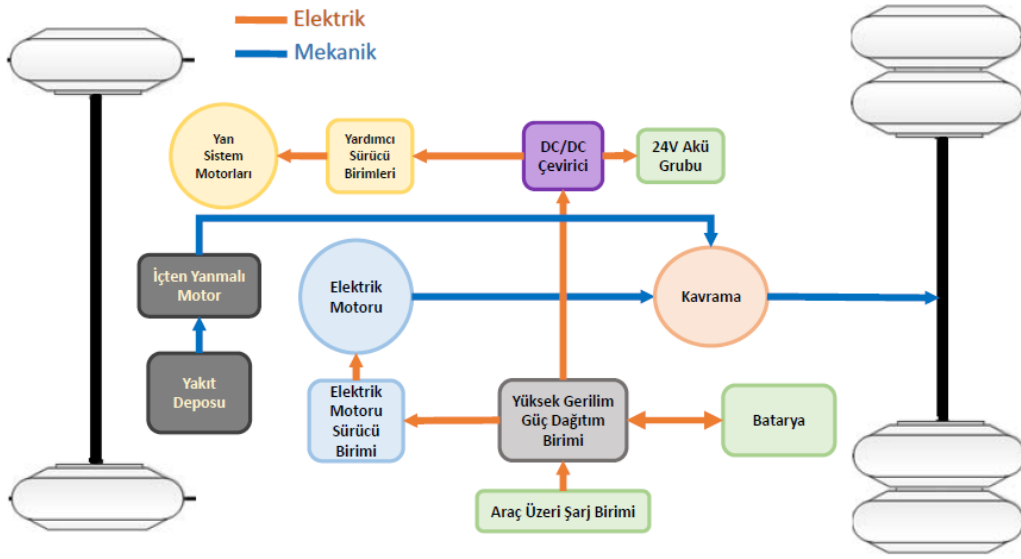
Seri hibrit araçların dezavantajları :

- İçten yanmalı motor, generatör, batarya ve elektrik motorunun bir arada kullanılması aracın kütlesini ve maliyetini arttırmaktadır, araç yerleşimini zorlaştırır.
- İçten yanmalı motorun mekanik enerjisinin önce elektrik enerjisine sonra tekerlerde tekrar mekanik enerjiye dönüşümü nedeniyle kayıplar fazladır.
- Araç tek bir elektrik motoru tarafından tahrik edildiği için, büyük bir motor kullanımı zorunludur [16].
- Şehirlerarası sürüşlerde paralel hibritler kadar verimli değildir.

Seri hibrit araçlarda komponentlerin büyüklüğünden kaynaklanan yerleşim zorluğu nedeniyle, genellikle ticari araçlar, otobüsler gibi alan ve hacmin fazla olduğu araçlarda bu yapı tercih edilir.

1.4.3.2 Paralel hibrit araçlar

Paralel hibrit araç yapısında araç hareketini elektrik motoru, içten yanmalı motor veya ikisi birlikte çalışarak sağlayabilmektedir. Böylece motorların daha küçük seçilmesi mümkündür. Güç ihtiyacı, paralel sistem yapısı sayesinde elektrik motoru ve gerektiğinde içten yanmalı motor ile beraber çalışarak karşılanmaktadır. Paralel hibrit araçlar mekanik ve kontrol yapısı olarak daha karmaşıktır. Mekanik olarak birçok bağlantı seçeneği mevcuttur. Bu yapıda %43.4'e kadar yakıt tasarrufu sağlanabilir [16].



Şekil 1.3 : Paralel hibrit araç yapısı.

Paralel hibritin avantajları:

- Generatöre ihtiyaç duyulmaması ve çekişte daha küçük bir elektrik motoru kullanılması nedeniyle daha kompakt bir yapısı vardır.
- İlk harekette elektrik motorunun yüksek momenti, yüksek hızlarda ise içten yanmalı motorun gücü sayesinde, seri hibrite göre daha verimli moment/güç bölgelerinde çalışılabilir.
- İçten yanmalı motor ve elektrik motoru direk çekişi sağlayabildiğinden, seri hibritte olduğu gibi fazladan enerji dönüşümüne ihtiyaç yoktur. Bu sayede enerji dönüşümünden kaynaklı kayıplar azaltılır.

Paralel hibritin dezavantajları:

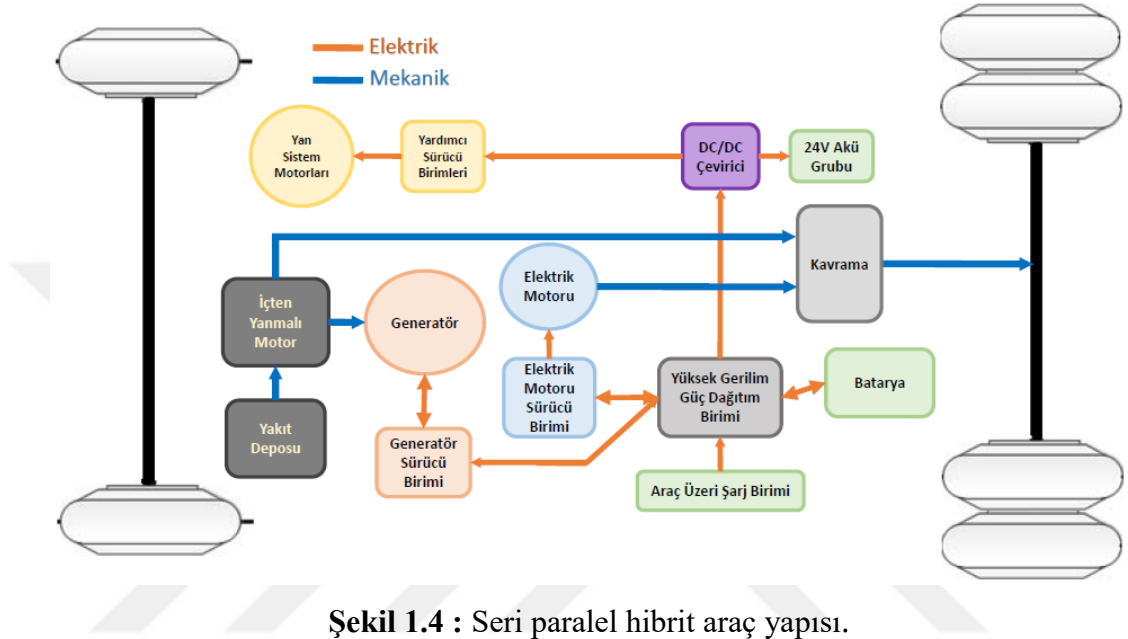
- Farklı kaynaklardan tahrik edildiği için enerji yönetimi karmaşıktır.
- İçten yanmalı motorun tekerlekler ile fiziksel bağlantısı olması nedeniyle, motorun verimli hız bandında çalışması her zaman mümkün değildir.

Paralel hibritin kompakt yapısı nedeniyle, binek araçlar gibi küçük araçlarda bu yapı tercih edilir [16].

1.4.3.3 Seri-paralel hibrit araçlar

Seri paralel hibrit araç yapısında, planet dişli gibi bir güç dağıtım üniteleri kullanılarak aracın hem seri hem paralel hibrit yapısına geçmesi sağlanır. Planet dişli motorun çıkış gücünü, tahrik mili ile generatör arasında paylaşdırmak için kullanılır. Ayrıca planet

dişli elektronik olarak kontrol edilen sürekli değişken şanzıman olarak da kullanılabilir[19, 50]. Bu sayede tasarlanan bu hibrit yapılanmasında araç hem seri hem de paralel hibrit aracın avantajlarına sahip olur. Seri-paralel hibrit araçlarda çekiş sistemi genel olarak iki farklı modu içerir. Bunlardan ilki elektrik motorunun ana enerji kaynağı olduğu durumdur. İkinci durum ise içten yanmalı motorun ana enerji kaynağı olduğu durumdur [18].



Şekil 1.4 : Seri paralel hibrit araç yapısı.

Seri-Paralel hibritin avantajları:

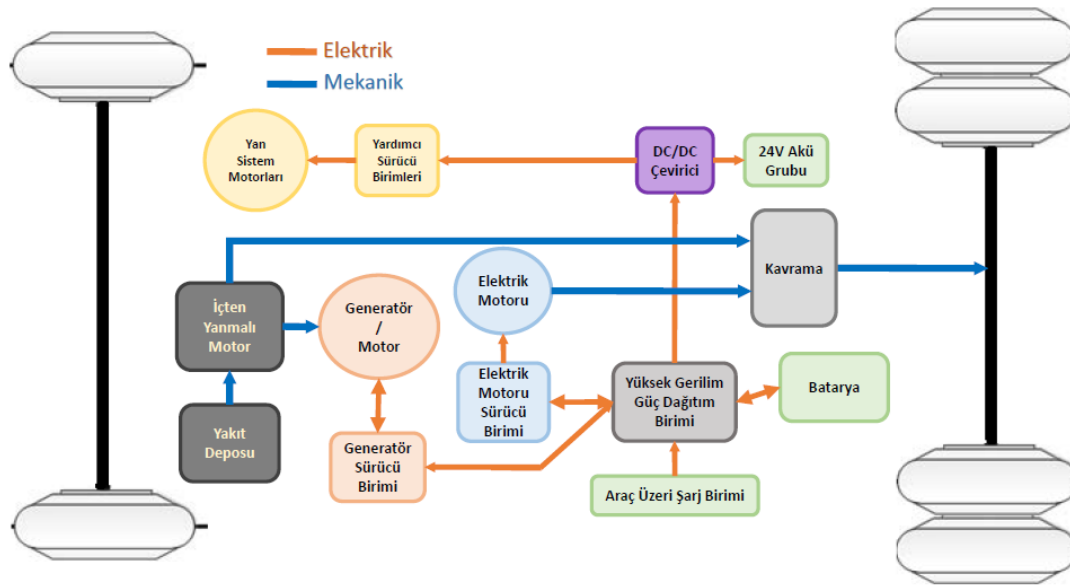
- Her iki sisteminde sahip olduğu özellikleri sunduğundan maksimum verimlilik elde edilebilir.
- İçten yanmalı motor bağımsız olarak bataryayı şarj etmekte kullanılabilir.

Seri-Paralel hibritin dezavantajları:

- Çok fazla donanıma sahip olduğundan ağır ve pahalıdırlar.
- Kontrol sistemi daha karmaşıktır.
- Seri-paralel hibrit araçlarda komponentlerin boyutlandırılması diğer hibrit yapılara oranla daha zordur. Çünkü çekiş sisteminin birçok farklı durumdaki yapıyı içerir.

1.4.3.4 Kompleks hibrit araçlar

Kompleks hibrit araç yapısı seri-paralel hibrit ile benzer yapıdadır. Ancak ek olarak güç çeviricileri içermektedir ve seri paralel yapıda tek yönlü olan güç akışı, kompleks hibrit yapıda çift yönlüdür. Yapıdaki iki elektrik makinası da hem generatör hem de motor olarak kullanılabilir. Araca eklenen çeviriciler ile motor ve generatörün daha verimli kullanılması sağlanır. Ancak kontrolü daha zordur ve maliyeti daha yüksektir [17,18].



Şekil 1.5 : Kompleks hibrit araç yapısı.

Yukarıda belirtilen araçlar, farklı şarj edilme senaryoları ile oluşturulabilmektedirler. Bunlar sadece alternatörle şarj edilebilen araçlar ve buna ek olarak şebekeden de şarj edilebilen Plug-in Hibrit (PHEV) araçlardır. Araç üzerindeki batarya, içten yanmalı motor veya şebeke enerjisi ile de şarj edilebilmektedir. Elektrik şebekesine bağlanabilme özelliği ile tamamen elektrikli bir araca benzemektedir. Plug-in hibrit yapısına sahip araçların çoğu binek otomobillerdir. Ancak ticari araçlar ile panelvan, kamyonet, otobüs, tren, motosiklet, scooter ve askeri araçların da plug-in hibrit versiyonları bulunmaktadır.

1.5 TruckMaker Araç Modelinin Oluşturulması

Günümüzde araç testlerinin üreticilere zaman kaybettirmesi ve yüksek maliyetlere sahip olmalarıyla nedeniyle sanal ortamda geliştirilen modeller üzerinde yapılan testler giderek yaygınlaşmaktadır. Bu durumun sonucu olarak da pek çok simülasyon

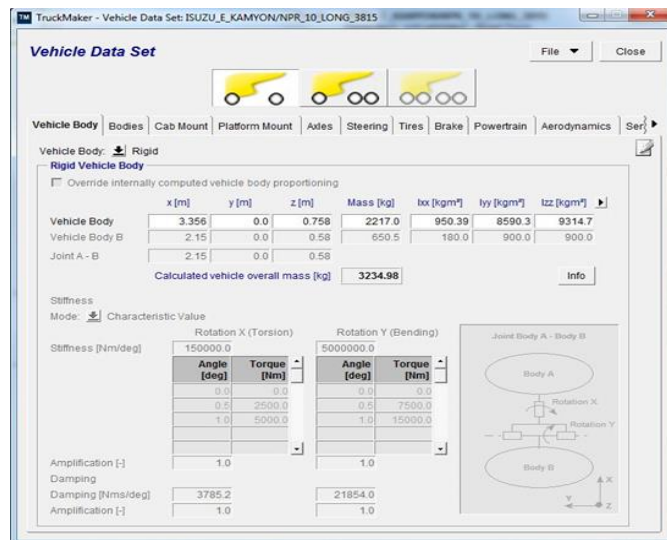
programı geliştirilmiştir. TruckMaker otomotiv alanında sıkça kullanılan bu simülasyon programlarından biridir.

Simülasyon programlarında modellenen sanal araçlar, gerçek bir aracın gerçek dünyadaki karşılığı ile aynı davranışa sahip bir bilgisayar modelinde temsilidir. TrucMaker ile modellenen sanal araç, hareket sistemi, kinematik vb. denklemleri içeren matematiksel modellerden ve çoklu cisim sistemini tanımlayan diğer matematiksel ifadelerden oluşur. Sanal araç modeli daha sonra doğrudan çalışılacak araca ait verilerle parametrelendirilir. Bu yaklaşımla, herhangi bir aracı onaylanmış bir parametre seti ile test etmek ve araç modelinde kullanılan parametre verilerini değiştirerek sanal araçlar arasında kolayca geçiş yapmak için TruckMaker programını kullanmak mümkündür. Sanal araç, güç aktarma organları, lastikler, şasi, frenler vb. dahil olmak üzere gerçek bir aracın tüm parçalarını içerir Ayrıca sanal modelleri kullanarak, döngüdeki donanım veya yazılımı kullanarak gerçek otomotiv kontrolörleri (örneğin ABS, ESP, ACC vb.) veya yazılım modeli kontrol cihazlarını sanal araca entegre etmek mümkündür [21].

Tez kapsamında geliştirilen algoritmanın test edilmesi için, TruckMaker’da oluşturulan sanal araç modeli kullanılmıştır. Sanal araç modelinin oluşturulması için kullanılan parametre setleri ilerleyen bölümde ayrıntıları ile ele alınmıştır.

1.5.1 Araç gövdesi

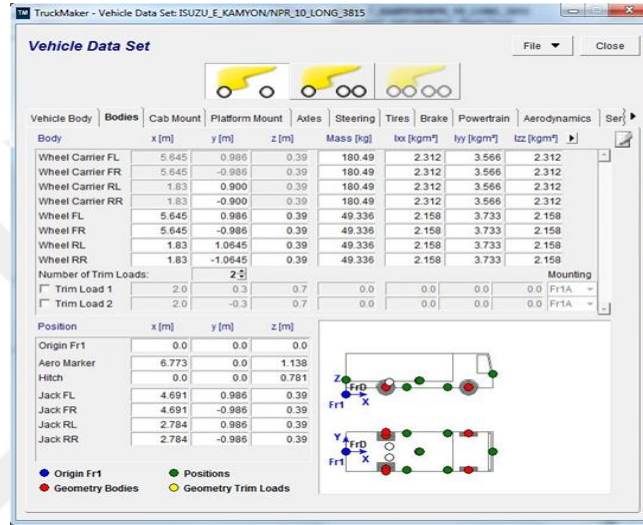
Araç ağırlıklarının tanımlandığı bölümdür. Esnek ve sert (rijit) gövde olmak üzere iki seçenek mevcuttur.



Şekil 1.6 : Araç gövdesi parametreleri.

Esnek gövde yapısı ile gövdenin bükülme ve burulma durumları daha detaylı bir şekilde modellenebilir. Ancak bu durumda gövde ile ilgili pek çok parametrenin kesin bir şekilde biliniyor olması gerekmektedir. Sert gövde yapısı, esnek gövde yapısı kadar detaylı olmamasına rağmen yüksek doğruluk oranıyla araç modellemesini gerçekleştirebilmektedir. Pek çok simülasyon için yeterli doğruluk oranına sahiptir. Çalışma kapsamında sert gövde yapısı tercih edilmiştir. Şekil 1.6 ve 1.7’de m, I gibi araç gövde parametreleri verilmektedir.

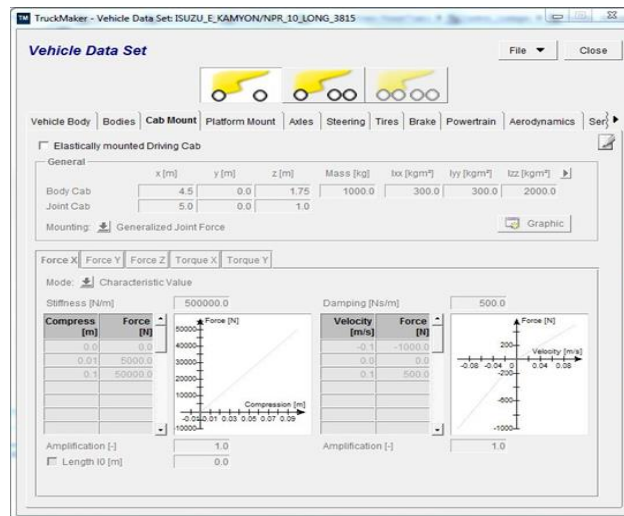
Araç gövde boyutu parametreleri Ek A’da verilmektedir.



Şekil 1.7 : Gövde parametreleri.

1.5.2 Kabin ve platform bağlantısı

TruckMaker araç gövdesine esnek bir şekilde kabin ve platform bağlantısı yapılmasına olanak sağlamaktadır.



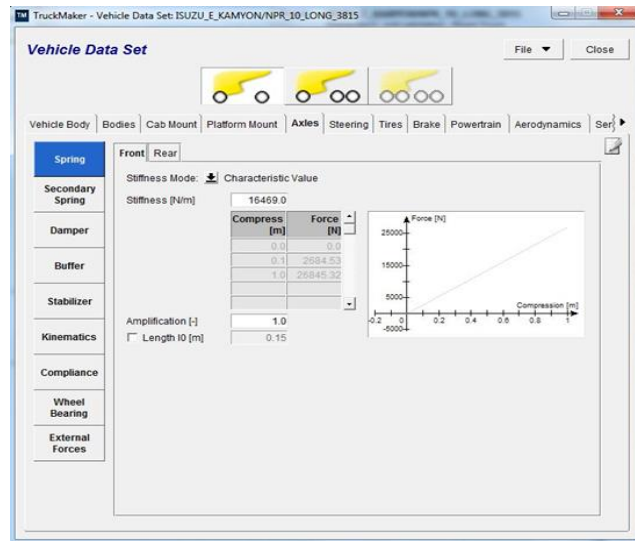
Şekil 1.8 : Kabin montaj parametreleri.

Bu bölümde gövdeye bağlanan kabin ve platformun ağırlıkları, gövdeye bağlantı noktaları ve bağlantı şekilleri tanımlanır. Bu sayede gövdeye etki eden kuvvetler daha detaylı bir şekilde modellenmektedir. Çalışma kapsamında esnek kabin ve platform bağlantılarının tanımlanmasına gerek duyulmamıştır. Kabin montaj parametreleri Şekil 1.8’de verilmektedir.

1.5.3 Akslar

Seçilen aks için süspansiyon parametrelerinin girildiği bölümdür. Seçilen aks için, yay karakteristikleri aracın her iki tarafı için aynıdır. Yay, sıkıştırıldığında/gerildiğinde kuvvet oluşturan bir bileşen olarak modellenmiştir. Akslarda ikincil bir yay olması durumunda, bu sekme üzerinden araç modeline eklenebilir. Bu sekmede ön ve arka aks için, ikincil yay kuvvetinin tekerlek hareket değişkenliğinin doğrusal bir fonksiyonu olması durumunda, ikincil yayın sertliği basit bir katsayı ile tanımlanabilmektedir.

Seçilen akslar üzerindeki amortisörler bu başlık altında modellenenebilir. Amortisör, sıkıştırıldığında veya yön değiştirirken hız değişikliğine tepki olarak kuvvet oluşturan bir bileşen olarak modellenmiştir. Her ön ve arka aks için, amortisör karakteristiği ya bir katsayı ile ya da seçilen moda göre bir değerler tablosu ile tanımlanır. Amortisör özellikleri itme ve çekme olarak iki farklı kısım için ayrı ayrı modellenir. Her alan için farklı bir sönümleme katsayıları tanımlanabilir. İtme alanı, pozitif bir amortisör hızına karşılık gelir. Şekil 1.9’da TruckMaker programı kapsamındaki aks parametreleri verilmektedir.



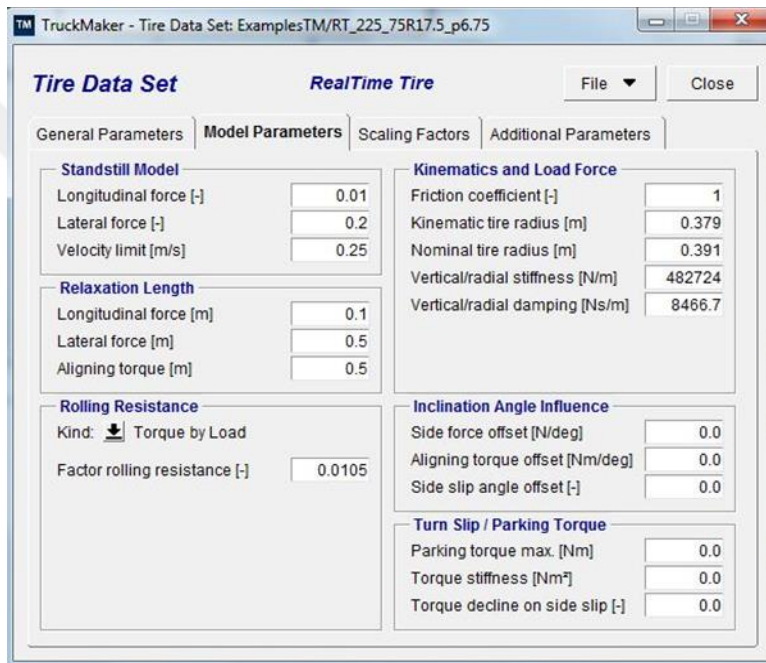
Şekil 1.9 : Aks parametreleri.

1.5.4 Direksiyon sistemi

Direksiyon sistemi, direksiyon açısı ile direksiyon kremayeri deplasmanı arasındaki oranı tanımlayan mekanik bir modülden oluşur. İsteğe bağlı olarak, direksiyon sistemindeki sürtünme kayıplarını da hesaba katan alan Pfeffer Direksiyon modelini seçerek bir hidrolik direksiyon ünitesi eklenebilir.

1.5.5 Lastikler

Lastik modeli için gerekli parametrelerin girildiği bölümdür. Şekil 1.10'da lastik parametreleri arayüzü gösterilmektedir.



Şekil 1.10 : Lastik parametreleri.

Lastik modellerinin amacı, yoldaki temas noktasına uygulanan kayma ve gerilmeleri hesaplamak ve daha sonra bunları taşıt modelinin geri kalanı doğrudan etkileyen tekerlek merkezine uygulanan gerilmelere dönüştürmektir [22].

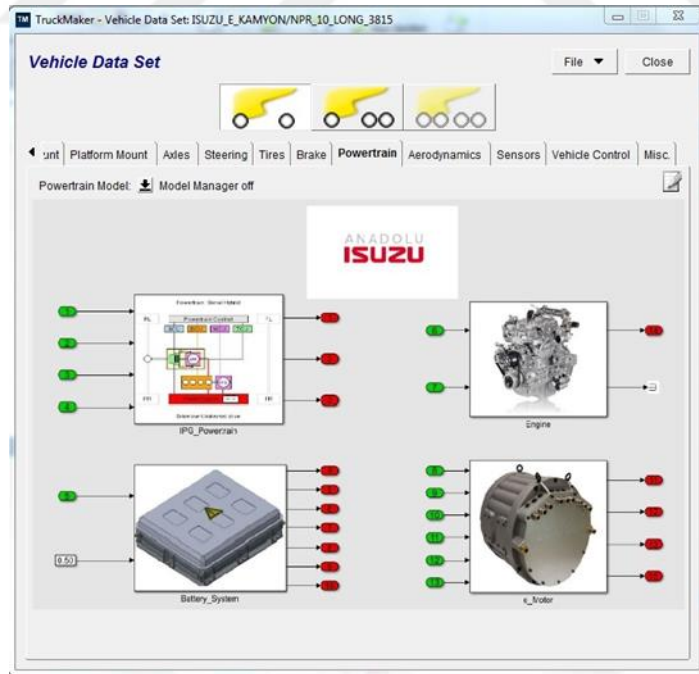
1.5.6 Fren sistemi

Fren modeli, fren pedalındaki kuvvetlerin her bir tekerlekteki fren momentine oranını belirler. Hidrolik ve pnömatik olmak üzere iki farklı seçenek mevcuttur. Hidrolik fren modelinde, elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılmak üzere rejeneratif fren özelliği mevcuttur. Rejeneratif fren modunda, fren sistemi kontrolcüsü frenleme momentini elektrik motoru ve hidrolik sistem arasında dağıtır. Rejeneratif frenlemenin üç alt türü

vardır. Bunlar rejeneratif frenlemenin olmadığı durum, seri rejeneratif fren ve paralel rejeneratif frendir. Rejeneratif frenleme yok ise, frenleme momentinin tamamı hidrolik fren tarafından sağlanır. Paralel durumda, frenleme momenti elektrik motoru ve hidrolik fren arasında sabit oranda paylaşılır. Bu oran araç çalışması boyunca değişmez. Seri durumda ise frenleme momenti mümkün olduğu kadarı elektrik motoru tarafından karşılanır. Elektrik motoru momentinin yetmediği durumda hidrolik fren devreye girer. Çalışma kapsamında seri rejeneratif fren kullanılmıştır.

1.5.7 Güç aktarma sistemi

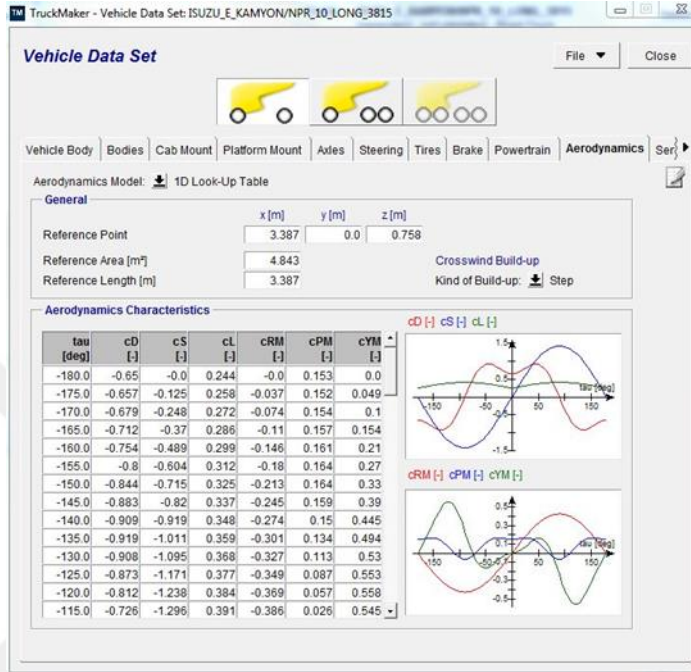
Güç aktarma sistemi motorda üretilen momentin tekerlere aktarıldığı bölümdür. Bu modelde gaz pedalı pozisyonuna bağlı olarak teker hızı ve diğer aktarma organlarının dönüş hızı hesaplanır. TruckMaker tarafından oluşturulan hibrit araç mimarisi, üzerinde çalışılan aracın mimarisi ile örtüşmediğinden yeni bir çekiş sisteminin modellenmesi gerekmiştir. Bu modelde, TruckMaker'ın gerçek güç aktarma sistemi ile aynı giriş ve çıkışlara sahip yeni bir güç aktarım sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Şekil 1.11'de TruckMaker programı güç aktarım sistemi yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.11 : Güç aktarım sistemi.

1.5.8 Aerodinamik model

Aerodinamik model, araç hızına göre araç gövdesine ek değişken kuvvetler uygular. Haritanın doğru değerlerle uyarlanması, aerodinamik model düşük hızlarda küçük önem taşıdığı için sıklıkla gerekli değildir. Şekil 1.12’de aerodinamik model parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 1.12 : Aerodinamik model parametreleri.

1.6 Araç Boylamsal Dinamiği Denklemleri

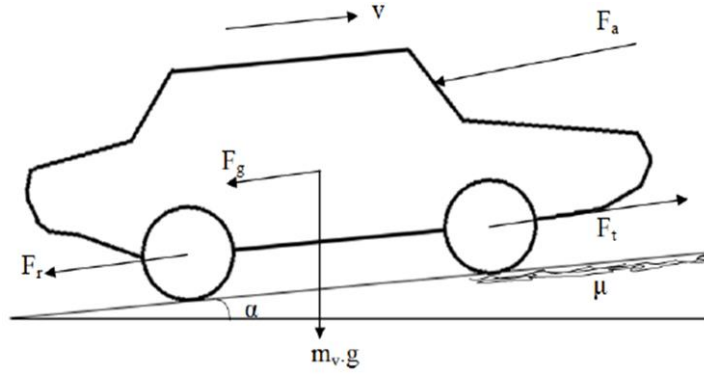
Tez kapsamında TruckMaker araç dinamiği modeli kullanılmıştır. Geliştirilen kontrol algoritması için aracın doğrusal dinamiğinin analizi yeterlidir. Doğrusal araç dinamiğinde, araç üzerinde etkili olan dört temel kuvvet vardır. Bunlar yerçekimi kuvveti F_g , yuvarlanma direnci kuvveti F_r , aerodinamik kuvvet F_a ve ivmelenme kuvveti F_{acc} 'dır. Aracın çekiş kuvveti ise F_t ile gösterilmektedir. Doğrusal araç dinamiği denklemleri aşağıda verilmektedir [51, 52].

$$\sum F = \lambda m a \quad (1.1)$$

$$F_{acc} = \lambda m a \quad (1.2)$$

$$F_t - F_g - F_r - F_a = F_{acc} \quad (1.3)$$

$$F_t = F_{acc} + F_g + F_r + F_a \quad (1.4)$$



Şekil 1.13 : Doğrusal araç dinamiği modeli.

1.6.1 Yuvarlanma direnci kuvveti

Tekerlekler dönerken sürekli yolla temas halindedirler. Tekere uygulanan normal kuvvet nedeniyle, tekerlek ile yol arasındaki temas yüzeyinde dikey deformasyon meydana gelir. Ardından yol ve tekerlek bağlantısı kesilir, deformasyon tekrar değişir. Bu durum, araç hareket ettiği sürece devam eder. Tekerleğin atalet sönümlemesi nedeniyle, deformasyon sırasında harcanan enerjinin tamamı, orijinal dönüş şekli sırasında geri alınamaz. Burada harcanan kuvvet yuvarlanma direnci ile ifade edilir. Yuvarlanma direncinin denklemi, denklem 1.5’de gösterilmektedir.

$$F_r = \mu m g \cos a \quad (1.5)$$

1.6.2 Aerodinamik kuvvet

Araç hareket ederken, hava aracın hareketine direnç gösterir. Bu direnç aerodinamik sürüklenme kuvveti olarak adlandırılır ve araç hareketinin zıt yönünde gösterilir. denklem 1.6’da aerodinamik kuvvet ifade edilmiştir.

$$F_a = 0.5 \rho A_v C_x (V \pm V_0)^2 \quad (1.6)$$

1.6.3 Yerçekimi kuvveti

Bu, aracı eğimli yollarda sürmek için gereken kuvvettir. Eğimli bir yolda hareket eden aracın ağırlığı ve eğim ile ilgilidir ve denklem 1.7’deki gibi ifade edilir.

$$F_g = mg \sin a \quad (1.7)$$

1.6.4 İvmelenme kuvveti

Aracın hızlanması veya yavaşlaması için gereken kuvvettir. Newton'un ikinci yasasına göre, aracın doğrusal hızlanması için gerekli kuvvet;

$$\sum F = ma \quad (1.8)$$

Ancak, taşıtın gerekli hızlanma kuvvetini daha kesin olarak hesaplamak için dönen parçaların açısal ivmelenmesi dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, tekerleklerin ve elektrik motorunun atalet momenti dikkate alınmalıdır.

$$\sum F = \lambda ma \quad (1.9)$$

2. ISUZU NPR10 HİBRİT KAMYON

2.1 Araç Gereksinimlerinin Belirlenmesi

Hibrit çöp kamyonu projesi kapsamında geliştirilecek çekiş sistemi, üstyapı ve kontrol yazılımı için gerekli olan yol çevrimi, sürüş enerji tüketimi, üstyapı enerji tüketimi, yan sistemler enerji tüketimi verilerinin toplanması için konvansiyonel bir Isuzu NPR10 model çöp kamyonu ile yol testleri yapılmıştır. Yol testleri Moda, Kadıköy ve Ataşehir bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Veri toplama işlemleri yaklaşık 7 gün sürmüştür. Toplamda 250 km'lik yol ve 27 saat 41 dakikalık süre için data toplanmıştır.

2.1.1 Yol testleri hazırlık süreci

Araçtan gerekli ölçümlerin alınabilmesi için öncelikle doğru ölçüm ekipmanlarının araca montajı işlemlerinin tamamlanması gerekmektedir. Araçta kullanılan ölçüm ekipmanları şunlardır;

- CAN ve GPS'li veri toplama cihazı
- Telemetry sistemi
- Akım klempleri
- Basınç sensörleri
- Tork Sensörü
- Optik Devir Sensörü

Şekil 2.1'de gösterilen test aracına Vehicle CAN BUS bağlantısı yapılarak motor devri, motorun moment yüzdesi, gaz pedalı pozisyonu bilgileri elde edilmiştir. Araca bağlanan iki adet akım klempli sayesinde akü ana hattı ve alternatör hattından geçen akımların ölçülmesi işlemi yapılmıştır. Ayrıca GPS anteni ile GPS hız, konum, yükseklik bilgileri alınırken, telemetrik veri toplama cihazı ve tork tipi gerinim ölçer

ile şaft üzerinden tork bilgisi, optik devir sensörü ile şaft devri olmak üzere aracın performansı ile ilgili tüm veriler ana veri toplama cihazına senkronize biçimde kaydedilmiştir.



Şekil 2.1 : Test aracı.

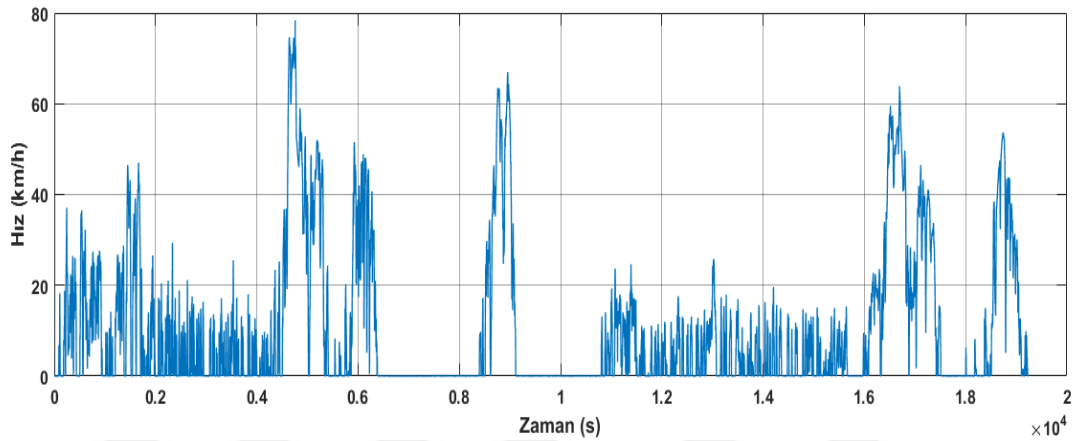
2.1.2 Test rotası

Test aracı 6 farklı yol çevriminde test edilmiştir. Tezin ilerleyen bölümlerinde de kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması için kullanılacak rota, örnek olarak bu bölümde açıklanacaktır.



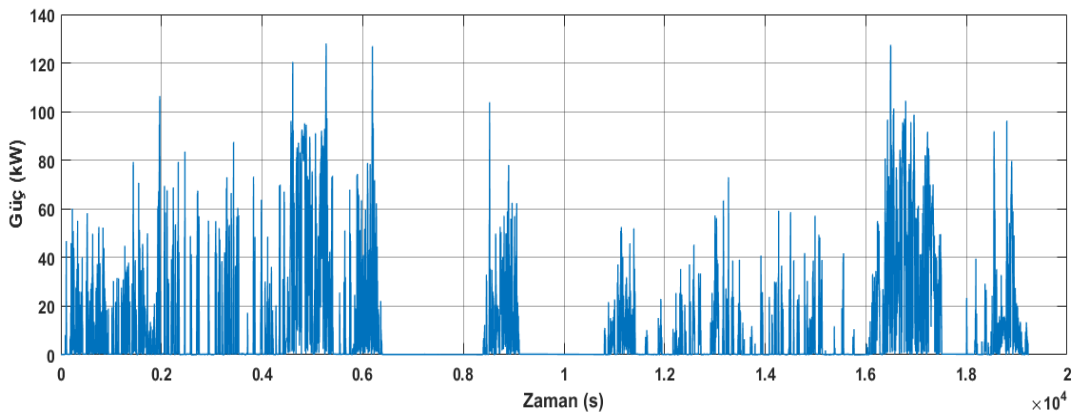
Şekil 2.2 : Test rotası.

Şekil 2.2’de gösterilen örnek test rotası aracın bir günde iki vardiyada aldığı toplam yolu göstermektedir. Araç ilk vardiyada garajdan çıkıp sırasıyla Acıbadem ve Göztepe’ye giderek çöp toplamaktadır. Ardından döküm merkezine giderek çöpleri boşaltır ve garaja geri döner. İkinci vardiya başlayana kadar garajda bekleyen araç, vardiya başladığında öncelikle Kadıköy’e giderek çöp toplar. Ardından sırasıyla çöp döküm merkezine ve garaja giderek bir günlük rotasını tamamlamış olur. Şekil 2.3’de aracın hız zaman grafiği gösterilmektedir. Araç ortalama hızı bu rota için 9.8 km/sa olup, çıktığı en yüksek hız 78 km/sa’dır.



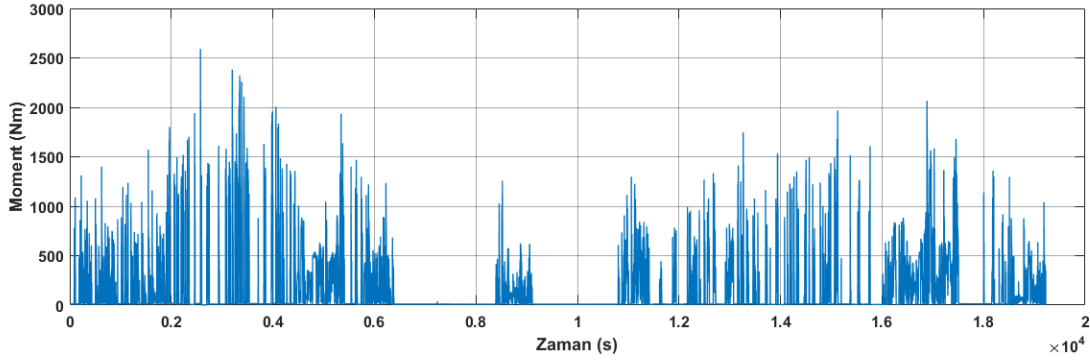
Şekil 2.3 : Araç hız-zaman grafiği.

Şekil 2.4’de kardan şaftı anlık güç grafiği gösterilmektedir. Grafikte de gösterildiği üzere aracın en yüksek güç ihtiyacı 128 kW’dır.



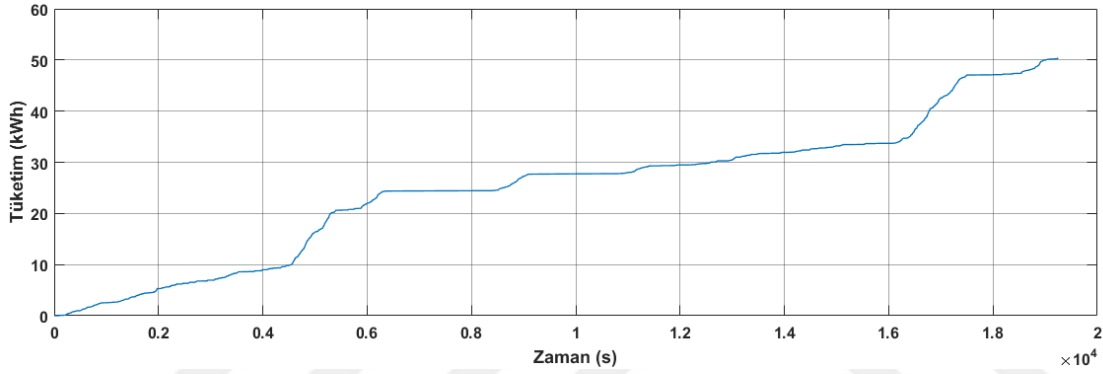
Şekil 2.4 : Kardan şaftı güç grafiği.

Şekil 2.5’te kardan şaftı anlık moment grafiği gösterilmektedir. Grafikte de gösterildiği üzere aracın en yüksek tork ihtiyacı 2592 Nm’dir.



Şekil 2.5 : Kardan şaftı torku grafiği.

Şekil 2.6’da aracın çekiş sisteminin rotayı tamamlayana kadar harcadığı toplam enerji gösterilmektedir. Araç çekiş sistemi toplamda 50.35 kWh enerji harcamıştır.



Şekil 2.6 : Çekiş sistemi enerji tüketimi grafiği.

2.2 Araç Özellikleri

Yapılan yol testleri sonucunda, araç komponentlerinin isterleri belirlenmiştir. Hibrit araç teknolojileri ve türlerinin detaylı incelenmesi sonucunda, aracın seri hibrit yapıda olması uygun görülmüştür. Geliştirilen araç Şekil 2.7’ de gösterilmektedir.

Yol testleri, aracın mevcut fren sistemi ve direksiyon sisteminin yeterli olduğunu göstermiştir. Bu nedenle aracın hibrit araca dönüştürülmesi esnasında bu sistemler aynı performansta çalışacak şekilde uygun elektrik motoru ve kompresörler ile elektrifiye edilmiştir.

Konvansiyonel araca eklenen elektrikli ürünler nedeniyle aracın soğutma sisteminde değişiklik yapılmıştır. Mevcut içten yanmalı motorun soğutma hattına ek olarak, araca batarya soğutma ünitesi ve güç elektroniği soğutma ünitesi eklenmiştir. Elektrik makineleri, DC/DC çeviriciler ve motor sürücülerin soğutma isterleri, bataryanın soğutma isterlerinden çok farklı olduğu için bu ayrıma gerek duyulmuştur. Güç

elektroniği soğutma ünitesine bağlı komponentlerin toplam ısı atımlarına uygun boyutta bir soğutma ünitesi tasarlanmıştır. Hibrit araç çalışma yapısı gereği batarya sık sık şarj ve deşarj işlemine uğramaktadır. Ayrıca araçta kullanılan düşük kapasiteli batarya paketi nedeniyle, batarya yüksek deşarj akımlarına maruz kalmaktadır. Yapılan yol testlerinden elde edilen akım değerleri ile batarya termal simülasyonu yapılmış ve yaklaşık ısı atım değeri hesaplanmıştır. Bu değere uygun soğutma ünitesi seçilmiştir.



Şekil 2.7 : Anadolu Isuzu NPR10 Hybrid.

2.2.1 Çekiş motoru

Yol testleri sonuçları incelendiğinde, araç tahrik sisteminin en yüksek güç ihtiyacı, en yüksek moment ihtiyacı ve tırmanabilirlik isterleri göz önünde bulundurularak çekiş motoru özellikleri belirlenmiştir. Araçta kullanılan motorun özellikleri Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : Çekiş motoru özellikleri.

Özellik	
En yüksek çıkış gücü (kW)	200
Nominal çıkış gücü (kW)	170
En yüksek moment (Nm)	2100
Nominal moment (Nm)	1300
Çalışma hızı aralığı (rpm)	0-3000
Çalışma gerilimi aralığı (V)	450-750
Verim (%)	94

Kullanılan çekiş motoru PMSM türündedir. PMSM motorlarının yapısı klasik senkron motorlara benzer olmakla birlikte onlardan temel farkı rotorlarına eklenen kalıcı mıknatıslar. Bu mıknatıslar sayesinde rotor manyetik alanı, ikincil bir kaynaktan beslenmeye ihtiyaç duyulmaksızın üretilir [46]. Rotorundan akım akmayan PMSM motorlar, bu nedenle rotor bakır kayıplarına sahip değildir. Bu sayede PMSM motorların verimlerinde artış söz konusudur.

PMSM motorlarda, stator sargılarında üretilen zıt EMK sinüzoidal şekildedir. PMSM motorlarla benzer yapıda olan BLDC motorlarında zıt EMK trapezoidal dalga şeklindedir. PMSM motorlarda, motor sinüzoidal bir kaynaktan beslenmelidir. Motoru kontrol etmek için kullanılan motor sürücü birimi, rotor konumu bilgisini kullanarak motorun ihtiyaç duyduğu sinüzoidal besleme sinyalini üretir. BLDC motorlar da zıt EMK şekillerine uygun olarak trapezoidal biçimdeki bir kaynak gerilimiyle beslenir. PMSM motorlardan farklı olarak, besleme geriliminin üretilmesi için sürekli bir rotor konumu geri beslemesine ihtiyaç duymazlar [46].

Hız kontrolünün kolaylığı nedeniyle değişken hızlı uygulamalarda sıklıkla doğru akım motorları kullanılmıştır. Ancak fırça ve komütatör kullanımı nedeniyle bakım gerektiren ve ark oluşturan bu makinelerin her uygulama alanında kullanılması mümkün değildir. K. Hasse ve F. Blaschke tarafından geliştirilen vektör kontrol yöntemiyle, alternatif akım makinelerinin de doğru akım makineleri gibi kontrol edilmesine olanak sağlamıştır [47]. Geliştirilen araçta kullanılan PMSM motorda da vektör kontrol yöntemi uygulanmaktadır.

PMSM motorların temel avantajları şunlardır;

- Uyartım kayıplarının bulunmaması, verimin arttırılmasına imkan sağlar [48].
- Fırça ve komütatör bulundurmaması, rotor sargıları yerine gömülü mıknatıs içermesi nedeniyle yapısı basittir.
- Hız-moment grafiği doğrusaldır.
- Yüksek hız değerlerine çıkabilir ve hız kontrolü geniş bir aralıkta yapılabilir.
- Rotor sargılarının bulunmaması nedeniyle rotorun soğutulması daha kolaydır ve motorun ağırlığı aynı güç seviyesindeki AC ve DC motorlardan daha düşüktür.

- Ark çıkarmadıkları için her uygulamada güvenle kullanılabilirler.

2.2.2 Generatör seti

Seri hibrit çöp kamyonunda, bataryayı şarj etmek ve gerektiği durumda sürüşe destek olmak için kullanılan generatör seti iki parçadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki mekanik enerji üretmek için kullanılan içten yanmalı motordur. İkinci parça ise mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren generatördür.

2.2.2.1 İçten yanmalı motor

İlk prototipte konvansiyonel NPR10 model araçta da kullanılan Isuzu 4HK1E6C motor kullanılmaktadır. Motor özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : İçten yanmalı motor özellikleri.

Özellik	
En yüksek çıkış gücü (kW)	140
En yüksek moment (Nm)	510
Çalışma hızı aralığı (rpm)	0-3300
Silindir adedi	4
Silindir hacmi (cc)	5193

2.2.2.2 Generatör

Araçta kullanılacak generatörün özellikleri Çizelge 2.3’de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere motorun 150 kW olan nominal çıkış gücü, araç üzeri çalışmada 80 kW’a sınırlanmıştır. Kullanılan motorun türü PMSM olup, temel özellikleri bölüm 2.2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Generatör özellikleri

Özellik	
En yüksek çıkış gücü (kW)	250
Nominal çıkış gücü (kW)	150
En yüksek moment (Nm)	900
Nominal moment (Nm)	360
Çalışma hızı aralığı (rpm)	0-5500
Çalışma gerilimi aralığı (V)	450-750
Verim (%)	91

2.2.3 Batarya

Geliştirilen aracın kullanım amacının çöp toplamak olduğu düşünüldüğünde, yük taşıma kapasitesi araç için çok önemlidir. Hibrit araçlarda, konvansiyonel araç parçalarına ek olarak bir de elektrikli komponentlerin ağırlığı sisteme eklendiğinden, aracın boş ağırlığında bir artış söz konusu olacaktır. Bu nedenle araç ağırlığını direk etkileyecek olan batarya paketi kimyası ve kapasitesinin seçimi büyük önem taşımaktadır.

Batarya kimyasının belirlenmesinde temel etmenler hücre enerji yoğunluğu, şarj yöntemi ve deşarj akımlarıdır. Hücre enerji yoğunluğu ağırlıkla direk ilişkilidir. Çöp taşıma kapasitesini arttırabilmek için batarya ağırlığını mümkün olan en düşük seviyede tutmak gerekmektedir. Bu nedenle batarya kimyası için yüksek enerji yoğunluğuna sahip hücrelerin seçilmesi gerekmektedir. Batarya seçimini etkileyen bir diğer etken de şarj yöntemidir. Şarj yönteminde bataryaya uygulanan güç seviyesine uygun bir hücre kimyası belirlenmelidir. Yapılan saha incelemesinde aracın yavaş şarj yöntemi ile şarj edilecek kadar bekleme süresi olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle güç hücresi sınıfına giren hızlı şarja uygun batarya kimyası seçilmemesi uygun bulunmuştur. Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda sıklıkla tercih edilen batarya kimyaları NMC, NCA, LTO ve LFP'dir. NMC kimyası yüksek enerji yoğunluğu ile sıklıkla tercih edilmektedir. Nominal gerilimi 3.6V olan hücrelerin çalışma gerilimi aralığı 3-4.2V arasında değişmektedir. NMC hücrelerin özgül enerji değeri 150-220 Wh/kg'dır. Ancak NMC hücreler kimyasal yapıları gereği güvenlik tehdidi oluşturabilirler. LFP bataryalar, güç hücreleri sınıfındadırlar. Yüksek C oranlarına sahip olan hücreler aynı zamanda yüksek çevrim ömrüne de sahiptir. Çalışma güvenlikleri nedeniyle sıkça tercih edilen batarya kimyaları arasındadırlar [44]. Enerji hücresi sınıfında bulunan NCA bataryalar, yüksek özgül enerji değerlerine sahiptir. Ancak kimyasal yapıları gereği termal açıdan kontrolden çıkmaya çok yatkındırlar. Güç hücresi sınıfında bulunan LTO bataryalar, yüksek şarj ve deşarj C oranları nedenleriyle sıklıkla tercih edilmektedirler. Ayrıca LTO bataryalar iyi bir soğutma sistemi ile kullanıldıklarında uzun çevrim ömrüne ve yüksek güvenliğe sahiptir [45]. Çizelge 2.4'de lityum iyon batarya kimyalarının karşılaştırması verilmiştir. Proje isterleri göz önünde bulundurularak yüksek enerji yoğunluğuna ve düşük ağırlığa sahip NMC hücrelerin kullanılması uygun görülmüştür.

Çizelge 2.4 : Lityum iyon batarya kimyaları.

	NMC	LFP	LTO	NCA
Güvenlik	Orta	Yüksek	Yüksek	Düşük
Çevrim ömrü	1000-2000	1000-2000	3000-7000	500
Özgül enerji (Wh/kg)	150-200	90-120	50-80	200-260
Nominal gerilim (V)	3.6	3.2	2.4	3.6
Şarj C oranı	C-2C	C	C-5C	0.7C
Deşarj C oranı	C-3C	C-25C	10C-30C	C

Batarya paketinin kapasitesinin belirlenmesinde en önemli etmen aracın elektrikli modda kat edeceği mesafedir. Aracın tasarım hedefleri içerisinde, yerleşim alanında elektrikli modda çalışma şartı bulunmaktadır. Gerçekleştirilen yol testleri incelendiğinde en uzun çöp toplama mesafesi yaklaşık olarak 20 km'dir. Mesafenin belirlenmesinin ardından, batarya kapasitesine geçebilmek aracın ortalama enerji tüketimi bilgisine ihtiyaç vardır. Yol testleri incelenerek aracın ortalama tüketim verisine ulaşılmış ve batarya kapasitesi 27 kWh olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.5 : Batarya paketi özellikleri.

Özellik	
Kimya	NMC
Enerji kapasitesi (kWh)	27
Kapasite (Ah)	44
En düşük gerilim (V)	504
Nominal gerilim (V)	613
En yüksek gerilim (V)	705



3. HİBRİT ARAÇLARDA ENERJİ KONTROL YÖNTEMLERİ

3.1 Enerji Kontrol Yöntemlerinin Önemi ve Literatür Araştırması

Hibrit araçlar birden fazla güç kaynağı içerdiğinden, kontrol yapıları konvansiyonel ve elektrikli araçların kontrolünden daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Araç üzerinden bulunan farklı güç kaynaklarını uygun çalışma modunda, elde edilebilecek en yüksek verim ile sürücü güç isteğini karşılayacak biçimde senkron olarak çalıştırmak kontrol algoritmalarının temel amacıdır.

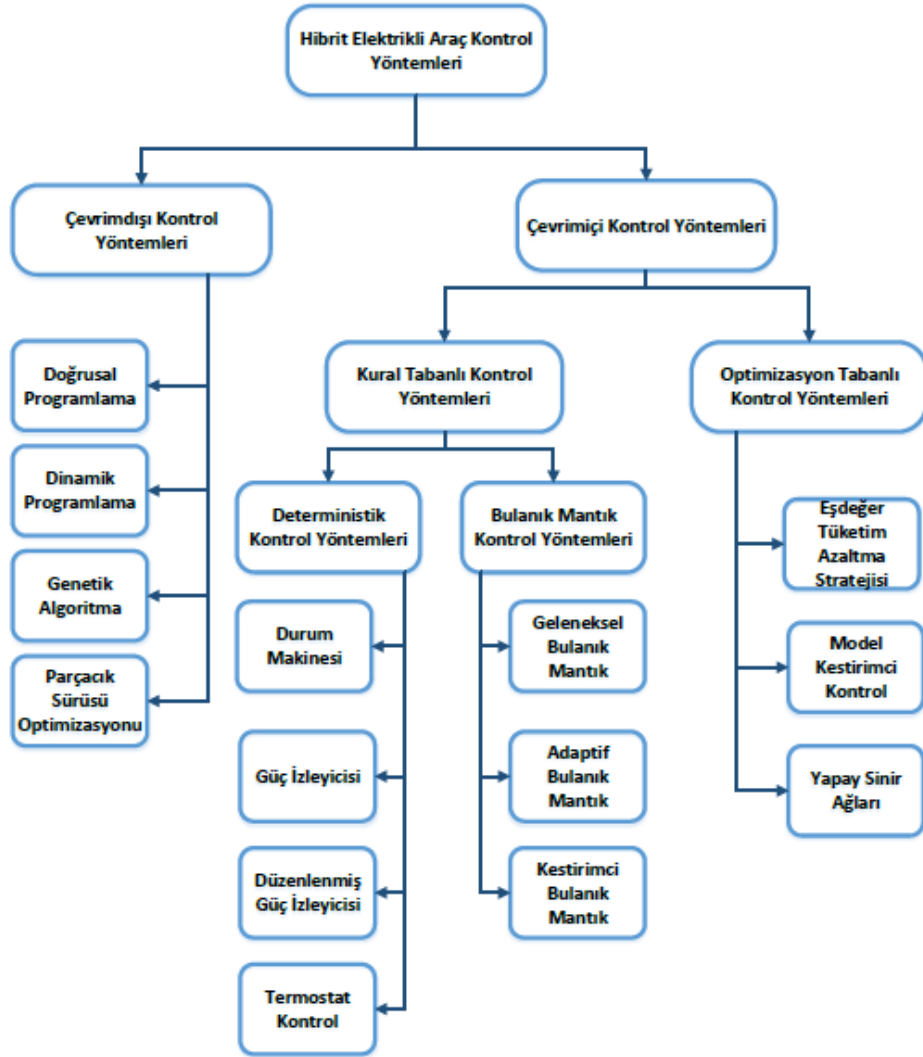
Literatürde pek çok farklı enerji yönetim stratejisi mevcuttur. Tie ve arkadaşları [6] hibrit araç kontrolünü, üst seviye kontrol ve alt seviye kontrol düzeyi olarak ikiye ayırmışlardır. Alt seviye kontrolde araç bileşenleri düzeyinde bir kontrol yapısından bahsedilmektedir. Örneğin güç elektroniği komponentleri gibi elemanların farklı topolojilerde seçilerek verimlerinin kıyaslanarak araç için uygun olan yapı belirlenmektedir. Üst seviye kontrol yöntemleri ise aracın sistem düzeyinde kontrolünü içerir. Bu kontrol şeklinde batarya doluluk durumu, sürücünün güç talebi, yol durumu gibi girişler kullanılarak aracının çalışacağı mod, generatörün ne zaman devreye gireceği, çekişin güç kaynakları arasında hangi oranda paylaşılacağı gibi konulara karar verilir.

Genel anlamda üst seviye bir kontrolcüde tanımlı hibrit araç çalışma modları beş adettir [23]. Bunlar;

- Sadece içten yanmalı motor modu
- Sadece elektrik motoru modu
- Regeneratif frenleme modu
- Destek modu (İçten yanmalı motor ve elektrik motoru birlikte çalışır)
- Şarj modu (Bataryanın şarj olması için gerekli enerji üretilir)

Üst seviye kontrolcü, girişlerine göre bu çalışma modlarından birini seçtikten sonra sürücünün talep ettiği momenti, sistemin en verimli çalışma bölgesini göz önünde

bulundurarak içten yanmalı motor ve elektrik motoru arasında ikiye bölerek sürüş işlemini gerçekleştirir.



Şekil 3.1 : Üst seviye kontrol yöntemleri.

Şekil 3.1’de üst seviye kontrolcülerin sınıflandırılması verilmektedir. Literatürdeki enerji yönetim algoritmaları çevrim içi ve çevrimdışı yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu ayırım, algoritmanın araç üzerinde gerçek zamanlı olarak çalışması için tasarlanması veya diğer kontrol metotlarının çevrimdışı olarak test edilmesi için tasarlanmasından kaynaklanmaktadır [24].

3.2 Çevrimdışı Kontrol Yöntemleri

Çevrimdışı hibrit kontrol algoritmaları, global optimizasyon yöntemlerini içerir. Bunlar optimize edilmiş matematik modellerini emisyon kısıtlamaları, yakıt ekonomisi veya sistem durumu değişkenleri ile ayarlayan, optimizasyon teorisine

dayanan algoritmalarlardır. Global optimizasyon yöntemleri, diğer kontrol yöntemleri ile karşılaştırıldığında en yüksek verim oranlarına sahiptirler, ancak bu yöntemin doğru ve etkili bir şekilde kullanımı için, tüm sürüş çevrimi bilgisine ihtiyaç vardır. Bu durumun gerçek zamanlı uygulaması çok zordur. Ayrıca bu algoritmaların yapısı gereği işlem yükleri fazladır. İşlem yükü fazlalığı ve gerçek zamanlı çalışma zorluğu göz önüne alındığında, bu yöntemler temel olarak diğer enerji yönetimi stratejilerinin etkisini çevrimdışı uygulamalarda analiz etmek ve değerlendirmek için uygundur. Doğrusal programlama, dinamik programlama, parçacık sürüş optimizasyonu ve genetik algoritmalar, hibrit enerji yönetiminde sıklıkla kullanılan global optimizasyon yöntemlerindendir.

3.2.1 Doğrusal programlama

Doğrusal programlama yöntemi daha çok seri hibrit araçlarda yakıt tüketiminde verimliliği arttırmak için kullanılır [31]. Hibrit elektrikli bir aracın, doğrusal olmayan yakıt tüketimi denklemi doğrusal programlama kullanılarak global optimum noktası için çözülür.

3.2.2 Dinamik programlama

Dinamik Programlama (DP), bir optimizasyon problemini çok aşamalı bir şekilde art arda ayrıştırma dizisi ile çözmeyi sağlayan bir tekniktir. DP genellikle kullanılan modele bağlı olarak tüm durum ve kontrol alanlarını kapsamlı bir şekilde araştırarak olası bir optimal kontrol stratejisi sağlamak için kullanılmaktadır. DP tekniği, incelenen zaman diliminde $u(t)$ kontrol değişken vektörünün optimizasyonuna dayanır. Sistem durum değişkenlerinin, zaman boyunca ayrıklaştırılmasının ardından optimizasyon uygulanır [42].

Dinamik programlama, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan sistemlerin yanı sıra sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış problemlere uygulama avantajına sahiptir. Ayrıca DP tüm olası çözüm noktalarını incelediği için en verimli çalışma noktasını bulmayı garanti eder.

Dinamik programlama yönteminin iki temel dezavantajı vardır. Bunlar önceki sürüş çevrimi bilgisine bağlı olarak artan algoritma doğruluğu/güvenilirliği ve yoğun işlem yüküdür. Bu dezavantajlar nedeniyle DP her zaman gerçek zamanlı uygulamalar için kullanışlı değildir.

Brahma ve arkadaşları [25], seri hibrit elektrikli bir araçta, elektrik motoru ve içten yanmalı motor arasındaki yük dağılımını kontrol etmek için gerçek zamanlı olarak dinamik programlama tekniği kullanmıştır. Bu çalışmada dinamik programlamanın ayırık durum formülasyonu yaklaşımını kullanarak hesaplama verimliliğinin daha da geliştirilebileceği vurgulanmıştır.

Lin ve ark. [26], optimum kontrol kurallarının dinamik programlamadan çıkarılabileceğini ve bir kural tabanlı denetleyiciyi neredeyse en iyi şekilde uyarlamak için kullanılabileceğini çalışmasında göstermiştir. Benzer şekilde Peng ve ark. [27] da kural tabanlı bir kontrol algoritmasını, dinamik programlamayı kullanarak optimize etmişlerdir.

3.2.3 Stokastik kontrol

Stokastik kontrol, belirsizlikleri içeren optimizasyon problemlerini modellemek ve çözmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu stratejide, sonsuz-horizon stokastik dinamik optimizasyon problemi formüle edilir. Araç güç talebi, rastgele bir Markov süreci olarak modellenir. Markov sürücüsünü kullanarak, gelecekteki güç talebi, mevcut geçiş olasılıklarına dayanarak tahmin edilmektedir. Optimal kontrol stratejisi daha sonra stokastik dinamik programlama kullanılarak elde edilir. Belirli bir sürüş döngüsü boyunca kontrol kurallarını optimize eden dinamik programlamanın aksine, stokastik dinamik programlama, kontrol kurallarını çeşitli sürüş düzenleri grupları üzerinde optimize eder [43].

3.2.4 Genetik algoritma

Genetik algoritma (GA), optimizasyon problemlerine çözüm üretmek için kullanılan sezgisel bir arama algoritmasıdır. Bir soruna en uygun çözümü sağlamak için GA, popülasyon adı verilen bir dizi ön çözümle (kromozomlar) başlar. Her popülasyondan gelen çözümler, yeni ve geliştirilmiş çözüm versiyonları oluşturmak için uygunluklarına göre seçilir. Sonuç olarak, en uygun çözümler zayıf çözümlerden daha iyi bir büyüme şansına sahiptir. İşlem, istenen optimizasyon koşulları sağlanana kadar sürekli tekrarlanır [23].

Genetik algoritmanın yüksek işlem yoğunluğu nedeniyle gerçek zamanlı hibrit enerji yönetim uygulamalarında kullanımı zordur. Bu nedenle genellikle gerçek zamanlı algoritmaların test edilmesi ve optimize edilmesi için kullanılırlar. Ancak DP'de

olduğu gibi GA da gerçek zamanlı olarak çalışan algoritmaların optimizasyonu için kullanılabilir. Örneğin Ref [28]'de seri hibrit bir elektrikli otobüste kullanılan kural tabanlı kontrolcü GA kullanılarak optimize edilmiştir.

Genetik algoritmanın üst seviye hibrit enerji kontrol algoritmalarında kullanılmasına ek olarak literatürde genetik algoritmalarının araç bileşenlerinin boyutlandırılmasında kullanıldığı çözümler de mevcuttur.

3.2.5 Parçacık sürüsü optimizasyonu

Parçacık sürüsü optimizasyonunda (PSO), parçacıklar bir arama alanı çevresinde hareket eder ve tüm alanın bilinen en iyi parçacık konumuna yönlendirilir. Sürü parçacıklarının hareketi, gelişmiş pozisyonlar keşfedildiğinde meydana gelir. PSO meta-sezgisel bir yaklaşımdır ve olası çözümler için çok geniş alanları araştırabilir. PSO nedensel olmamasına karşın, optimizasyon probleminin türevlenebilir olmasını gerektirmez. Bir dereceye kadar gürültü veya düzensizlik içeren optimizasyon problemleri için çok uygundur [23].

Diğer çevrimdışı kontrol algoritmaları gibi PSO da, çevrimiçi kontrol algoritmalarının optimizasyonu için kullanılabilir. Wu ve ark. [29], bulanık mantık kontrolcünün üyelik fonksiyonları ve kurallarını, PSO kullanılarak belirlemiştir ve bu sayede yakıt tüketiminde ciddi bir iyileşme elde edilmiştir. Ref [30]'da geliştirilen kural tabanlı eşdeğer yakıt tüketimi optimizasyonu kontrol algoritmasında, eşdeğer yakıt tüketimi optimizasyonu algoritmasının denklik faktörü PSO kullanılarak optimize edilmiştir.

PSO'nun hibrit kontrol algoritmasında uygulanmasının yanı sıra, araç bileşenlerinin optimum boyutlarının bulunması için kullanıldığı pek çok çalışma mevcuttur.

3.3 Çevrimiçi Kontrol Yöntemleri

Çevrimiçi kontrol yöntemleri, çevrimdışı yöntemlerin aksine gerçek zamanlı çalışabilen, nedenseldir algoritmalarıdır. Bu yöntem kendi içinde kural tabanlı yöntemler ve çevrimiçi optimizasyon yöntemleri olarak ikiye ayrılır.

3.3.1 Kural tabanlı kontrol yöntemleri

Kural tabanlı enerji yönetimi algoritmaları, hızlı hesaplamaları, kuruluş kolaylıkları ve güvenli çalışma şekilleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Kontrol

kuralları matematiksel modellere, deneysel veri setlerine ve sistem bileşenlerinin özelliklerini gösteren eğriler bağlı oluşturulur. Temel amaç içten yanmalı motorun verimin en yüksek olduğu, yakıt tüketimi ve emisyonun ise en düşük olduğu noktaya olabildikçe yakın bölgede çalışmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda yük dengeleme işlemi yapılır. Yük dengeleme işlemi ile önceden belirlenmiş kurallara göre aracın güç ihtiyacı anlık olarak farklı güç kaynaklarına bölünmektedir.

Kural tabanlı kontrol algoritmalarının kullanıldığı bir araçta, genel anlamda üç farklı çalışma modu mevcuttur. Bunlar tamamen elektrikli mod (EV, Electric Vehicle), şarj azaltma modu (CHD, Charge-Depletion) ve şarj sürdürme modudur (CS, Charge-Sustaining).

Kural tabanlı kontrolcülerin performansı, tasarımcının tecrübesiyle, kullanılan parametrelerin doğru ayarlanmasıyla direk ilişkilidir. Dolayısıyla algoritmanın verimi bu değişkenlere bağlı olarak doğrudan değişir. Bu nedenle kural tabanlı yöntemler, optimum çözümün bulunmasını garanti edemez. Kural tabanlı kontrol stratejileri ile kontrol kurallarının oluşturulmasında standart bir yaklaşım yoktur. Kuralları detaylandırarak aracı etkileyen herhangi bir olayı kontrol etmek mümkündür.

Kural tabanlı kontrol stratejileri, deterministik kural tabanlı yöntemler ve bulanık mantık kural tabanlı yöntemler olarak ikiye ayrılır. Deterministik bir kural tabanlı kontrolcü, fiili işlemten önce tanımlanmış bir dizi kural seti üzerinde çalışır. Durum makineleri, bunu metodu uygulamak için uygun bir yöntem olarak önerilir. Bu kontrol yaklaşımı Toyota Prius ve Honda Insight'a uygulanmıştır. Bulanık mantık yaklaşımının temel avantajları, bileşen değişkenliği ve ölçüm seslerine uyum sağlamasıdır. Deterministik kural tabanlı kontrolcülerin sağlayamadığı bu esneklik nedeniyle bulanık mantıklı kontrolcüler geliştirilmiştir.

Kural tabanlı algoritmaların yüksek verimde çalışması, tecrübeye bağlı olarak belirlenen eşik değerlerinin doğru seçilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Ayrıca eşik parametreleri, farklı trafik koşulları altında değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle eşik değerlerinin belirlenmesinde, GA, PSO gibi optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır.

3.3.1.1 Deterministik kural tabanlı kontrol yöntemleri

Deterministik kural tabanlı kontrol stratejisinde, kurallara yakıt ekonomisi veya söz konusu motorun emisyon haritası yardımıyla karar verilir. Deterministik kural tabanlı

kontrol yöntemleri, dört farklı kontrol stratejisini içerir. Bunlar durum makinesi, güç takipçisi, düzenlenmiş güç takipçisi ve termostat kontrol yöntemleridir.

Termostat (Aç/Kapa) kontrol yöntemi

Basit ve uygulaması kolay bir kontrol yöntemidir. İçten yanmalı motor devreye girdiğinde veriminin en yüksek olduğu noktada çalıştırılır. Bataryanın SOC'nin önceden tanımlı alt ve üst sınırlar içerisinde tutulması hedeflenir. Önceden tanımlanan sabit kurallar nedeniyle, durumda değişimlerle, belirsizliklerle karşılaşıldığında algoritma gerekli değişikliği gerçekleştiremez. Başka bir deyişle kontrolcü, değişen koşullara uyum sağlayacak esnekliğe sahip değildir. Otobüsler ve servisler gibi sabit rotalı seri hibrit şehir içi transit araçlar için çok etkin bir kontrol yöntemidir [31].

Güç takipçisi kontrol yöntemi

Güç takipçisi kontrol stratejisi temel olarak paralel hibrit elektrikli araç yapılarında kullanılır. Bu stratejide genellikle içten yanmalı motor birincil enerji kaynağı olarak kullanılırken, elektrik motoru gerekli durumlarda devreye giren ikincil güç kaynağıdır [38]. Neredeyse tüm durumlarda generatör- içten yanmalı motor aktiftir. Sadece sürücünün düşük güç talep ettiği durumlar ve SOC'nin üst limitten yüksek olduğu durumlarda pasiftir. Ana kontrolcü sürücüden gelen güç isteğine göre generatör-içten yanmalı motor grubunun çıkış gücünü kontrol eder. Bu yöntemin dezavantajı sistemin en yüksek verim noktasında çalıştırılamamasıdır [31].

Düzenlenmiş güç takipçisi kontrol yöntemi

Güç takipçisi kontrol yönteminin dezavantajı olan yüksek verimli noktada sistemin çalıştırılamaması sorununu çözmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu amaçla enerji tüketimini ve emisyon değerlerini maliyet fonksiyonun girdileri olarak kabul eden bir algoritma oluşturulmuştur [31].

Durum makinesi kontrol yöntemi

Bu yöntemde aracın farklı sürüş modları arasında geçişi söz konusudur. Mod geçişleri değişen sürücü istekleri, sürüş koşulları ve olası hata durumlarına göre yapılır. Mod geçişlerinin sürücü isteklerini göz önünde bulundurması ve hata durumlarına cevap verebilmesi özelliği ile durum makinesi tabanlı kontrol yöntemi, klasik kural tabanlı

yöntemlerden üstündür. Ancak diğer kural tabanlı kontrol yöntemlerinde olduğu gibi, bu yöntemde de sistem veriminin en yüksek seviyede olacağı garanti edilememektedir.

Kural tabanlı kontrol algoritmalarının literatürde pek çok örneği mevcuttur. Fan ve ark. [39], seri-paralel hibrit bir okul otobüsü için kural tabanlı kontrolcü geliştirmiştir. Geliştirilen kural tabanlı kontrol stratejisinin dört önemli amacı vardır. Bunlardan ilki batarya deşarj stratejisidir. Geliştirilen araç şebekeden şarj özelliğine sahip olduğundan büyük kapasitede bir bataryaya sahiptir. Bu nedenle yakıt tüketimini azaltmak, elektrikli modda alınan menzili arttırmak için batarya içindeki enerjinin en yüksek oranda kullanılması hedeflenmiştir. İkinci amaç enerji sirkülasyonunu en düşük seviyeye indirerek bu sayede enerji kayıplarını azaltmaktır. Üçüncü ve öncelikli amaç sürücünün talep ettiği güç ihtiyacını karşılamaktır. Bu amaç için gerekli güç farklı araç bileşenleri arasında dağıtılır. Son amaç ise rejeneratif frenleme ile en yüksek miktarda enerjinin geri kazanılmasını sağlamaktır.

Araçta anlık SOC değerine bağlı olarak, aracın elektrikli mod, şarj azaltma modu ve şarj sürdürme modundan hangisinde çalışacağına karar verilmektedir. Seçilen enerji tüketim modu ve araç bileşenlerinin verimli çalışma noktalarına göre, sürücünün talep ettiği moment, araç bileşenleri arasında dağıtılır. Geliştirilen kontrol yöntemiyle, konvansiyonel bir araca göre %30 oranında yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

Ref [27]'de dinamik programlama yöntemi ile optimize edilmiş kural tabanlı kontrolcü, seri paralel hibrit elektrikli bir otobüse uygulanmıştır. Makalede kullanılan kural tabanlı algoritma, batarya doluluk durumunu değerlendirerek öncelikle aracın çalışacağı elektrikli mod, şarj azaltma modu ve şarj sürdürme enerji tüketim modlarından birine karar vermektedir. Ardından sürücü tarafından talep edilen güce ve enerji tüketim moduna göre, elektrik motoru ve içten yanmalı motorun çalışma durumu belirlenir. Geliştirilen kural tabanlı algoritmanın dinamik programlama yöntemiyle optimizasyonunun ardından, iki algoritma karşılaştırılmıştır. Geliştirilen optimize edilmiş kural tabanlı algoritma ile yakıt tüketiminde 100 km'de %10.45, elektrik enerjisi tüketiminde ise %4.75 azalma elde edildiği gözlenmiştir.

Sorrentino ve ark. [42], seri hibrit solar bir araç için kural tabanlı kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen kural tabanlı algoritmada CS stratejisi uygulanmıştır. CS stratejisinin klasik bir hibrit araca uygulanması esnasında amaç sürüşün sonundaki batarya şarj durumunu, başlangıç anında şarj durumuna eşitlemektir. Bu amaç solar

bir araçta biraz daha değişerek başlangıç anındaki şarj durumu ile gün sonundaki şarj durumunu eşitlemeyi amaçlamaktadır. Bu değişikliğin kaynağı aracın park anında da şarj edilebiliyor oluşudur.

Geliştirilen kural tabanlı kontrolcünün görevleri iç görevler ve dış görevler olarak ikiye ayrılmıştır. Dış görevler takip eden park etme aşamasında yakalanan güneş enerjisinin tam olarak depolanmasını sağlamak için sürüş döngüsünün sonunda ulaşılması istenen nihai şarj durumunu tanımlar. İç görevler ise sürüş esnasında nihai şarj durumundan ne kadar uzaklaşılabileceğini ve generatör setinin üretmesi gereken gücü hesaplamaktadır. Geliştirilen algoritma, DP ve GA algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda geliştirilen kural tabanlı algoritma çevrimdışı kontrol algoritmalarına çok yakın verim değerlerini yakalamıştır.

Ref [43]'de paralel hibrit araç modeli olan kayış tahrikli generatörlü araç için kural tabanlı kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Öncelikle aracın çalışması sürüş ve frenleme olmak üzere iki ana duruma ayrılmıştır. Araç sürüş durumu; sadece elektrikli mod, sadece içten yanmalı motor modu, paralel mod ve şarj modu olmak üzere dört alt duruma ayrılmıştır. Frenleme durumu ise mekanik, rejeneratif ve karma mod olmak üzere üç alt moda ayrılmıştır. Geliştirilen kural tabanlı kontrol algoritması tanımlanan bu modlar arasında geçişi sağlamaktadır. Hibrit araç, aynı özelliklerdeki konvansiyonel araç ile karşılaştırıldığında %18 yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Buna ek olarak geliştirilen hibrit yapı sayesinde aracın ivmelenmesinde ve en yüksek hız değerlerinde de artış elde edilmiştir.

3.3.1.2 Bulanık mantık kontrol yöntemleri

Hibrit çekiş sistemlerinin doğrusal olmayan, zamanla değişen yapısı düşünüldüğünde bulanık mantık tabanlı kontrol algoritmaları, sistem için uygun kontrol yöntemlerinden biridir. Kural tabanlı kontrol yöntemlerindeki gibi kurallar kesin bir şekilde koymak yerine, bulanık mantık kontrol yöntemini karar verici olarak kullanmak sisteme esneklik sağlamaktadır. Bulanık mantık tabanlı kontrol yöntemleri, kural tabanlı kontrol yöntemlerinin genişletilmiş halidir. Bulanık mantık kontrolcülerin verim seviyeleri klasik kontrol tabanlı algoritmalarından daha yüksektir.

Bulanık mantık kontrolcülerinde kuralların dilsel gösterimi, üyelik fonksiyonları ile sayısal girişlere dönüştürülmektedir. Klasik bir bulanık mantık kontrolcünün temel

girişleri SOC, gerekli moment ve sürüş modu; çıkışı ise içten yanmalı motorun çalışma bölgesidir.

Bulanık mantık tabanlı kontrol yöntemleri kendi içinde üçe ayrılmaktadır. Bunlar geleneksel bulanık mantık kontrolcüler, adaptif bulanık mantık kontrolcüler ve kestirimci bulanık mantık kontrolcülerdir.

Geleneksel bulanık mantık kontrol yöntemi

Bu yöntemde tasarımcının tecrübelerinden, deneylerden elde edilen veriler, bulanık mantık veri setlerine dönüştürülür. Kontrolcünün çalışması esnasında, önceden hazırlanan veri setleri kullanılarak durum hakkında kontrolcünün karar vermesi sağlanır [32]. Bu yöntem içten yanmalı motorun daha verimli çalışmasını sağlamak için uygulanır. Bataryanın şarj durumunu sürdürürken elektrik motorunun, içten yanmalı motoru en verimli bölgesinde çalışmasına zorlamak için yük dengeleme yöntemi kullanılır.

Schouten ve ark. [33] paralel hibrit bir araç için, aracın temel komponentlerinin verim optimizasyonu tabanlı bir bulanık mantık kontrolcü geliştirmişler. Bu kontrolcünün girişleri sürücülerden gelen güç isteği, SOC ve elektrik motoru hızıdır. Çıkışları ise jeneratör gücü ve elektrik motoru için ölçeklendirme katsayısıdır. Daha sonra sürücülerden gelen güç isteği, jeneratör gücü elektrik motoru ölçeklendirme katsayısı kullanılarak, içten yanmalı motor ve elektrik motorunun güçleri hesaplanır. Şekil 3.2’de geliştirilen kontrolcünün blok şeması gösterilmektedir.



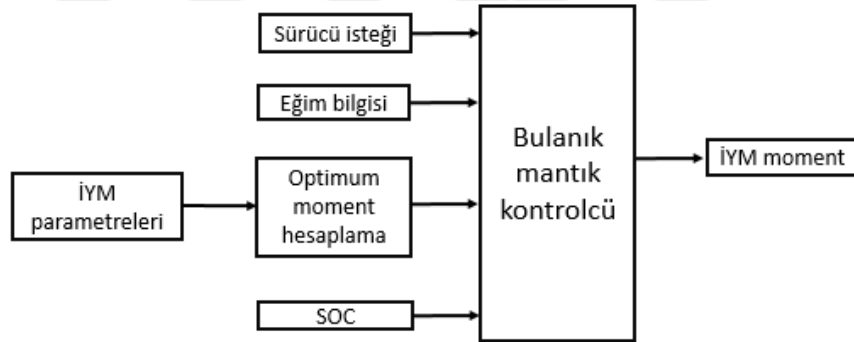
Şekil 3.2 : Kontrolcü blok şeması [33].

Adaptif bulanık mantık kontrol yöntemi

Yakıt tüketimi ve emisyon değerleri tüm hibrit kontrol algoritmaları için optimize edilmesi gereken iki önemli konudur. Yalnız bu iki parametrenin aynı anda tüm sürüş koşulları göz önünde bulundurularak optimizasyonu her zaman mümkün değildir. Uyarlanabilen bulanık mantık kontrol yönteminde, değişken koşullara göre ağırlıklı toplamalar yöntemi kullanılarak mümkün olan en verimli çalışma noktasının bulunması

hedeflenir [34]. Yani farklı sürüş koşullarında amaç fonksiyonu bileşenlerine farklı ağırlık değerleri atanarak yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinin optimize edilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir.

Ref [41]'de paralel hibrit elektrikli bir araç için kural tabanlı ve adaptif bulanık mantık kontrolcüler geliştirilmiştir, ardından bu iki kontrolcünün performansı karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, kural tabanlı algoritması bataryanın yüksek doluluk oranına sahip olduğu ve sürücünün az moment talep ettiği durumlarda iyi sonuçlar vermediği gözlenmiştir. Çünkü bu durumlarda içten yanmalı motor kapalıdır. Ancak içten yanmalı motorun devreye girdiği durumlarda, geleneksel kural tabanlı kontrol stratejisi daha yüksek yakıt tüketimine neden olmaktadır. Çalışma sonucunda, adaptif bulanık mantık kontrol algoritmasının kural tabanlı kontrol algoritmasından çok daha düşük yakıt tüketimin oranına sahip olduğunu gösterilmiştir. Ancak bulanık mantık tabanlı kontrolcü yüksek işlem yükü nedeniyle daha geç tepki verdiği sonucuna da ulaşılmıştır. Şekil 3.3'de geliştirilen adaptif bulanık mantık kontrolcünün blok şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : Kontrolcü blok şeması [41].

Kestirimci bulanık mantık kontrol yöntemi

Kestirimci bulanık mantık kontrolcü, planlanmış bir sürüş çevrimi için girilen verileri kullanır. Bu veriler genelde GPS (Global Positioning System) aracılığıyla toplanan, trafik durumu ve yol eğimi gibi aracın karşılaşacağı zorlukların bilgilerini içerir. Kestirimci bir kontrolcünün tipik girişleri aracın mevcut hızı, gelecek tahmini hız durumu ve yol yükselti değişimidir. Aracın hareket geçmişi ve gelecekteki tahmini hareketine göre kontrolcü, içten yanmalı motorun üretmesi gereken momenti ve bataryanın şarj/deşarj edileceği durumları belirler.

Lee ve ark. [35], aracın yük değişimi ve yol durumundan etkilenmeyen bir kestirimci bulanık mantık kontrolcü geliştirmişlerdir. Bu kontrolcü iki temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar sürücünün gelecekteki davranışını tahmin etmek için kullanılan bir kısım ve yük dengeleme kontrolcüsüdür. Bu kontrolcülerden ilki bataryanın şarj durumunu gözetmeksizin sürücünün isteğine bağlı bir moment referansı oluştururken ikincisi bataryanın şarj durumuna göre bir moment referansı oluşturmaktadır. Simülasyon sonuçları bataryanın harici bir şarj işlemine gerek duymaksızın 20 günlük bir test periyodunda istenilen nominal gerilim seviyesinde kalabildiğini göstermiştir.

Ref [36]'de, seri hibrit bir elektrikli araçta mevcut ve gelecekteki hız, yükseklik bilgilerini giriş olarak kullanarak araçtaki güç akışını kontrol eden bir kestirimci bulanık mantık kontrolcü tasarlanmıştır. Bu kontrolcü trafik durumuna göre değişen araç hızı ve yol yükseklik durumu verileri ile bataryanın şarj/deşarj durumuna karar vermektedir. Geliştirilen algoritma ile güç takipçisi kontrol (power follower control) yöntemleri karşılaştırıldığında, kestirimci bulanık mantık kontrolcü %7 civarında daha az yakıt tüketimine sahiptir.

Ming ve ark. [40] da farklı bir bulanık mantık kontrolcü kullanmışlardır. Kullanılan kontrolcü şebekeden şarj edilebilen, paralel hibrit bir araç için tasarlanmıştır. Aynı araç için ayrıca bir kural tabanlı kontrolcü geliştirilerek iki kontrolcünün performansı karşılaştırılmıştır. Makalede kullanılan kural tabanlı algoritma; SOC, sürücü tarafından talep edilen moment ve en yüksek motor moment değışkenlerini kullanarak aracın hangi modda çalışacağını belirlemektedir. Geliştirilen bulanık mantık tabanlı kontrolcünün temel amacı aracın elektrik motoru ile tahrik edilmesi ve gerekli durumlarda içten yanmalı motorun, elektrik motorunu desteklemesidir. Geliştirilen bulanık mantık tabanlı kontrolcü ile, şarj tüketimi bölgesinin %4.45 arttırıldığı, enerji kayıplarının ise %5.99 azalttığı simülasyon sonuçlarından elde edilmiştir.

3.3.2 Optimizasyon tabanlı kontrol yöntemleri

Çevrimiçi optimizasyon tabanlı kontrol yöntemleri, global optimizasyon problemlerini yerel optimizasyon problemlerinin arka arkaya çözülmesi şeklinde indirgeyerek gerekli hesaplama yükünü azaltır. Bu yöntem gelecek zaman sürüş bilgisine duyulan ihtiyacı ortadan kaldırarak kontrolcülerin gerçek zamanlı da kullanılabilir olmasını sağlar. Eşdeğer yakıt tüketimini azaltma yöntemi (ECMS, Equivalent Consumption

Minimisation Strategy), model kestirimci kontrol, yapay sinir ağı gibi yöntemler bu grup içinde değerlendirilmektedir.

3.3.2.1 Eşdeğer yakıt tüketimini azaltma yöntemi

Eşdeğer yakıt tüketimini azaltma (ECMS, Equivalent Consumption Minimization Strategy) kavramı, global minimizasyon problemini, her adımda çözülen anlık bir minimizasyon problemine dönüştürmenin bir yoludur. Bunun arkasındaki fikir, toplam yakıt tüketiminin, içten yanmalı motorun gerçek yakıt tüketimi ve elektrik motorunun eşdeğer yakıt tüketimi toplamı olarak hesaplanmasıdır. Bu durum, hem bataryada kullanılan enerjinin hem de içten yanmalı motorun yakıt tüketiminin birleştirilmiş temsiline izin verir. Bu yaklaşımı kullanarak, eşdeğer yakıt tüketimi mevcut sistem ölçülen parametrelerin bir fonksiyonu olarak gerçek zamanlı olarak hesaplanır.

Henüz gelişme aşamasında olan ECMS'nin bazı dezavantajları mevcuttur. Bunların başında, enerji yönetimi performansını büyük ölçüde etkileyen denklik faktörünün hesaplanamaması vardır. Denklik faktörünün belirli bir formülasyonu mevcut değildir. Uygun değer belirlenmesi için belirli bir sürüş çevriminde denemeler yapılarak çevrimdışı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca sabit bir denklik faktörü kullanılması, bütün sürüş koşulları için her zaman en yüksek verimi sağlayamayabilir. Denklik faktörünün yüksek değerleri eşdeğer yakıt tüketimindeki elektriksel enerjisi tüketimini azaltmakta, düşük denklik faktörü değerleri ise elektrik enerjisi tüketimini arttırmaktadır. Bu nedenle sürüş çevrimi boyunca değişken denklik faktörü kullanımı yakıt ekonomisini artırır. Yöntemin diğer bir dezavantajı ise şarj durumunun sürekliliğinin sağlanmasının garanti edilememesidir.

Ref [30]'da kural tabanlı ECMS yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen kontrolcü aracın üç farklı çalışma modundan hangisinde çalışacağına kural tabanlı kontrolcü aracılığıyla karar vermektedir. Aracın çalışma modları sadece elektrik motoru modu, sadece içten yanmalı mod ve iki motorun birlikte çalıştığı moddur. ECMS ise içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birlikte çalıştığı modda enerji akış optimizasyonunu sağlamak amacıyla kullanılmıştır. ECMS'de kullanılan denklik faktörü, parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak SOC ve anlık güç ihtiyacına bağlı olarak değişen, çevrimdışı olarak hesaplanmış 2 boyutlu bir tablo üzerinden sürüş anında değişken olarak belirlenmektedir. Benzer bir kontrolcü Li ve ark. [38] tarafından da geliştirilmiştir.

Literatürde ECMS'nin Adaptif ECMS, Telemetri ECMS gibi farklı türleri de bulunmaktadır. Bu yöntemler geçmiş sürüş bilgileri ve tahmini gelecek sürüş bilgilerini kullanarak denklik faktörünü değiştirir. Ancak bu yöntemler GPS gibi ilave bileşenlere gerek duyduğundan araç maliyetini arttırır.

3.3.2.2 Model kestirimci kontrol yöntemi

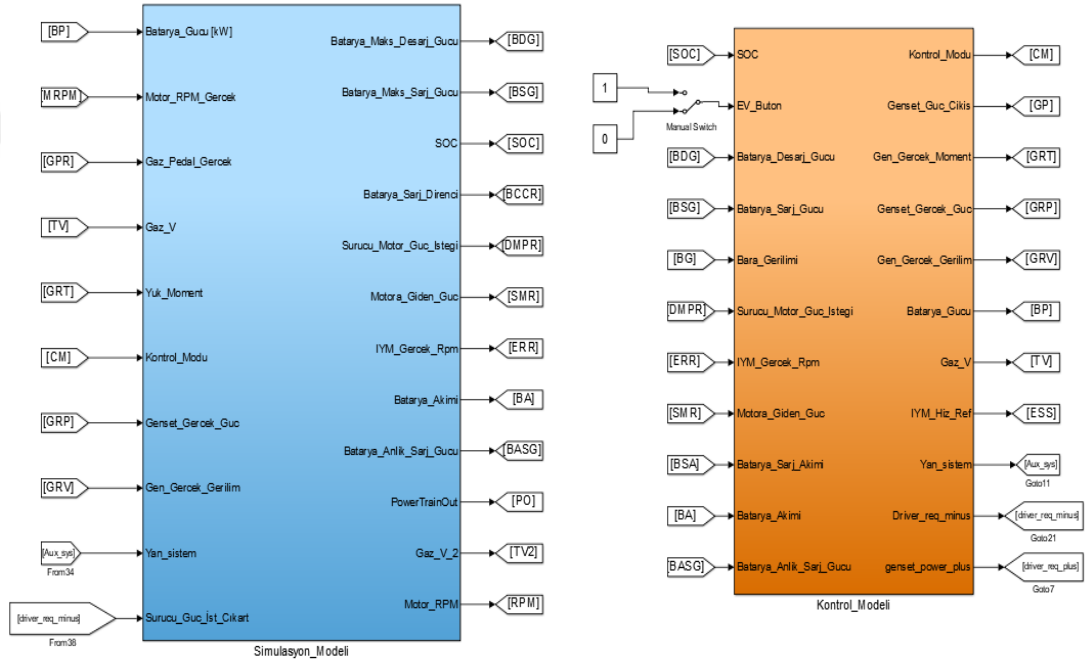
Çevrimiçi olarak çalışan model kestirimci kontrol (MPC, Model Predictive Control) yöntemi bir sistem modelini kullanarak, geliştirilen kontrolcünün sistem üzerindeki etkisini tahmin eder. En çok tercih edilen optimizasyon tabanlı yöntemlerden biridir.



4. ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

4.1 Deterministik Kural Tabanlı Kontrolcü Geliştirilmesi

Seri hibrit araç kontrol modeli iki ana alt sisteme ayrılmaktadır. Bu sistemler Şekil 4.1’de gösterilen Simulasyon_Modeli ve Kontrol_Modeli bloklarıdır.



Şekil 4.1 : Kontrolcünün genel yapısı.

4.1.1 Simulasyon modeli bloğu

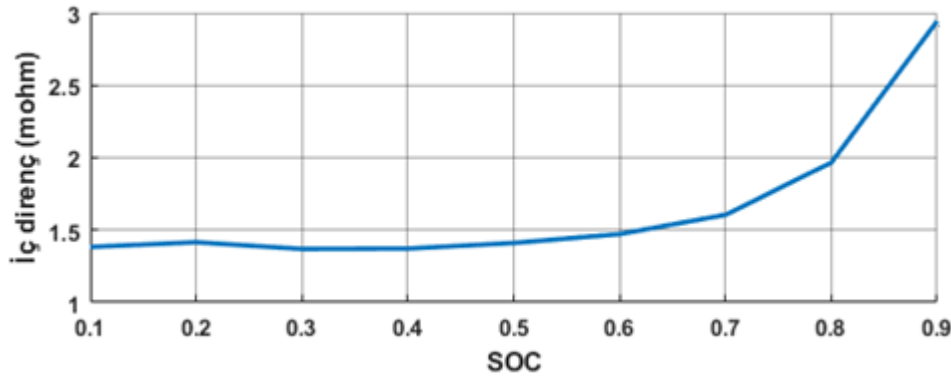
Bu blok generatör seti kontrolü için gerekli olan sinyallerin benzetiminin yapılması için oluşturulmuştur. Blok içinde, gerçek çalışma koşullarında araç üzerindeki kontrol ünitelerinden alınabilecek ancak simülasyon ortamında benzetimi yapılması gereken sinyaller vardır. Örneğin, SOC sinyali gerçekte batarya üzerinde bulunan BMS tarafından yayınlanacaktır, ancak simülasyon ortamında bu sinyalin modellenmesi simülasyonun devamlılığı için zorunludur. Başlangıç SOC değeri ve aracın anlık elektrik enerjisi tüketimine göre, simülasyon boyunca değişen SOC değeri bu blokta hesaplanmaktadır. Denklem 4.1’de SOC’ın “coulomb counting” (amper sayma) yöntemi ile hesaplama formülü gösterilmektedir.

$$SOC = SOC_0 - \int \frac{1}{C \cdot 3600} dt \quad (4.1)$$

Şekil 4.3’de gösterilen Simulasyon_Modeli bloğu; IPG_Guc_Aktarma_Sistemi, Icten_Yanmali_Motor, Surucu_Motor_Guc_Istegi_Hesaplama, Batarya ve Motor_Gucu olmak üzere beş alt sistemden oluşmaktadır.

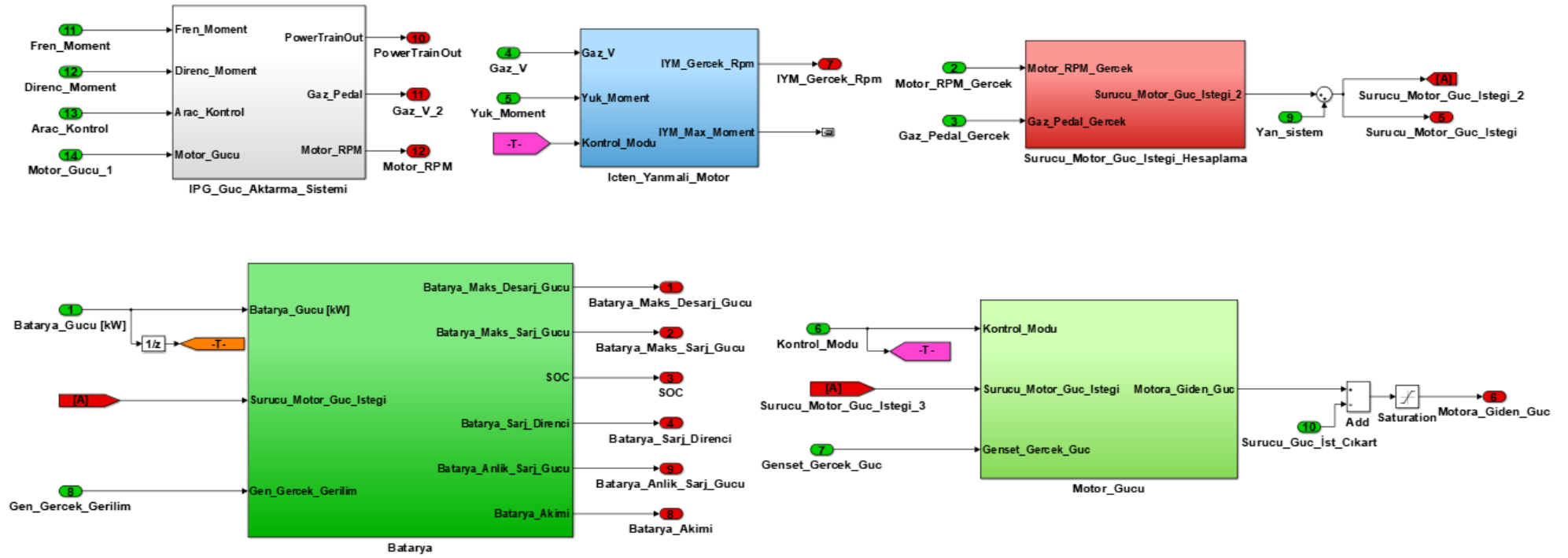
IPG_Guc_Aktarma_Sistemi bloğunda TruckMaker tarafından hazırlanan araç dinamiği modeli mevcuttur. TruckMaker araç modeli ve hibrit kontrol modeli arasındaki bağlantı bu blok üzerinden sağlanmaktadır. Bu bağlantıyı sağlayan parametre çekiş motoruna aktarılan güç ve moment değeridir. Hibrit kontrol algoritması tarafından belirlenen bu değerler IPG_Guc_Aktarma_Sistemi bloğu tarafından araç dinamiği modeline aktarılır ve gücün araçta dağılımı gerçekleştirilir.

Batarya bloğu içerisinde BMS tarafından yayınlanması gereken SOC, batarya akımı, bataryanın anlık en yüksek şarj ve deşarj güçleri, batarya iç direnci gibi mesajlar mevcuttur. Bu mesajların blok içerisinde benzetimi yapılmıştır. Batarya paketinin şarj ve deşarj güçleri, en yüksek şarj/deşarj gücü ve SOC’ın bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Batarya şarj ve deşarj dirençlerinin hesaplanması için, hücrelerin direnç testlerinin sonuçları kullanılmıştır. Burada hücre dirençlerini SOC’a bağlı olarak ifade eden bir tablo kullanılmıştır. Ardından hücre dirençleri ve kontak dirençleri toplanarak toplam direnç elde edilmiştir. Şekil 4.2’de örnek bir iç direnç verisi gösterilmektedir. Denklem 4.2’de ise toplam batarya iç direnci gösterilmektedir. Şarj ve deşarj durumları için ayrı ayrı tablolar kullanılarak dirençler hesaplanmaktadır.



Şekil 4.2 : Hücre şarj iç direnci.

$$R = (R_c)(N_c) + R_b \quad (4.2)$$



Şekil 4.3 : Simulasyon bloğu iç yapısı.

Surucu_Motor_Guc_Istegi_Hesaplama bloğu anlık motor devri ve sürücünün gaz pedalına basma yüzdesi kullanılarak, sürücünün talep ettiği gücün hesaplandığı bloktur. Denklem 4.3’de sürücü güç isteği ifade edilmektedir. Denklemde pedala basılma ifadesi GP_p 0 ile 1 arasında bir oran, en yüksek motor momenti olan M_m , N_m cinsinden, güç isteği P_r ise kW, motor hızı S_m ise rpm cinsinden ifade edilmektedir. 1/9549 çarpanı birim dönüşümü için kullanılmaktadır.

$$P_r = (GP_p)(M_m)(S_m)\left(\frac{1}{9549}\right) \quad (4.3)$$

Surucu_Motor_Guc_Istegi_Hesaplama bloğunda hesaplanan gücün her durumda çekiş motoruna aktarılması mümkün değildir. Motora aktarılan güç SOC, kontrol modu gibi birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle sürücü güç isteğine karşılık, hibrit kontrol algoritmasının sisteme sağlanabilecek gücü hesaplaması gerekmektedir. Motor_Gucu bloğunda aracın çekiş motoruna sağlayabildiği güç hesaplanmaktadır. Denklem 4.4 - 4.6’da farklı kontrol modlarında en yüksek çekiş motoru gücü G_m ’nin hesaplanması gösterilmektedir. Araç elektrikli çalışma modu olan Mod 2’de çalışırken, generatör seti aktif olmadığından motor gücü anlık batarya deşarj gücü olan G_b ’ye eşittir. Araç sürüş destek modu olan Mod 1’de çalışırken generatör seti aktiftir ve bu durumda çekiş motoru generatör seti ve batarya tarafından birlikte beslendiği için G_m , anlık batarya deşarj gücü olan G_b ve generatör seti gücü olan G_g ’nin toplamına eşittir. Şarj modu olan Mod 0’da ise, generatör seti sürüş destek olmak ve bataryayı şarj etmek için kullanılır. Bu modda generatör setinin ürettiği güç, öncelikle sürüş destek olmak için kullanılır. Sürüş için istenen gücün generatör seti gücünden daha düşük olması durumunda, kalan güç batarya şarjı için kullanılır. Bu kontrol modu altında motora aktarılabilecek en yüksek güç, generatör seti gücü olan G_g ’ye eşittir.

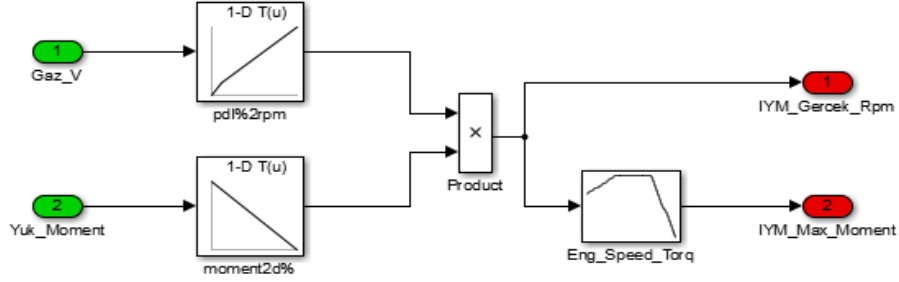
$$Kontrol\ modu == 2 \Rightarrow G_m = G_b \quad (4.4)$$

$$Kontrol\ modu == 1 \Rightarrow G_m = G_b + G_g \quad (4.5)$$

$$Kontrol\ modu == 0 \Rightarrow G_m = G_g \quad (4.6)$$

Icten_Yanmali_Motor bloğunda içten yanmalı motorun benzetimi yapılmaktadır. Bu işlem gaz pedalı basılma yüzdesi ve yüke karşılık gelen devir haritası kullanılarak yapılmıştır. Blok çıktısı olan gerçek motor devri S_{iym} ’nin hesaplanması denklem 4.7’de

gösterilmektedir. Burada içten yanmalı motorun yüksüz halde iken gaz pedalı basılma yüzdesine karşılık gelen devir değeri olan S_{ul} parametresi ile motorun yük altında devir kaybını simgeleyen M_d oranı çarpılarak motorun gerçekte ulaşacağı hız belirlenmektedir. Modelde kullanılan veri setleri, araç üstü deneyleri ile elde edilmiştir.



Şekil 4.4 : İYM hızı hesaplanması bloğu.

$$S_{iym} = (S_{ul}) \times (M_d) \quad (4.7)$$

4.1.2 Kontrol modeli bloğu

Araç kontrolcüsüne yüklenecek kontrol algoritmasının bulunduğu kısımdır. Şekil 4.5’de bloğun iç yapısı gösterilmektedir. Çalışmanın devamında, kontrolcünün performansını direk etkilecek sinyalleri belirleyen blokların açıklaması yapılacaktır.

Kontrol_Mod_Secimi bloğu içerisinde aracın çalışma stratejisi tanımlanmaktadır. Bloğun çıktısı olan kontrol modu sinyalinin 3 adet farklı değeri vardır. Bunlar; Mod 0, Mod 1 ve Mod 2’dir. Kontrol modunun 2 olarak belirlenmesi, aracın elektrikli modda çalışacağını göstermektedir. Aracın elektrikli modda çalışması için belirlenen sınır değer deterministik kural tabanlı kontrolcüde SOC değeridir. SOC, en yüksek eşik değeri olarak kabul edilen seviyeye ulaştığında elektrikli mod kendiliğinden devreye girer. SOC’un alt ve üst sınırlar arasında olduğu durumlarda ise elektrikli mod sürücü tarafından aktive edilebilir. Bu modda generatör seti aktif olmadığında, çekiş motorunun çıkabileceği en yüksek güç seviyesi, bataryanın anlık en yüksek deşarj gücü ile sınırlıdır.

Kontrol modunun 1 olarak belirlenmesi durumunda, araç hibrit modda çalıştırılır. Bu modda generatör seti sürüşe destek olmak için devreye girer, batarya şarj edilmez. Bataryanın doluluk durumu olan SOC bu mod için de eşik değerini belirlemektedir. SOC’ın alt ve üst sınırlar arasında olduğu durumlarda bu mod aktiftir.

Kontrol modunun 0 olduğu durumda araç hibrit modda çalışmaktadır. 0 modunda, 1 modundan farklı olarak bataryanın şarj edilmesi durumu söz konusudur. Yani bu modda generatör setinin üreteceği güç sürüşe destek olma ve bataryayı şarj etmek için kullanılacaktır. Araç performansını kısıtlamamak açısından bu modda öncelik sürüşe destek olmaktır. Sürücünün güç talebinin azaldığı anda, gensetin üretebileceği gücün bir kısmı bataryayı şarj etmek için kullanılır. 0 modunun aktif olma şartı, SOC'ın alt eşik değerinin altında olması durumudur.

Genset_Kademe_Guc_Secimi bloğu, kontrolcünün performansını direk etkileyen, içten yanmalı motor devrinin seçildiği bloktur. Bu blokta generatör setinden talep edilen güç seviyesine göre, içten yanmalı motorunun devri belirlenir. Deterministik kural tabanlı kontrolcünde içten yanmalı motorun verim haritasına göre önceden belirlenmiş üç farklı devir değeri mevcuttur. Burada temel yaklaşım generatörden talep edilen güç seviyesine uygun olan devri seçmektir. Güç seviyesi arttıkça içten yanmalı motor, bir üstteki devir kademesine geçmektedir.

Deterministik kural tabanlı kontrolcünde 3 adet sınır güç değeri belirtilmiştir. Bu 3 farklı aralığa karşılık gelen 3 adet de hız değeri mevcuttur. Anlık generatör seti güç ihtiyacı G_p 'ın bulunduğu aralığa göre hız kademesi S_{gen} belirlenmektedir. Kontrolcünün temel kural seti şu şekildedir;

$$0 < G_p < G_{S1} \Rightarrow S_{gen} = S_1$$

$$G_{S1} < G_p < G_{S2} \Rightarrow S_{gen} = S_2$$

$$G_{S2} < G_p < G_{S3} \Rightarrow S_{gen} = S_3$$

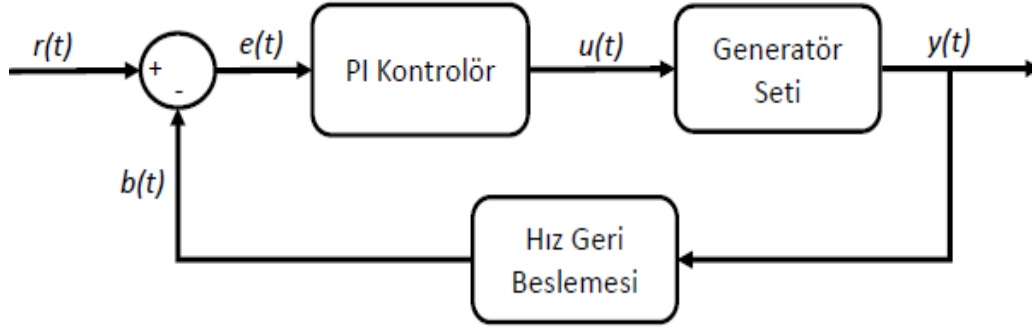
Belirlenen referans hız değerinin sisteme uygulanması için PI kontrolörün uygulanması uygun bulunmuştur. Klasik bir PI kontrolör, oransal (P) kontrol ve integral (I) kontrolün birlikte kullanılması ile oluşmaktadır. PI kontrolcülerde, P kontrol yönteminin sahip olduğu kararlı durum hatasının, integral kontrolcü ile giderilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda referans sinyal $r(t)$ ve ölçüm sonucu $b(t)$ arasındaki fark alınarak hata sinyali $e(t)$ elde edilir. $e(t)$ sinyalinin zaman boyunca integrali alınarak PI kontrolcünün çıkışının kararlı durum sistem hatasını sıfırlayacak şekilde çalışması sağlanır. Denklem 4.8-4.10'da sırasıyla P, I, PI kontrolcülerin matematiksel ifadeleri gösterilmektedir.

$$u_p(t) = K_p e(t) \quad (4.8)$$

$$u_i(t) = K_i \int_0^t e(t) d(t) \quad (4.9)$$

$$u_{pi}(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) d(t) \quad (4.10)$$

Şekil 4.6’da PI kontrolcü sistemi blok diyagramı gösterilmektedir. Geliştirilen kontrolcü için 3 kademeli PI kontrolcü yapısı oluşturulmuştur. Bu işlem referans hız değerleri temel alınarak yapılmıştır. İntegral sınırlaması için de “clamping methodu” uygulanmıştır. Amaç hatanın birikmesini sınırlamak ve oransal kontrolün etkisinin devamlılığını sağlamaktır.



Şekil 4.6 : Generatör seti hız kontrolcüsü

Generatör setinden talep edilen gücü karşılamak için, uygun içten yanmalı motor devri seçildikten sonra üretilcek momentin belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlem Gen_Ref_Moment_Hesaplama bloğunda gerçekleştirilmektedir. Denklem 4.11’de, generatör referans moment değeri olan G_{ref_m} değerinin hesaplanması gösterilmektedir.

$$G_{ref_m} = \frac{G_p}{S_{gen}} \quad (4.11)$$

4.2 Bulanık Mantık Tabanlı Kontrolcü Geliştirilmesi

Geliştirilen deterministik kural tabanlı kontrolcü mod geçişleri, içten yanmalı motorun devrinin belirlenmesi gibi fonksiyonlarda önceden belirlenmiş eşik değerlerine göre çalışmaktadır. İşlem yükünü azaltarak kontrolcünün kolaylıkla gerçek zamanlı çalışmasına imkan sağlayan ve bu nedenle tercih edilen bu kontrol metodu,

tasarımcının yeterli bilgiye sahip olmadığı veya kesin bir sınırla ayrılamayan durumlarda yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle deterministik kural tabanlı kontrolcü referans alınarak, yeni bir hibrit kontrol algoritması geliştirilmiştir. Bu kontrol algoritmasında bulanık mantık kontrolcü tercih edilmiştir. Bulanık mantık tabanlı kontrol algoritmaları kesin bir sınırla ayrılamayan durumlarda tasarımcıya sunduğu esneklik, nispeten düşük işlem yoğunluğu ve deterministik kural tabanlı kontrolcüye yakın olan çalışma mantığı nedeniyle tercih edilmiştir.

Kontrolcünün tasarlandığı aracın bir çöp kamyonu olduğu göz önünde bulundurulduğunda, hibrit kontrol algoritmasının bazı ek fonksiyonlarının da olması beklenmektedir. Bunların başında, aracın çöp toplama alanı olan yerleşim bölgelerine geldiğinde sıfır emisyon değerinde çalışması ve gürültüye neden olmaması gelmektedir. Bu şartların gerçekleştirilebilmesi için aracın elektrikli modda çalıştırılması gerekmektedir. Geliştirilen bulanık mantık tabanlı kontrolcüye ayrıca bu fonksiyonlar da eklenmiştir.

Çöp toplama araçlarının kullanım şekilleri düşünüldüğünde; araç belirli rotalarda, farklı vardiyalarda ve farklı sürücüler tarafından kullanılmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda aracı sabit rotalı bir araç olarak değerlendirebiliriz. Aracın sabit rotalı olması, yüksek oranda belirlenmiş bir enerji tüketim verisi sağlamaktadır. Burada enerji tüketimini etkileyen faktörlerden birisi aracın hız profilidir. Aracın kullanım amacı düşünüldüğünde, hız profilini değiştiren en büyük etmenler trafik durumu, trafik ışıkları ve çöp toplama noktalarıdır. Çöp toplama noktaları ve trafik ışıkları sabit olduğundan, değerlendirilmesi gereken değişken trafik durumudur. Geliştirilen algoritmanın sadeliği açısından, ortalama bir trafik verisi alınması uygun bulunmuştur. Bu amaçla trafik yoğunluğu, gün içindeki saatlere bağlı bir değişken olarak değerlendirilmiş ve saat değişkeni algoritmaya giriş olarak tanımlanmıştır. Tüketimi etkileyen bir diğer faktör aracı kullanan sürücüdür. Burada odaklanılan nokta sürücünün aracı hangi ivmelenme profilinde kullandığıdır. Örnek vermek gerekirse; yüksek ivmelenme değerlerinde yani agresif sürüş profiline sahip olan bir sürücü, aracın daha çok enerji tüketmesine neden olacaktır. Bu durum göz önünde bulundurularak sürücü bilgisi de algoritmanın girişleri arasında tanımlanmıştır.

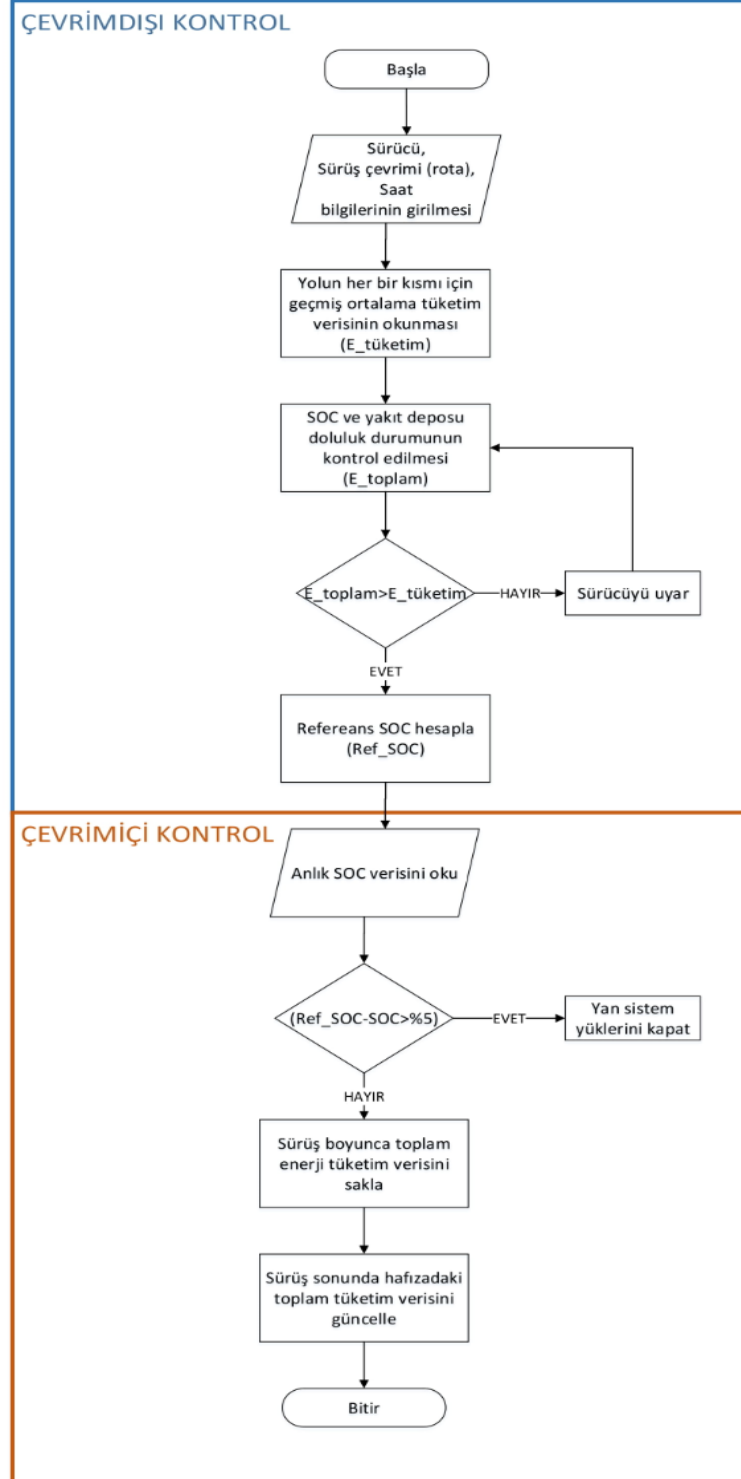
Geliştirilen kontrolcü; farklı rota, sürücü ve saat kombinasyonları için tüketim verilerini depolamaktadır. Bu tüketim verisi her sürüş için ayrı ayrı depolanmak yerine; aynı koşullar için sürüşlerin ortalama verisinin saklanması şeklindedir. Yani

her sürüşün sonunda hafızadaki tüketim verisi güncellenmektedir. Ayrıca bu veri tüm sürüş için toplam tüketim verisi şeklinde değil, yolun her 4 km'lik kısmı için toplam tüketim verisi olarak saklanmaktadır. Bu işlemin amacı geliştirilen kontrolcüye kontrol modu belirleme noktasında daha detaylı bilgi sağlamaktır.

Geliştirilen algoritmanın akış diyagramı Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Sistem çalışmaya başladığında öncelikle rota, saat ve sürücü bilgileri girilir. Ardından kontrolcü girilen bilgilere göre hafızasındaki enerji tüketim verisini okur. Aracın rotayı tamamlaması için yeterli enerjiye sahip olup olmadığının kontrol edilmesi amacıyla, SOC ve yakıt deposu doluluk durumu kontrol edilir ve ardından sürücü bilgilendirilir. Aracın rotayı tamamlayacak enerjiye sahip olması durumunda referans SOC değişkeni hesaplanır. Bu işlemin yapılmasının amacı aracın çöp toplamak amacıyla yerleşim alanına girdiğinde rotanın bu kısmını elektrikli modda tamamlamaya yetecek SOC değerine ulaşmasını sağlamaktır. Araç sabit rotalı olduğundan yolun kaçınıcı km'sinde yerleşim alanına gireceği bellidir. Geliştirilen kontrolcü aracın başlangıç SOC değerine göre; elektrikli moda geçmesi gereken alana ulaşana kadar yolun her bir 4 km'lik parçasının sonunda ulaşması gereken SOC değerini belirler. Bu değer Ref_SOC değişkenine atanır. Algoritmanın bu noktaya kadar yaptığı işlemler çevrimdışı olarak gerçekleştirilir. Bunun amacı çevrimiçi çalışması gereken kontrolcünün işlem yoğunluğunu azaltmaktır. Algoritmanın çevrimdışı modda çalışan kısmının hesapladığı referans SOC değeri, çevrimiçi çalışacak kısmın girişi olarak tanımlanır.

Algoritmanın çevrimiçi kısmında, anlık olarak generatör setine ve çekiş sistemine gönderilmesi gereken kısımlar vardır. Bu kısımdaki mesajların içeriği, deterministik kural tabanlı algoritmanın mesaj içeriğiyle aynıdır. Ancak geliştirilen kontrolcünün; kontrol modu seçimi ve generatör setinin hızının belirlenmesi işlemleri bulanık mantık kontrolcüler tarafından yapılmaktadır. Bu iki fonksiyonun bulanık mantık tabanlı kontrolcülerde yeniden geliştirilmesinin nedeni; karar verme mekanizmasında aslında net sınırların bulunmaması, çıktıların net matematiksel formüller ile ifade edilememesidir. Sistemin bahsedilen yapısı göz önünde bulundurulduğunda, kontrol algoritmasının bu iki fonksiyonunun bulanık mantık kontrolcüye geçirilmesi en uygun çözüm yöntemi olarak görülmektedir. Bulanık mantık kontrolcülerin detayları ilerleyen bölümlerde ele alınmaktadır.

Çevrimiçi kontrolcünün çalışması, çevrimdışı kontrolcünden gelen referans SOC sinyali ile başlar. Bu noktadan sonra anlık SOC, sürekli olarak referans değere eşitlenmeye çalışılır. Deterministik kural tabanlı kontrolcünden farklı olarak, geliştirilen bulanık mantık tabanlı kontrolcüde yan sistem yüklerinin performans kontrolü de sisteme eklenmiştir.



Şekil 4.7 : Bulanık mantık tabanlı kontrolcünün akış diyagramı.

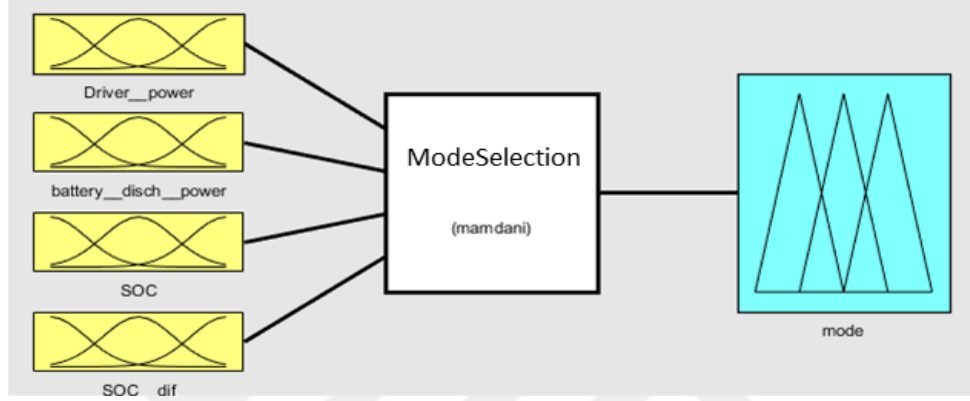
Referans SOC ve anlık SOC arasındaki fark %5'i aştığında yan sistem yüklerinin performansına sınırlama getirilmektedir. Bu sayede yan sistem yükleri tarafından harcanan enerji batarya şarj işlemine aktarılacak ve referans SOC ile anlık SOC arasındaki farkın kısa sürede kapanması sağlanacaktır. Araçta performansına müdahale edilebilecek temel yan sistem yükleri; ısıtıcı-klima, batarya soğutma ünitesi, güç elektroniği soğutma ünitesi ve aydınlatma, radyo gibi düşük güç seviyesindeki yan sistem yükleridir. Radyo ve aydınlatma sistemlerinin tükettiği güç seviyesi çok düşük olduğundan, bu sistemlerde herhangi bir performans kısıtlamasına gerek görülmemiştir. Ayrıca aracın elektrikli direksiyon ve fren sistemi gibi güvenliği etkileyen yan sistemlerde de performans kısıtlaması yapılmamıştır. Gerekli görüldüğünde performans kısıtlamasının yapıldığı ilk sistem ısıtıcı-klima sistemidir. Bu sistemlerin enerji tüketimleri diğer sistemlere oranla çok yüksektir. Bu sistemlerin aracın güvenliği ile ilgili değil, sürücünün konforu ile ilgili olduğu düşünüldüğünde performans kısıtlaması yapılabilecek en uygun sistemler bunlardır. Gerekli görüldüğünde bu sistemlerin tamamen kapatılması durumu da söz konusudur. Performansında kısıtlama yapılması mümkün olabilecek ikincil sistemler, batarya soğutma ve güç elektroniği birimlerini soğutma üniteleridir. Burada komponentlerin sıcaklıkları değerlendirilerek kısa süreli performans kısıtlamaları yapılabilmektedir. Ancak komponentlerin sıcaklarının aşırı yükselmesi sistem güvenliğini ve komponent ömrünü olumsuz olarak etkileyeceğinden, komponentlerin sıcaklıklarının belirlenen sınır değerlere ulaşması durumunda performans kısıtlaması kaldırılacaktır.

Çevrimiçi algoritma sürüş boyunca harcanan enerji tüketimi verisini hafızasında saklamaktadır. Bu işlemin amacı çevrimdışı kontrolcü tarafından kullanılan enerji tüketim verisinin güncellenmesidir. Tüm sürüş çevrimlerinin ortalamasını içeren tüketim verisi her sürüşün sonunda son gelen veri ile güncellenir. Güncellenmenin ardından son sürüş verileri hafızadan silinir. Çevrimdışı algoritmanın ortalama tüketim verisini kullanması, sürüşlerde yaşanabilecek olağandışı durumların etkisinin azaltılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle aynı rota ve koşullarda tekrarlanan sürüş sayısının artması, ortalama tüketim verisinin daha doğru bir değere ulaşmasını sağlayacaktır.

Sürüş anında herhangi bir nedenden dolayı aracın rota dışına çıkması durumunda enerji yönetim algoritması, GPS sinyalleri üzerinden durumu algılayacak ve çalışma şeklini ona göre güncelleyecektir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için aracın

çevrimiçi kontrolcüsünün başlangıç adımı olan mod seçimi işlemine müdahale edilmektedir. Aracın çalışma modu seçimi için kullanılan bulanık mantık tabanlı kontrolcünün giriş sinyallerinden biri olan referans SOC ile anlık SOC arasındaki fark sıfıra indirilir. Bu işlem aracın herhangi bir rotada mevcut SOC, sürücü güç isteği ve batarya deşarj gücüne uygun olan çalışma modunu belirlemesini sağlamaktadır.

4.2.1 Bulanık mantık mod seçim kontrolcüsü



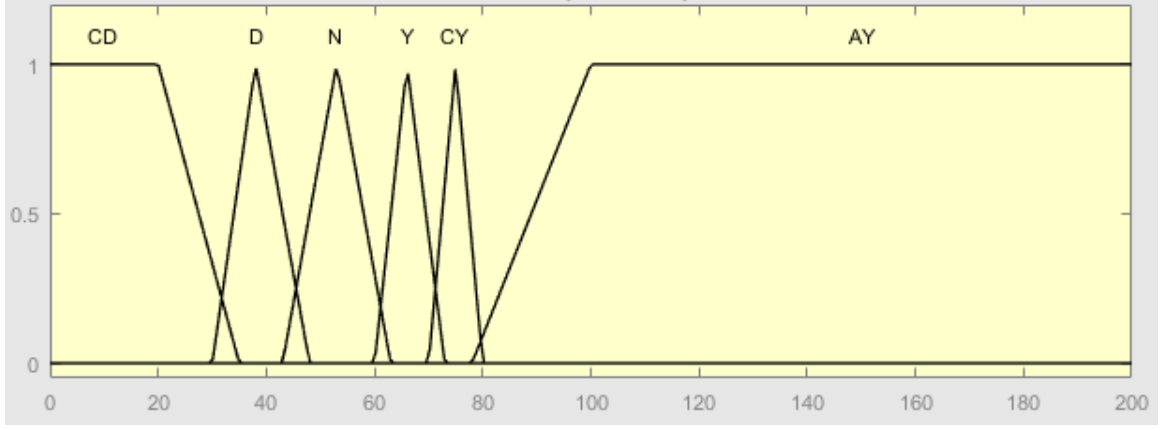
Şekil 4.8 : Bulanık mantık mod seçim kontrolcüsü.

Çevrimiçi kontrolcünün karar mekanizmasının ilk adımı uygun çalışma modunun seçilmesidir. Algoritmanın geri kalanındaki tüm işlemler, çalışma moduna göre belirlenmektedir. Şekil 4.8’de bulanık mantık mod seçim kontrolcüsü gösterilmektedir.

Kontrolcünün 4 adet girişi bulunmaktadır. Bunlardan ilki sürücünün güç isteğidir. Şekil 4.9’da gösterilen sürücü güç isteği girişi 6 adet üyelik fonksiyonuna ayrılmıştır. Bunlar;

- CD (Çok Düşük): Sürücü güç isteği 0-35 kW arasındadır.
- D (Düşük): Sürücü güç isteği 30-48 kW arasındadır.
- N (Normal): Sürücü güç isteği 43-63 kW arasındadır.
- Y (Yüksek): Sürücü güç isteği 60-73 kW arasındadır.
- CY (Çok Yüksek): Sürücü güç isteği 70-80 kW arasındadır.
- AY (Aşırı Yüksek): Sürücü güç isteği 78-200 kW arasındadır.

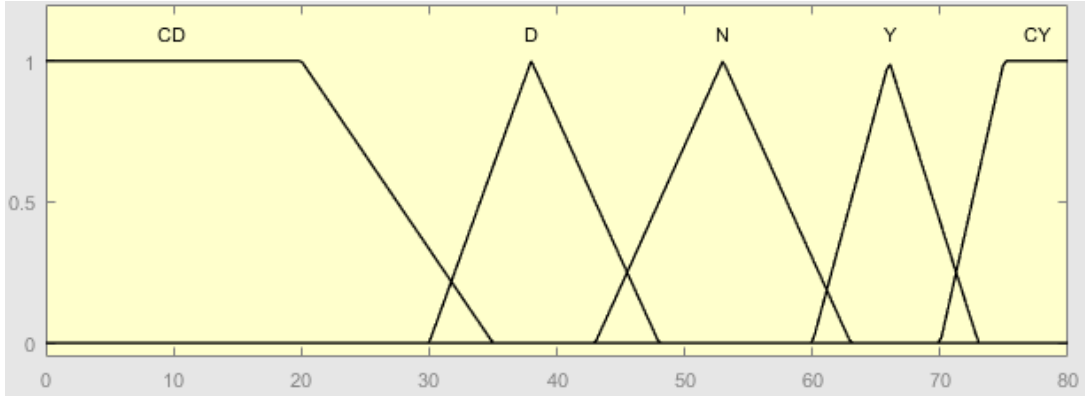
Sürücü güç isteği üyelik fonksiyonlarının sınırlarının belirlenmesinde, batarya deşarj gücü üyelik fonksiyonlarının sınırları göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 4.9 : Sürücü güç isteği (kW) girişi üyelik fonksiyonları.

Kontrolcünün ikinci girişi batarya deşarj gücüdür. Şekil 4.10'da gösterilen batarya deşarj gücü girişi 5 adet üyelik fonksiyonuna ayrılmıştır. Bunlar;

- CD: Batarya deşarj gücü 0-35 kW arasındadır.
- D: Batarya deşarj gücü 30-48 kW arasındadır.
- N: Batarya deşarj gücü 43-63 kW arasındadır.
- Y: Batarya deşarj gücü 60-73 kW arasındadır.
- CY: Batarya deşarj gücü 70-80 kW arasındadır.

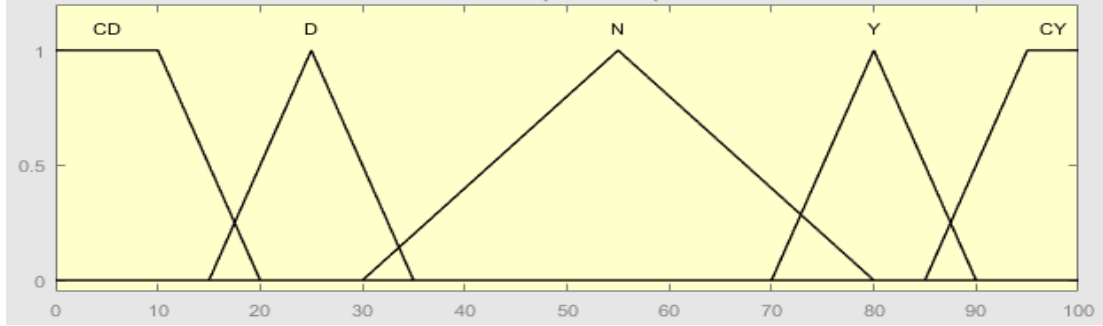


Şekil 4.10 : Batarya deşarj gücü (kW) girişi üyelik fonksiyonları.

Kontrolcünün üçüncü girişi, SOC'dur. Şekil 4.11'de gösterilen SOC girişi 5 adet üyelik fonksiyonuna ayrılmıştır. Bunlar;

- CD: SOC % 0-20 arasındadır.
- D: SOC %15-35 arasındadır.
- N: SOC %30-80 arasındadır.

- Y: SOC %70-90 arasındadır.
- CY: SOC %85-100 arasındadır.



Şekil 4.11 : SOC (%) girişi üyelik fonksiyonları.

Kontrolcünün dördüncü girişi referans SOC ve anlık SOC arasındaki farktır. Şekil 4.12’de gösterilen bu giriş 3 adet üyelik fonksiyonuna ayrılmıştır. SOC farkı girişi, -100 ile +100 arasında değer alabilmektedir. SOC farkının negatif olması referans SOC’nin, gerçek SOC’den düşük olması anlamına gelmektedir. Bu durumda, kontrolcü mod seçimini elektrikli moddan yana yaparak bataryayı deşarj etmesi için yönlendirir. SOC farkının pozitif olması ise referans SOC’nin, gerçek SOC’den yüksek olması anlamına gelmektedir. Bu durumda ise kontrolcü mod seçimini hibrit moddan yana yaparak bataryayı şarj etmesi için yönlendirir. SOC farkının 0’a çok yakın olması durumu denge durumudur. Bu durumda kontrolcü bataryayı şarj veya deşarj ettirmek için zorlamaz; sürücü güç isteği, batarya deşarj gücü ve SOC girişlerine uygun olan bir çalışma modunda seçim yapar. Ayrıca aracın belirlenen rotanın dışına çıkması durumunda da SOC farkı girişine denge durumu girişi gönderilerek kontrolcünün mümkün olan en uygun modu seçmesi sağlanır. Kontrolcünün çalışma yapısını daha iyi ifade edebilmek için örnek kurallar şu şekildedir;

- Eğer Sürücü güç isteği D, Batarya deşarj gücü CD, SOC Y ve SOC farkı Denge ise Mod 1’dir.
- Eğer Sürücü güç isteği D, Batarya deşarj gücü CD, SOC Y ve SOC farkı Şarj ise Mod 0’dır.

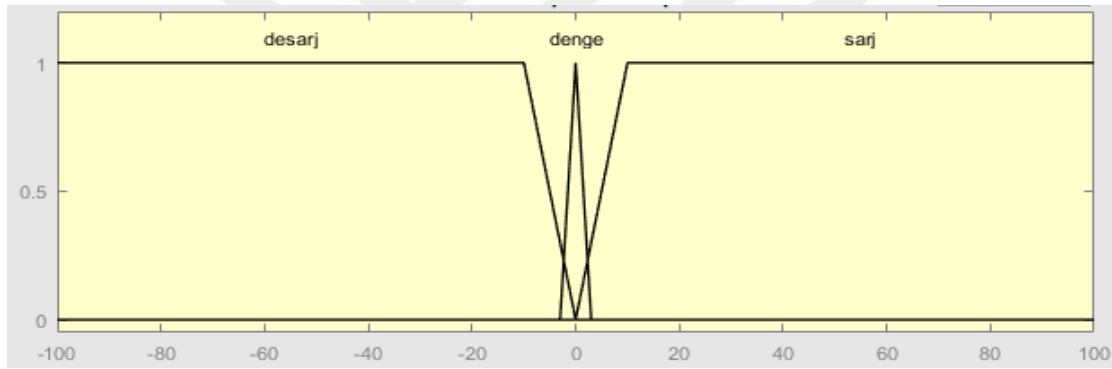
Yukarıda belirtilen iki durum arasında giriş parametrelerinin tek farkı SOC farkı girişidir. İlk durumda SOC farkı girişi denge durumunda olduğu için aracın sadece sürüş destek modu olan 1 modunda çalışması yetmektedir. Ancak ikinci örnekte SOC farkı girişinin pozitif yani şarj değerinde olması aracın beklenen SOC seviyesinin

altında kaldığını göstermektedir. Bu nedenle sistem çalışma modunu şarj modu olan 1 olarak belirlemiştir.

İkinci bir örnek kural seti ise aşağıdadır;

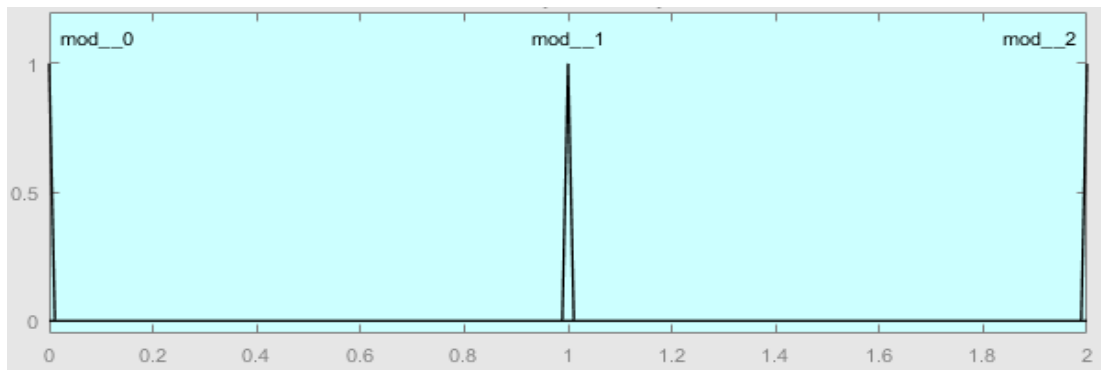
- Eğer Sürücü güç isteği Y, Batarya deşarj gücü Y, SOC CY ve SOC farkı Denge ise Mod 2'dir.
- Eğer Sürücü güç isteği Y, Batarya deşarj gücü N, SOC CY ve SOC farkı Deşarj ise Mod 1'dir.

Yukarıda belirtilen kural setleri arasındaki fark batarya deşarj gücüdür. İlk durumda batarya deşarj gücü sürücü güç isteği ile aynı seviyede olduğu, SOC ise şarj olmaya izin vermeyen CY seviyesinde olduğu için araç elektrikli modda çalışmaktadır. Ancak ikinci örnekte batarya deşarj gücü N seviyesin yani sürücü isteğinden daha düşük olduğu için araç sürüşe destek modunda çalışmaktadır.



Şekil 4.12 : SOC farkı (%) girişi üyelik fonksiyonları.

Kontrolcünün çıkışı ise aracın çalışma modudur. Şekil 4.13'de gösterilen çıkış sinyali 3 adet üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Bunlar önceki bölümlerde de anlatılan araç çalışma modları olan Mod 0, Mod 1 ve Mod 2'dir.

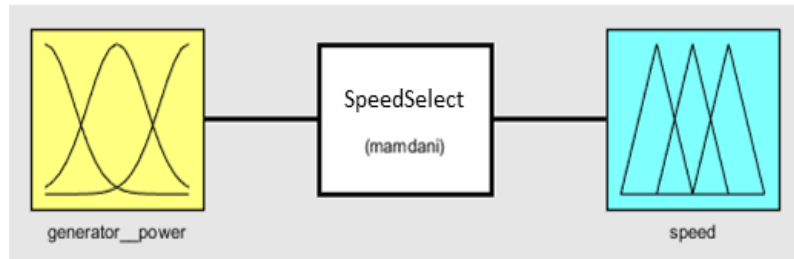


Şekil 4.13 : Araç çalışma modu çıkışı üyelik fonksiyonları.

4.2.2 Bulanık mantık generatör seti hız seçim kontrolcüsü

Generatör seçiminin hızının belirlenmesi fonksiyonu kontrol algoritmasının bir diğer önemli fonksiyonudur. Kontrol modu seçim bloğunda, araç çalışma modunun 0 veya 1 seçilmesi durumunda yani araç hibrit moddayken, öncelikle generatör setinin üretmesi gereken güç hesaplanır. Ardından bu güç değeri bulanık mantık hız seçimi bloğuna giriş olarak atanır ve generatör setinin hızı belirlenir. Ardından istenilen çıkış gücünü sağlayabilmek için üretilmesi gereken moment değeri başka bir blokta hesaplanır.

Şekil 4.14’de gösterilen bulanık mantık hız seçimi kontrolcüsünün bir adet girişi ve çıkışı bulunmaktadır. Kontrolcünün girişi üretilmesi gereken generatör seti gücü, çıkışı ise generatör seti hızıdır. Kontrolcünün çalışma mantığı, artan güç ihtiyacına karşılık generatör setinin hızının da arttırılmasını sağlamaktır.

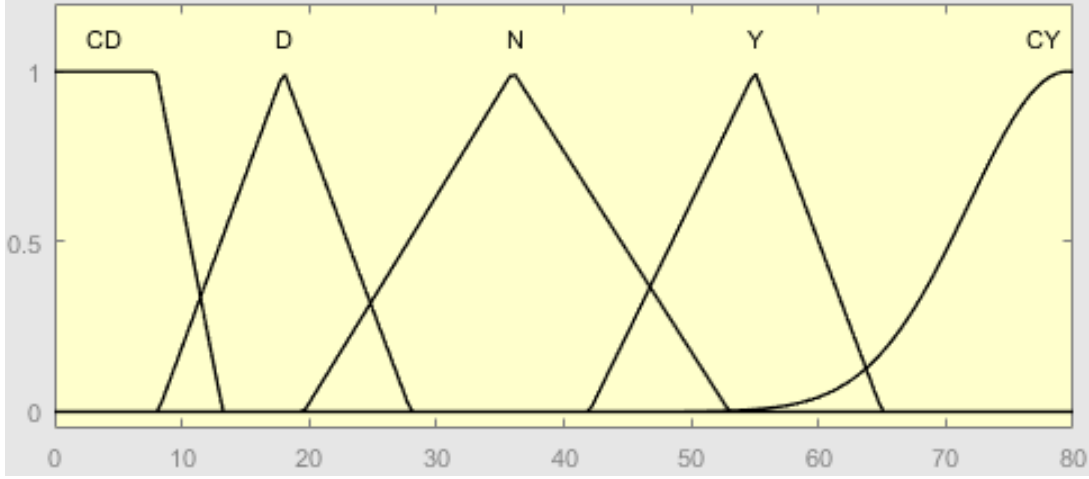


Şekil 4.14 : Bulanık mantık generatör hız seçimi kontrolcüsü.

Generatör seti güç isteği girişi 5 adet üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Şekil 4.15’de gösterilen bu üyelik fonksiyonları şunlardır;

- CD: Generatör seti gücü 0-13 kW arasındadır.
- D: Generatör seti gücü 8-28 kW arasındadır.
- N: Generatör seti gücü 20-53 kW arasındadır.
- Y: Generatör seti gücü 42-65 kW arasındadır.
- CY: Generatör seti gücü 55-80 kW arasındadır.

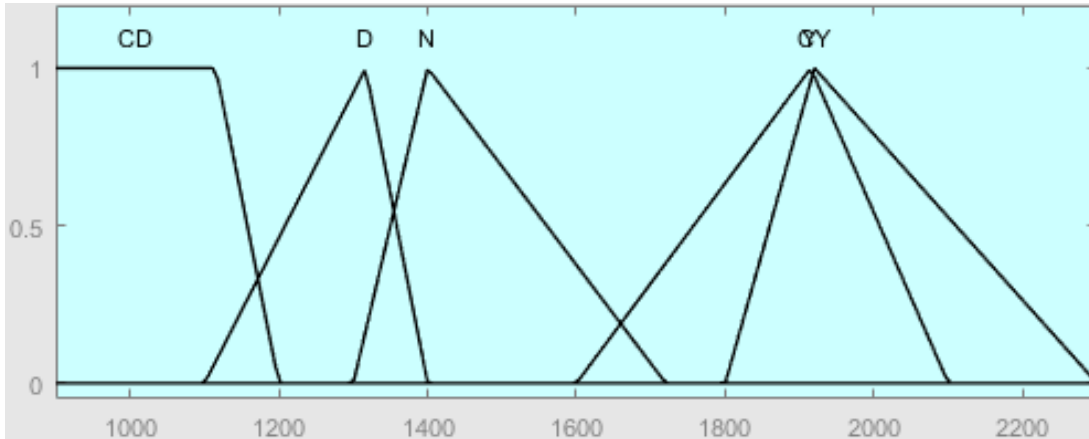
Oluşturulan bulanık mantık hız seçim kontrolcüsünün giriş ve çıkışları için üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, içten yanmalı motorun devir, moment ve yakıt tüketimi haritası kullanılmıştır.



Şekil 4.15 : Generator gücü üyelik fonksiyonları.

Generator seti hız çıkışı 5 adet üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Şekil 4.16'da gösterilen bu üyelik fonksiyonları şunlardır;

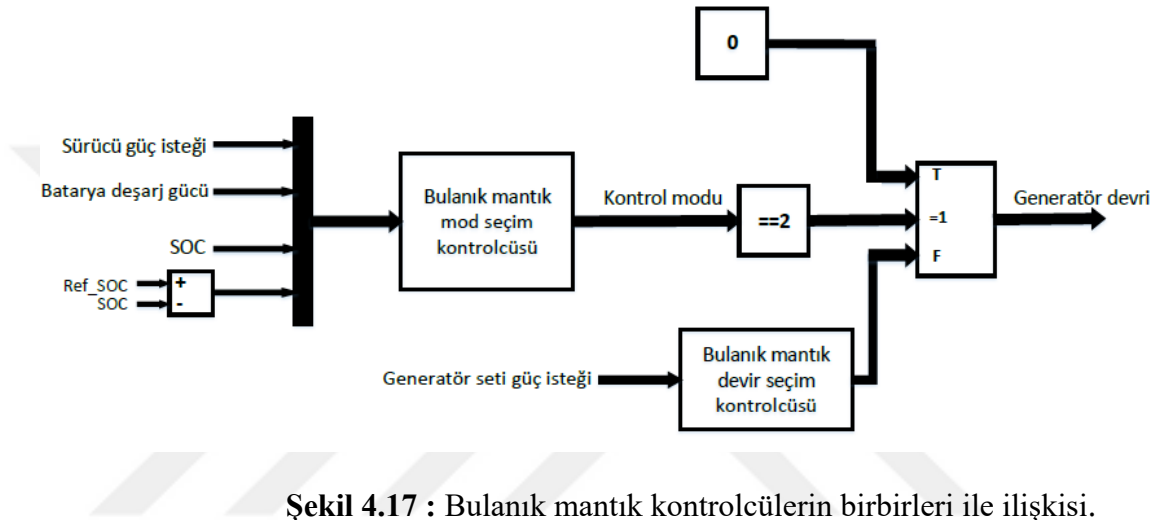
- CD: Generator seti hızı 0-1200 rpm arasındadır.
- D: Generator seti hızı 1100-1400 rpm arasındadır.
- N: Generator seti hızı 1300-1720 rpm arasındadır.
- Y: Generator seti hızı 1600-2100 rpm arasındadır.
- CY: Generator seti hızı 1800-2300 rpm arasındadır.



Şekil 4.16 : Generator seti hızı üyelik fonksiyonları.

Geliştirilen hibrit kontrol algoritmasında sürücü güç isteği, generator seti güç ihtiyacı, batarya şarj gerilimi belirleme gibi birçok fonksiyon matematiksel işlemlere dayandırılarak yapılmıştır. Bu fonksiyonların çıkışları, kullanılan bulanık mantık mod seçimi ve generator hızı belirleme kontrolcülerinin girişlerini oluşturmaktadır. Bulanık

mantık kontrolcülerin birbirleri ile ilişkileri Şekil 4.17’de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere bulanık mantık kontrolcüler birbirlerinin çalışmalarını doğrudan etkilememektedir. Algoritma öncelikle bulanık mantık mod seçim kontrolcüsü ile aracın çalışma moduna karar vermektedir. Ardından çalışma modunun hibrit modlardan biri olması durumunda, bulanık mantık hız seçim kontrolcüsü tarafından generatör seti güç isteğine göre belirlenen hız değeri generatör devri sinyaline atanır. Ancak bulanık mantık mod seçim kontrolcüsünün elektrikli çalışma modunu seçmesi durumunda, generatör devri değişkenine 0 rpm değeri atanır.



Şekil 4.17 : Bulanık mantık kontrolcülerin birbirleri ile ilişkisi.

4.3 Benzetişim Sonuçları Ve Fonksiyon Testleri

Geliştirilen enerji yönetim sistemi, Matlab/Simulink ortamında test edilmiştir. Test işlemini gerçekçi bir şekilde uygulayabilmek için Bölüm 2’de bahsedilen gerçek bir çöp kamyonunun bir günlük çalışma senaryosunu modellenmiştir. Günde iki vardiya çalışan araç, ilk vardiyada garajdan harekete başlar ve sırasıyla Acıbadem ve Göztepe’ye gider. Buralarda çöp topladıktan sonra, çöp döküm merkezine gider. Ardından garaja geri dönerek ikinci vardiyaya kadar bekler. İkinci vardiyada araç, garajdan Kadıköy’e gider. Kadıköy’de çöp toplar. Ardından çöp döküm merkezine gider ve garaja geri dönerek çevrimi tamamlar. Algoritmanın denenmesi için geliştirilen seri hibrit elektrikli aracın modeli kullanılmıştır. TruckMaker programında dinamik modeli oluşturulan araca, Matlab/Simulink ortamında geliştirilen kontrolcü entegre edilmiştir.

Geliştirilen bulanık mantık tabanlı kontrol algoritmasının, tek şarjla aracın günlük rotasını tamamlamasını sağlaması hedeflenmiştir. Bu işlemi yaparken çöp toplama alanlarında aracın elektrikli modda hareketini de garantilemesi amaçlanmaktadır.

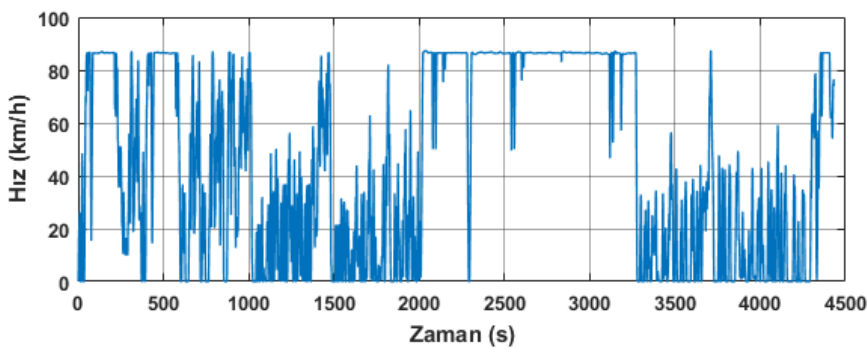
Çevrimdışı kontrolcü için gerekli ortalama tüketim verisini üretebilmek için TruckMaker programı kullanılmıştır. Programda modellenen Isuzu NPR10 seri hibrit elektrikli araç farklı hız profillerinde, belirtilen rotalarda koşturularak ortalama hız tüketimi verisi elde edilmiştir. Ardından tüketim verileri Matlab Simulink ortamında geliştirilen kontrolcünün test edilmesi için kullanılmıştır.

Geliştirilen çevrimdışı kontrolcü içeren bulanık mantık tabanlı kontrolcünün performansının test edilmesi için simulasyon sonuçları kural tabanlı kontrolcünün performans sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Geliştirilen kontrol algoritmasının yol testleri ile doğrulanması süreci henüz başlatılmadığından, Bölüm 4.1 ve 4.2’de açıklanan ve algoritmayı oluşturan fonksiyonların araç üstü test sonuçları Bölüm 4.3.6’da verilmektedir.

4.3.1 Bulanık mantık mod seçimi kontrolcüsü performans analizi

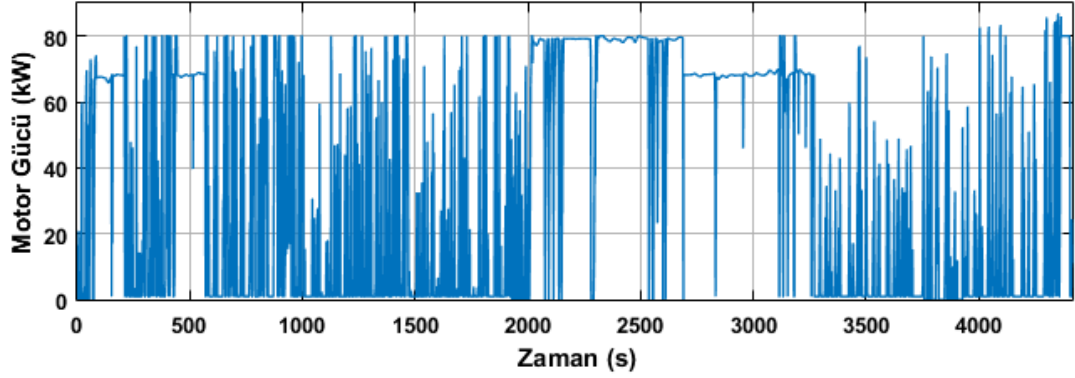
Şekil 4.18’de aracın hız-zaman grafiği gösterilmektedir. Araç çöp toplama alanında düşük ortalama hız değerine sahiptir. Ayrıca bu alanda sık sık aracın çöp toplama amacıyla durduğu görülmektedir. Çöp toplama alanı dışında ise araç daha yüksek bir hız profiline sahiptir ve daha az durmaktadır.



Şekil 4.18 : Araç hız zaman grafiği.

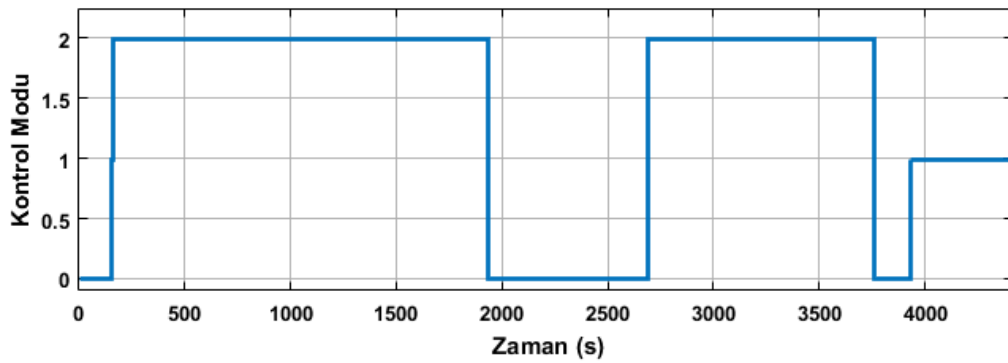
Şekil 4.19’da motor gücü-zaman grafiği bulunmaktadır. Araç elektrikli modda çalışırken motor gücü, en yüksek batarya deşarj gücü olan 80 kW ile sınırlıdır. Aracın 0 modunda olduğu zamanlarda, generatör seti bataryayı şarj etmek için kullanıldığından, motor gücü en yüksek generatör gücü olan 80 kW ile

sınırlandırılmaktadır. Araç kontrol modunun 1'e eşit olduğu durumlarda, batarya ve generatör seti motoru birlikte beslediğinden en yüksek güç 160 kW değerine kadar çıkabilmektedir. Şekil 4.19'da, kontrol modu 1 iken araç en yüksek 87 kW anlık güç harcamıştır.



Şekil 4.19 : Araç çekiş motoru gücü zaman grafiği.

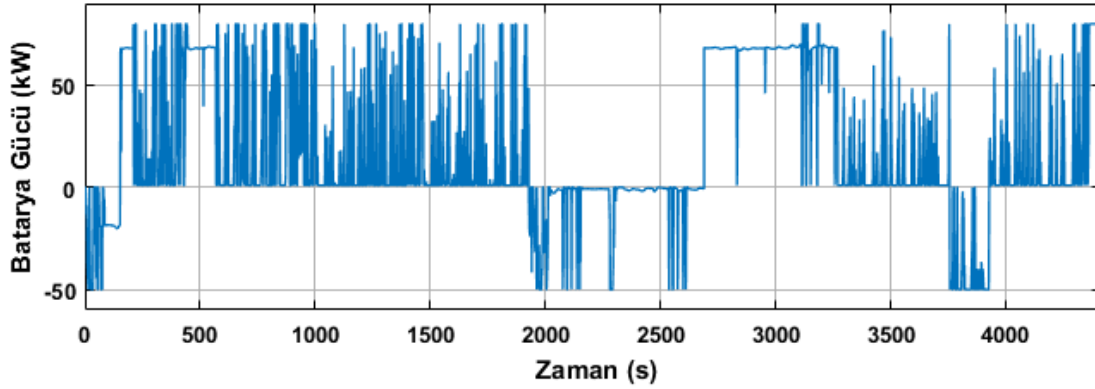
Şekil 4.20'de aracın kontrol modu zaman grafiği gösterilmektedir. Grafikte aracın elektrikli modda olduğu ilk iki kısım çöp toplama alanlarıdır. Araç çöp toplama alanlarına gelmeden önce kontrol modunu 0'a alarak bataryayı şarj etmiştir ve bu sayede toplamda 32 km'lik çöp toplama alanını elektrikli modda tamamlamayı başarabilmiştir. İkinci çöp toplama alanını 3755. saniyede tamamladıktan sonra alt sınıra yaklaşan SOC seviyesini kabul edilebilir seviyeye yükseltmek için öncelikle şarj modunda çalışmıştır. Batarya SOC seviyesi yükseldikten sonra araç sürüşe destek moduna geçmiştir ve sürüşü bu modda tamamlamıştır.



Şekil 4.20 : Araç kontrol modu zaman grafiği.

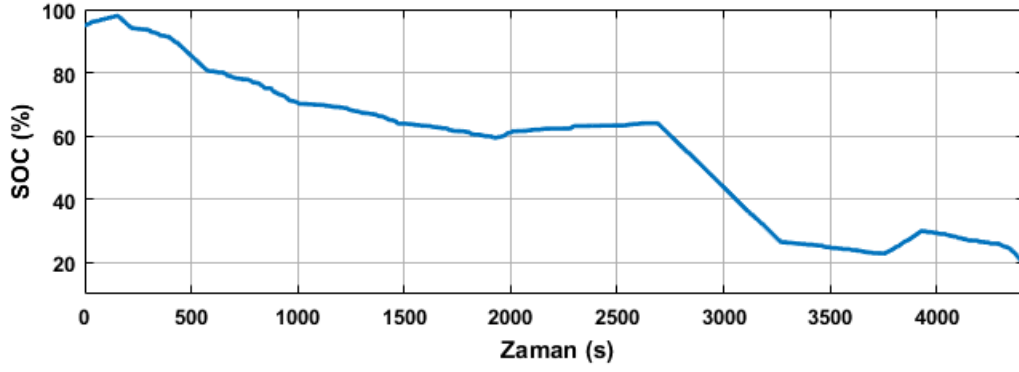
Şekil 4.21'de batarya gücü-zaman grafiği gösterilmektedir. Batarya gücünün pozitif olduğu kısımlarda bataryada deşarj olmaktadır. Batarya gücünün negatif olduğu

kısımlarda ise, batarya generatör seti tarafından şarj edilmektedir. Bataryanın en yüksek deşarj gücü 80 kW, en yüksek şarj gücü ise 50 kW ile sınırlıdır.



Şekil 4.21 : Batarya gücü zaman grafiği.

Şekil 4.22’de SOC - zaman grafiği gösterilmektedir. Başlangıçta %95 SOC ile başlayan araç ilk çöp toplama alanına gelene kadar şarj edilmiştir. Ardından araç ilk çöp toplama bölgesini elektrikli modda tamamlamıştır. Bu alan tamamlandığında batarya doluluk durumu %59 seviyesine gerilemiştir. İlk çöp toplama alanından çıkıp, çöp döküm merkezi ve garaja giden araç daha sonra ikinci vardiyada tekrar çöp toplama alanına gelene kadar batarya doluluk durumunu %66’ya yükseltmiştir. İkinci çöp toplama alanının sonunda batarya doluluk durumu %23 seviyesine gerilemiştir. Bu seviye batarya güvenli çalışma bölgesi alt sınırı olan %20 SOC seviyesine çok yakın olduğu için ikinci çöp toplama alanının sonunda, kontrolcü aracı şarj moduna almıştır. Şarj işlemi bataryanın kabul edilebilir SOC seviyesi olan %30’a ulaşmasıyla sonlanmış ve araç sürüşe destek moduna geçmiştir. Araç sırasıyla çöp döküm merkezi ve garaja gidip rotasını tamamladığında batarya doluluk durumu tekrar %20 seviyesine gelmiştir. Sürüş çevrimi boyunca batarya doluluk durumu, güvenli çalışma bölgesi sınırları içerisinde kalan %100 ve %20 arasında değişmiştir. Ayrıca araç çöp toplama noktalarının tamamını hedeflediği gibi elektrikli modda tamamlamıştır.

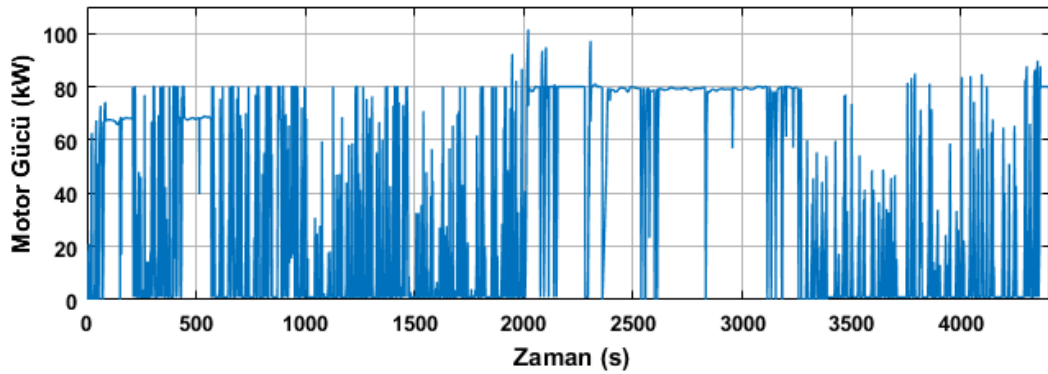


Şekil 4.22 : SOC zaman grafiği.

4.3.2 Deterministik kural tabanlı mod seçimi kontrolcüsü performans analizi

Deterministik kural tabanlı kontrolcü, aracın anlık sürücü güç isteği, SOC ve batarya deşarj gücüne göre uygun modda çalışmasını sağlar. İki kontrolcünün performans analizlerinin doğru yapılabilmesi adına, simülasyonlar aynı başlangıç koşulları ile başlatılmıştır ve simülasyon boyunca aynı hız profili takip edilmiştir.

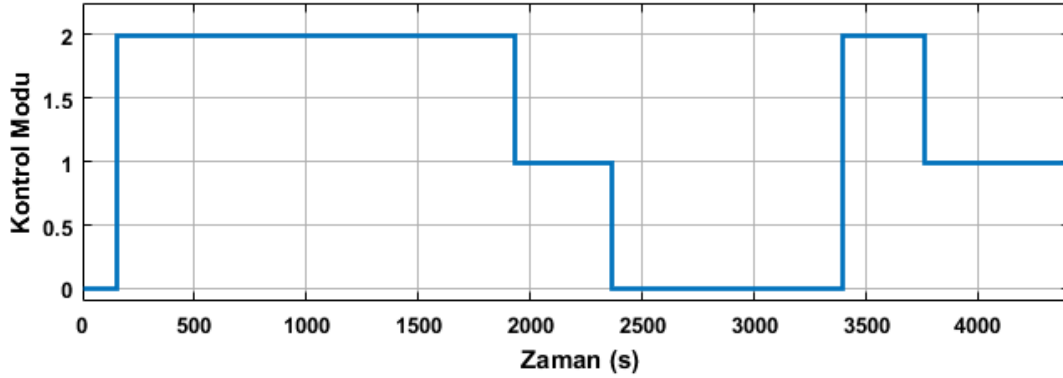
Şekil 4.23’de aracın motor gücü-zaman grafiği bulunmaktadır. Bulanık mantık tabanlı kontrolcüden farklı olarak, sürüşe destek modunda en yüksek motor gücü 101.5 kW’a kadar çıkmıştır. Bu durumun nedeni iki kontrolcünün farklı zamanlarda sürüşe destek moduna geçmesinden kaynaklanmaktadır. Kural tabanlı kontrolcünün sürüşe destek moduna geçtiği zaman aralığında, sürücü güç isteği daha yüksek olduğu için motora aktarılan güç de daha fazla olmuştur.



Şekil 4.23 : Kural tabanlı kontrolcü çekiş motoru gücü zaman grafiği.

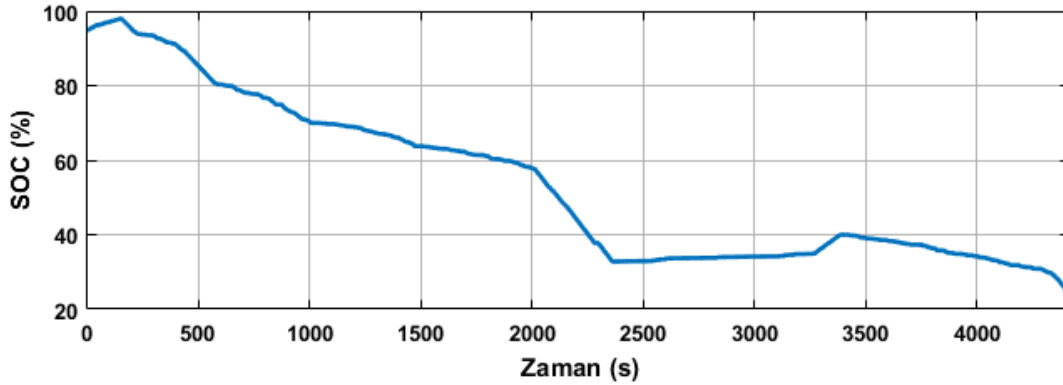
Şekil 4.24’de kontrol modu zaman grafiği gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde birinci çöp toplama alanı olan 211 ve 1928 saniyeleri arasında aracın elektrikli modda tamamlayabildiği görülmektedir. Araç ilk çöp toplama alanını tamamladıktan sonra

1930. saniyede, sürücü güç isterinin batarya deşarj gücünün üzerine çıkması nedeniyle kontrolcü aracı sürüşe destek modunda çalıştırmaya başlamıştır. Ardından aracın sürüşe destek modundan şarj moduna geçişi gerçekleşmiştir. Bu durum batarya SOC seviyesinin sınır değerine yaklaşması nedeniyle gerçekleşmiştir. Aracın tekrar elektrikli moda geçişi işlemi 3388. saniyede gerçekleşmiştir. Bu nedenle araç, ikinci çöp toplama alanı olan 2690 ve 3775 saniyeleri arasını elektrikli modda tamamlayamamıştır.



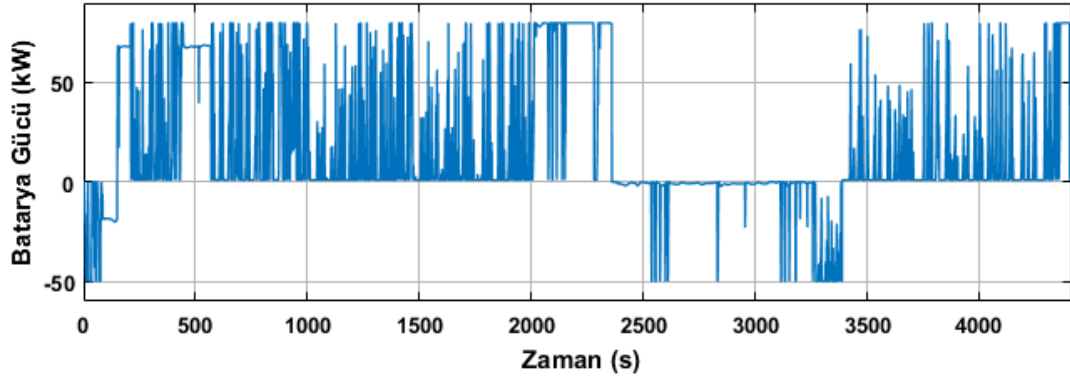
Şekil 4.24 : Kural tabanlı kontrolcü kontrol modu zaman grafiği.

Şekil 4.25’de aracın SOC zaman grafiği gösterilmektedir. Batarya doluluk durumu sürüş çevrimi boyunca güvenli çalışma bölgesi sınırları içerisinde kalmıştır.



Şekil 4.25 : Kural tabanlı kontrolcü SOC zaman grafiği.

Şekil 4.26’da aracın batarya gücü zaman grafiği gösterilmektedir. Kontrolcünün batarya gücünü, bataryanın en yüksek şarj gücü ve deşarj gücü sınırları içerisinde tutarak sistem güvenliğini sağladığı görülmektedir.

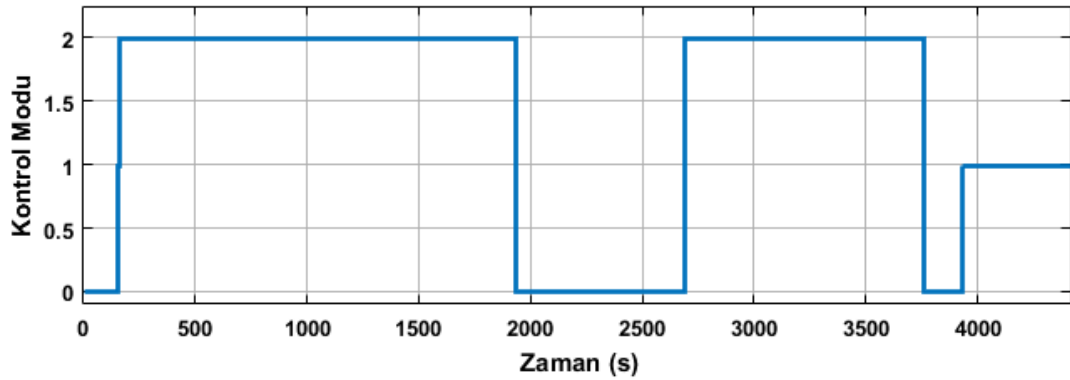


Şekil 4.26 : Kural tabanlı kontrolcü batarya gücü zaman grafiği.

4.3.3 Bulanık mantık generatör seti hız seçimi kontrolcüsü performans analizi

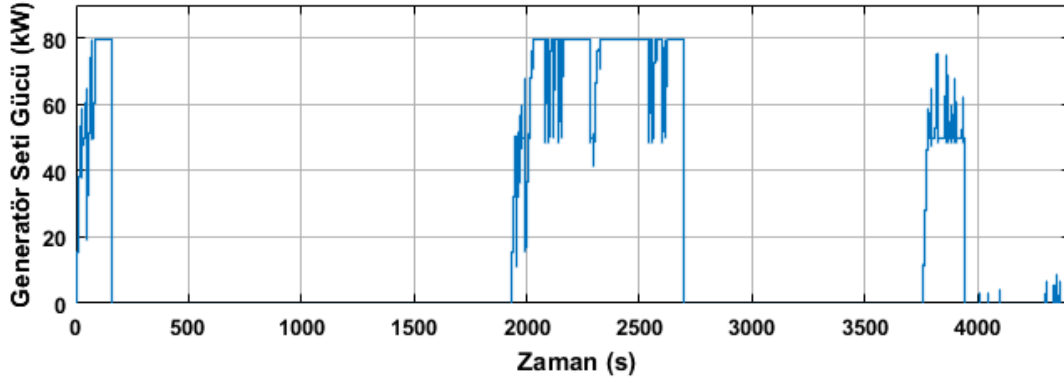
Bulanık mantık devir seçimi kontrolcüsü Bölüm 4.2.2’de belirtildiği üzere generatör seti güç ihtiyacına uygun olarak, hız belirleme işlemini gerçekleştirmektedir. Geliştirilen deterministik kural tabanlı ve bulanık mantık tabanlı devir seçimi kontrolcülerinin performanslarını karşılaştırmak amacı ile simülasyon boyunca aynı kontrol modları altında, iki farklı devir belirleme kontrolcüsü kullanılarak kontrolcülerin performans analizleri yapılmıştır.

Devir seçimi kontrolcülerinin performans analizini yapmak için seçilen kullanılan kontrol modu profili Şekil 4.27’de gösterilmektedir. Kontrol modu için seçilen profil, bulanık mantık tabanlı mod seçimi kontrolcüsü tarafından belirlenen profildir.



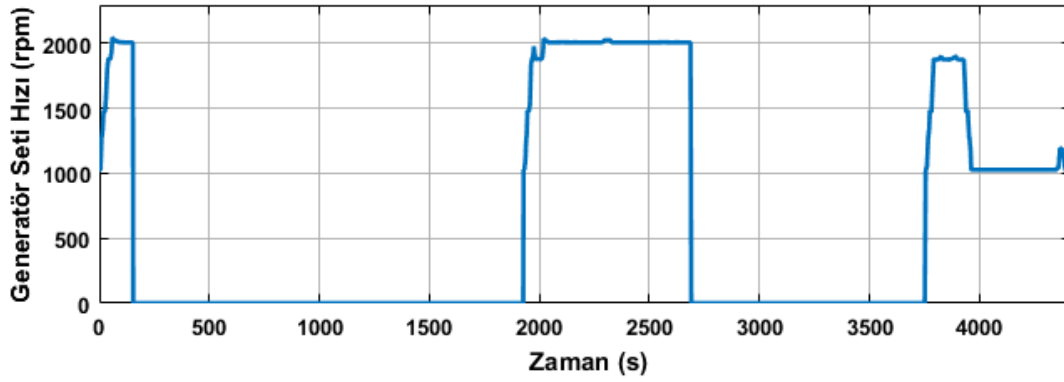
Şekil 4.27 : Kontrol modu profili.

Devir seçimi kontrolcülerinin girişlerini oluşturan generatör seti güç gereksinimi Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Aynı başlangıç koşulları ve kontrol modu profili altında koşan devir seçimi kontrolcülerinin, generatör seti güç gereksinimleri de aynıdır.



Şekil 4.28 : Generator seti güç gereksinimi grafiği.

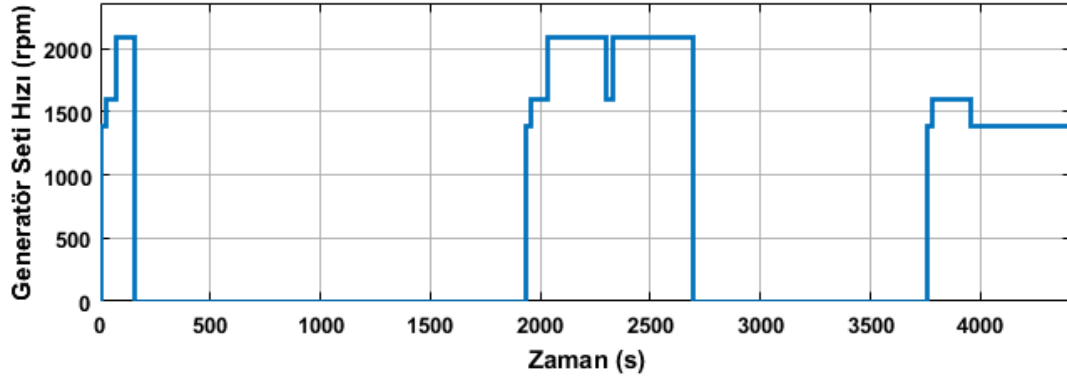
Şekil 4.29’da bulanık mantık hız seçimi kontrolcüsünün hız-zaman grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.29 : Bulanık mantık tabanlı kontrolcü generator seti hız-zaman grafiği

4.3.4 Deterministik kural tabanlı generator seti hız seçimi kontrolcüsü performans analizi

Deterministik kural tabanlı generator seti hız seçimi kontrolcüsü, girişindeki güç gereksinimini 3 farklı bölgeye ayırarak, her bölge için farklı bir hız değeri atamaktadır. Bu sayede generator setinin hızı en verimli çalışma bölgelerinde sabit tutulur. Artan güç ihtiyacına bağlı olarak generator setinin hız değeri de kademeli olarak arttırılmaktadır. Kontrolcünün güç isteği girişi ve kontrol modu profili bulanık mantık tabanlı generator seti hız seçimi kontrolcüsü ile aynı olup, sırasıyla Şekil 4.28 ve 4.27’de gösterilmektedir. Şekil 4.30’da deterministik kural tabanlı generator seti hız seçimi kontrolcüsünün hız-zaman grafiği bulunmaktadır.



Şekil 4.30 : Kural tabanlı kontrolcü generatör seti hız-zaman grafiği.

4.3.5 Performans analizlerinin karşılaştırılması

4.3.5.1 Mod seçimi kontrolcülerinin performans analizlerinin karşılaştırılması

İki farklı kontrolcü ile yapılan simulasyon sonuçları karşılaştırıldığında, kontrolcülerin aracı güvenli çalışma sınırları içerisinde tutarak sürüş çevriminin tamamlanmasını sağladığı görülmektedir. Ancak yakıt tüketimi, çöp toplama alanlarının elektrikli modda tamamlanması koşulları göz önünde bulundurulduğunda bulanık mantık tabanlı kontrolcünün performans sonucu analizinin tasarım hedeflerini karşıladığı görülmektedir.

Geliştirilen seri hibrit aracın yakıt tüketimindeki iyileştirmeyi gözlemleyebilmek adına, içten yanmalı motora sahip bir NPR10 model aracın TruckMaker ortamında modellenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Modellenen aracın validasyonu, yol testleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Ardından dizel araç modeli, kontrol algoritmalarının test edildiği hız profilinde çalıştırılarak yakıt tüketimi verisi elde edilmiştir. Modellenen dizel araç aynı hız profili ve rotayı 12.3 L yakıt tüketimi ile tamamlamıştır.

Şekil 4.31’de iki farklı kontrolcü ile gerçekleştirilen simulasyonda, yakıt tüketimi sonuçlarının karşılaştırılması mevcuttur. Simulasyonlarda araç çekiş sistemi 56 km’lik rotada ortalama 45.2 kWh enerji tüketmiştir. Toplam tüketimde sistem verimi incelenmek istendiğinde farklı çalışma modları için verimin farklı şekillerde hesaplanması uygun olacaktır.

Elektrikli modda verim;

$$\eta_2 = (\eta_{bd})(\eta_{em})(\eta_{mk}) \quad (4.12)$$

Sürüş çevrimi boyunca elektrikli modda ortalama η_{bd} 0.95, η_{em} 0.84 ve η_{mk} ise 0.90'dır. Belirtilen verim oranlarında ortalama elektrikli mod verimi η_2 0.72 seviyesindedir.

Sürüş destek modunda verim;

$$\eta_1 = (\eta_{iym})(\eta_{gen})(\eta_{em})(\eta_{mk}) \quad (4.13)$$

Sürüş destek modunda ortalama η_{iym} 0.30, η_{gen} 0.82, η_{em} 0.84 ve η_{mk} ise 0.90'dır. Toplam sistem verimi η_1 ortalama

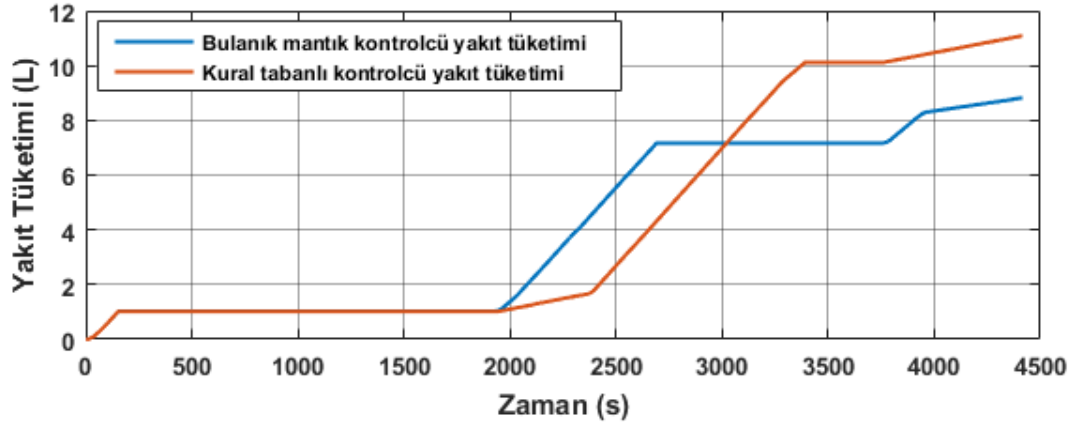
Şarj modunda verim;

$$\eta_0 = (\eta_{iym})(\eta_{gen})(\eta_{bs})(\eta_{bd})(\eta_{em})(\eta_{mk}) \quad (4.14)$$

Şarj modunda ortalama η_{iym} 0.30, η_{gen} 0.84, η_{bs} 0.94, η_{bd} 0.95 η_{em} 0.85 ve η_{mk} ise 0.93'dür. Toplam sistem verimi η_1 ortalama 0.18 seviyesindedir.

Sistem verimi göz önünde bulundurulduğunda, enerji dönüşümü nedeniyle hibrit modlardaki verimin çok düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle, aracın mümkün olduğu kadar elektrikli modda çalıştırılması sistemin daha verimli çalıştırılmasını sağlayacaktır.

Bulanık mantık tabanlı kontrolcü ile yapılan simulasyonda, araç iki farklı çöp toplama alanında toplam 32 km'lik elektrikli mod ile alınan menzile sahiptir. Aracın parkuru tamamladığında toplam 8.9 L yakıt tükettiği gözlemlenmiştir. Bu durum konvansiyonel aracın yakıt tüketimi ile karşılaştırıldığında %27.3 oranında bir iyileştirmeye karşılık gelmektedir. Bu oranın literatür taraması ile karşılaştırıldığında beklenen seviyelerde olduğu gözlenmektedir. Kural tabanlı kontrolcünün performans sonuçları incelendiğinde aracın 23 km'lik bir menzili elektrikli modda tamamlayabildiği görülmektedir. Bu nedenle toplamda 32 km'lik bir uzunluğa sahip olan çöp toplama alanının tamamı elektrikli modda tamamlanamamıştır. Araç rotanın tamamını 11 L yakıt tüketimi ile tamamlamıştır. Bu oran konvansiyonel aracın yakıt tüketimi ile karşılaştırıldığında %10.5 oranında bir iyileşmeye karşılık gelmektedir.

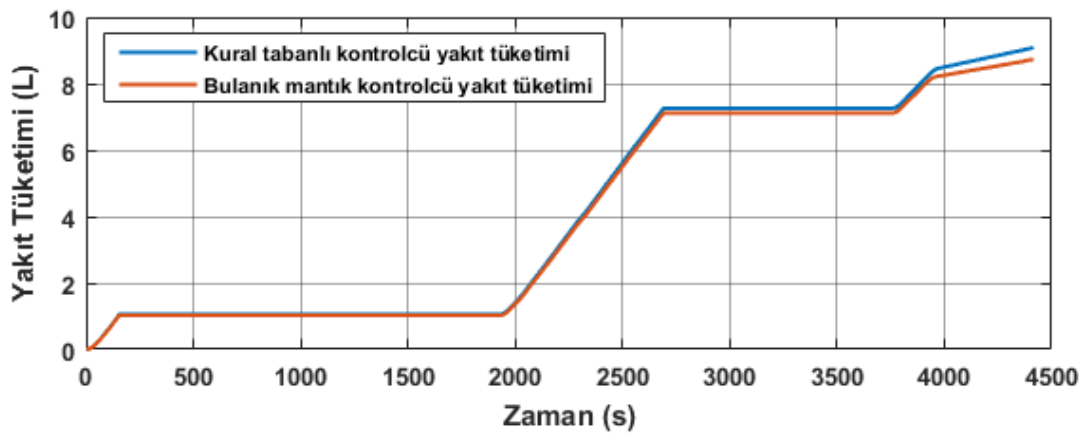


Şekil 4.31 : Farklı mod seçim kontrolcülerinin yakıt tüketimi sonuçlarının karşılaştırılması.

4.3.5.2 Generatör seti hız seçimi kontrolcülerinin performans analizlerinin karşılaştırılması

Generatör seti hız seçimi kontrolcülerinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla, aynı başlangıç koşulları ve kontrol modları altında iki farklı kontrolcü de denenmiştir. Performansları yakıt tüketimi açısından karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.32’de iki farklı generatör hız seçimi kontrolcüsünün kullanıldığı durumda, aracın toplam yakıt tüketimi verilmiştir. Kural tabanlı kontrolcü kullanılması durumunda aracın toplam yakıt tüketimi 9.25 L iken, bulanık mantık tabanlı kontrolcüde bu değer 8.9 L’ye düşmektedir. Bu durum sadece generatör seti hız seçimi işleminin bulanık mantık kontrolcü ile yapılması durumunda % 3.78 oranında bir azalma sağlanabileceğini göstermektedir.



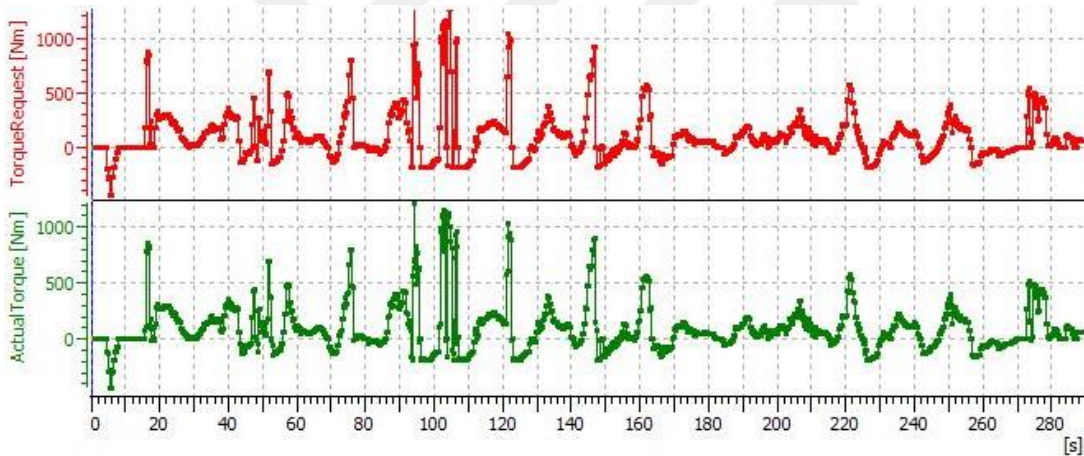
Şekil 4.32 : Farklı generatör seti kontrolcülerinin yakıt tüketimi sonuçlarının karşılaştırılması.

4.3.6 Fonksiyon Testleri Sonuçları

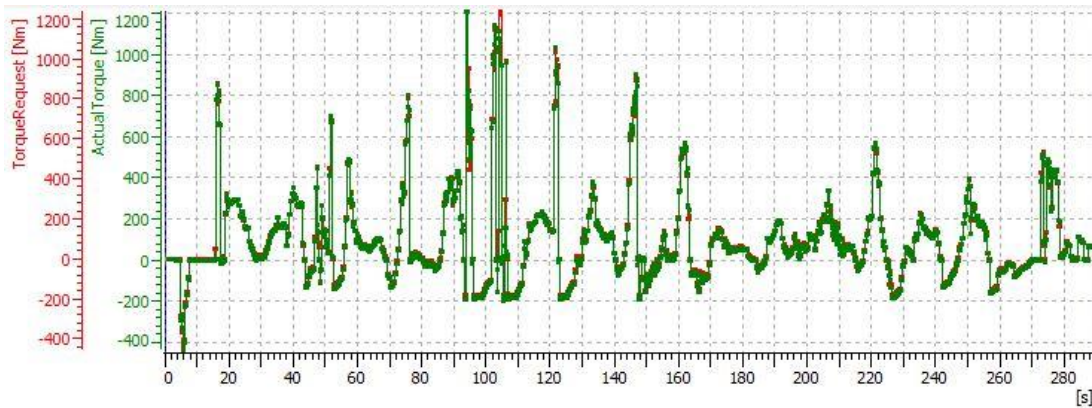
Aracın yol testleri öncesinde, yazılımdaki tüm fonksiyonların güvenli bir şekilde test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla fabrika içerisindeki test parkurlarında aracın testleri yapılmaktadır. Aracın tüm fonksiyonlarının güvenli bir şekilde çalıştığı test edildikten sonra, yol testleri başlatılmaktadır.

Şekil 4.33’de, Vector CANalyzer programı ile araç üzerinden alınan talep edilen moment (TorqueRequest) ve gerçek moment (ActualTorque) değerleri gösterilmektedir. Talep edilen moment değeri gaz pedalı basılma yüzdesinin bir fonksiyonu olup, sürücünün aracın kontrolü için talep ettiği moment değerini belirtmektedir. Gerçek moment ise motorun ürettiği moment değerini göstermektedir.

Şekil 4.34’de talep edilen moment ve gerçek momentin karşılaştırılması mevcuttur. Şekilde de görüldüğü üzere motor, sürücü tarafından talep edilen momenti uygun tepki süresinde ve şeklinde karşılayabilmektedir.

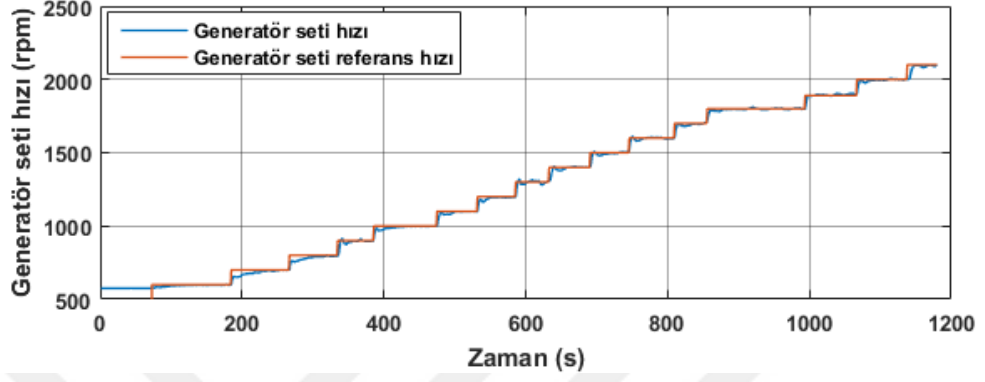


Şekil 4.33 : Talep edilen moment ve gerçek moment grafikleri.



Şekil 4.34 : Talep edilen moment ve gerçek momentin karşılaştırılması.

Generatör seti kontrol fonksiyonlarından biri olan hız kontrolü işleminin araç üstü testleri tamamlanmıştır. Şekil 4.35’de generatör seti hızı ve referans hız sinyali grafiği bulunmaktadır. Hız seçimi kontrolcüsünün çıktısı olarak gönderilen referans hız sinyaline karşılık sistemin tepkisi olan gerçek hız değeri beklenen zaman sabiti ve aşım oranına sahiptir.



Şekil 4.35 : Generatör seti hız kontrolü grafiği.



5. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında bulanık mantık tabanlı ve kural tabanlı olmak üzere iki farklı kontrolcü geliştirilmiştir. Geliştirilen ilk kontrolcü olan deterministik bulanık mantık tabanlı kontrolcünde, kontrol modu seçimi işlemi ve generatör seti hız seçimi işlemi önceden belirlenmiş eşik değerlerine göre gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde verimin artırılması tasarımcı tecrübesi ile direkt ilişkilidir. Eşik değerlerinin doğru belirlenememesi durumunda sistemin veriminde düşüş söz konusudur. Bu nedenle geliştirilen ikinci kontrolcü için bulanık mantık tabanlı kontrol algoritması seçilmiştir. Bu kontrolcünde, deterministik kural tabanlı kontrolcünde de bulunan mod seçimi ve PI kontrol ile generatör seti hız kontrolü blokları bulanık mantık kontrolcü ile gerçekleştirilmiştir.

Kontrolcü geliştirilen aracın çöp kamyonu olması durumu bazı özel şartları beraberinde getirmektedir. Bunlardan en önemlisi aracın çöp toplama alanları olan yerleşim birimlerinde sıfır emisyon ve en düşük gürültü seviyesine sahip olan elektrikli modda çalışma şartıdır. Bu şartı sağlayabilmek için bulanık mantık mod seçimi kontrolcüsüne, çevrimdışı çalışan bir kontrolcü tarafından üretilen referans bir SOC girişi eklenmiştir. Çevrimdışı kontrolcü aracın geçmiş ortalama tüketim verilerini kullanarak, çöp toplama alanlarına gelene kadar aracın hangi SOC seviyesine ulaşması gerektiğini hesaplamaktadır. Çevrimdışı kontrolcü aracın geçmiş tüketim verilerini sürücü, rota ve aracın çalışma saatine göre sınıflayarak ortalama tüketim verisi şeklinde saklamaktadır. Her bir sürüşün sonunda belirtilen rota, sürücü ve saat değişkenlerine göre uygun ortalama tüketim verisi güncellenmektedir. Araç sürüşe başlamadan önce, belirtilen 3 farklı değişkene uygun olan ortalama tüketim verisini ve aracın mevcut SOC, yakıt deposu doluluk durumunu kullanarak rotanın her 4 km'lik parçasının sonunda ulaşması gereken SOC seviyesini belirler. Üretilen bu sinyal çevrimiçi kontrolcüye referans SOC sinyali olarak atanır. Çevrimiçi kontrolcü, anlık SOC ve referans SOC arasındaki farkı kontrol ederek aracın çöp toplama alanlarını elektrikli modda tamamlayabilmesi için gerekli çalışma modunu belirler.

Geliştirilen bulanık mantık tabanlı mod seçimi kontrolcüsü ile yakıt tüketiminin dizel bir araca oranla %27.3 oranında azaltıldığı, kural tabanlı mod seçimi kontrolcünün ise aynı sürüş çevrimini dizel araca göre %10.5 oranında daha az bir yakıt tüketimi ile tamamladığı benzetişim sonuçlarında görülmüştür. Geliştirilen bulanık mantık tabanlı ve kural tabanlı generatör seti hız seçimi kontrolcülerinin ise performansları birbirleri ile karşılaştırıldığında, bulanık mantık tabanlı kontrolcünün %3.85 oranında daha az yakıt tüketim oranına sahip olduğu gözlenmiştir. Yakıt tüketim oranlarındaki iyileştirme incelendiğinde, özellikle sabit rotalı araçlarda, aracın elektrikli modda katedeceği mesafeyi belirleyip kontrol modu seçiminin buna uygun yapılmasının en iyi yakıt tüketim değerine sahip olduğu görülmektedir.

Geliştirilen algoritmanın fonksiyon bazlı testlerinin araç üstünde denenmesi çalışmaları devam etmektedir. Fonksiyon testlerinin bitmesinin ardından aracın yol testleri başlayacaktır. Yol testlerinde referans sürüş çevrimi tekrarlanarak aracın gerçek tüketim verilerinin benzetişim sonuçları ile karşılaştırılması yapılacaktır. Test sonuçlarına göre geliştirilen algoritmaların optimizasyonu gerçekleştirilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Soylu, S.** (2011). *Electric Vehicles: Modelling and Simulations*, Croatia, Intech.
- [2] **Correa, G., Munoz, P., Falaguerra, T.** (2017). Performance comparison of conventional, hybrid, hydrogen and electric urban buses using well to wheel analysis, *Energy*, 141, 537-549,
- [3] **Mitchell W.J., Borroni-Bird C., Burns L.D.** (2010). *Reinventing the automobile: personal urban mobility for the 21st century*, Massachusetts, MIT Press.
- [4] **Ehsani, M., Gao, Y., Emadi, A.** (2010). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory, and Design*, Second Edition, New York, CRC Press.
- [5] **U.S. Energy Information Administration.** (2016). World Energy Outlook (DOE/EIA-0484). Washington.
- [6] **Tie, S., Tan, C.** (2013). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 82–102
- [7] **Schmidt, R.** (2008). Information technology energy usage and our planet, *Thermal And Thermomechanical Phenomena In Electronic Systems, 11th Intersociety Conference*, 1255 – 1275, doi: 10.1109/ITHERM.2008.4544404
- [8] **Zhao, Y., Tatari, O.** (2017). Carbon and energy footprints of refuse collection trucks: A hybrid life cycle evaluation, *Sustainable Production and Consumption*, 180-192,
- [9] **Quiros, D.** (2017). Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport, *Atmospheric Environment* 168, 36-45, 2017
- [10] **Lin B, Tan R.** (2017). Are people willing to pay more for new energy bus fares?, *Energy*, 130, 365-72.
- [11] **Boyalı, A., Güvenç, L.** (2010). Hibrid elektrikli araçların modellenmesi ve kural tabanlı kontrolü, *İtÜ Dergisi*, Cilt:9, Sayı:2, 83-94, Nisan

- [12] **Agarwal, V., Dev, M.** (2013). Introduction to Hybrid Electric Vehicles State of Art, *IEEE*, doi: 10.1109/SCES.2013.6547512
- [13] **Sezer, V.** (2008). *Paralel Hibrit Elektrikli Aracın Modellenmesi ve Optimal Kontrolü*, (Yüksek lisans tezi) , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **Bayindir, K.Ç., Gözüküçük, M.A., Teke, A.** (2011). A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: Powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units, *Energy Conversion and Management*, 52, 1305–1313. doi: 10.1016/j.enconman.2010.09.028
- [15] **Chan, C.** (2007). The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles, *Proceedings of the IEEE Vol. 95, No. 4, April*
- [16] **Ehsani, M., Gao, Y., Miller, M.** (2007). Hybrid Electric Vehicles: Architecture and Motor Drives, *IEEE*, 95, 719-728
- [17] **Das, S., Tan, C., Yatim, A.** (2017). Fuel cell hybrid electric vehicles: A review on power conditioning units and topologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 268–291
- [18] **Alagarsamy, T., Moulik, B.** (2018). A review on optimal design of hybrid electric vehicles and electric vehicles, *3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 1-5, doi: 10.1109/I2CT.2018.8529748
- [19] **Saju, C, Lydia, M.** (2018). A comprehensive review on hybrid electric vehicles: power train configurations, modelling approaches, control techniques, *2nd International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, 52, 1305–1313. doi: 10.1016/j.enconman.2010.09.028
- [20] **Karataş, İ., Pekcan, M.** (2014). *Elektrikli Taşıt Tasarımı*, (Lisans tezi), Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Haziran, Ankara
- [21] **IPG.** TruckMaker User's Guide
- [22] **Varga, B., Iclodean, C., Mariasiu, F.** (2016). *Electric and Hybrid Buses for Urban Transport*, Switzerland, Springer.
- [23] **Enang, W., Bannister, C.** (2017). Modelling and control of hybrid electric vehicles (A comprehensive review), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1210–1239
- [24] **Huang, Y., Wang, H., Khajepour, A., Li, B.** (2018). A review of power management strategies and component sizing methods for hybrid vehicles, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 132–144

- [25] **Brahma A, Guezennec Y, Rizzoni G.** (2000). Optimal energy management in series hybrid electric vehicles, *American Control Conference*, 1, 60–64.
- [26] **Lin C. C., Kang J.M., Grizzle J.W., Peng H.** (2001). Energy management strategy for a parallel hybrid electric truck, *American Control Conference*, 4, 2878–2883.
- [27] **Peng, J., He, H., Xiong, R.** (2017). Rule based energy management strategy for a series–parallel plug-in hybrid electric bus optimized by dynamic programming, *Applied Energy*, 185, 1633–1643
- [28] **Herrera, V.I., Ibarra, A.S., Milo, A., Gaztanaga, H., Camblong, H.,** (2015). Optimal Energy Management of a Hybrid Electric Bus with a Battery-Supercapacitor Storage System using Genetic Algorithm, *International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles*, 1-6
- [29] **Wu J., Zhang C.H., Cui N.X.** (2008). Fuzzy energy management strategy of parallel hybrid electric vehicle based on particle swarm optimization. *Control Decis*; 23, 46–50.
- [30] **Li, Y., Jiao, X., Jing, Y.** (2017). A real-time energy management strategy combining rule-based control and ECMS with optimization equivalent factor for HEVs, *Chinese Automation Congress (CAC)*, 5988-5992
- [31] **Zhang, H., Cao, D., Du, H.** (2017). *Modeling, Dynamics, And Control Of Electrified Vehicles*, United States, Woodhead Publishing,
- [32] **Lee, H., Sul, S.** (1998). Fuzzy-logic-based torque control strategy for parallel-type hybrid electric vehicle, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 45, 625-632,
- [33] **Schouten N.J., Salman M.A., Kheir N.A.** (2002). Fuzzy logic control for parallel hybrid vehicles, *IEEE Trans Control Syst Technol*, 10, 460–468.
- [34] **Salmasi, F.R.** (2007). Control strategies for hybrid electric vehicles: evolution, classification, comparison, and future trends, *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 56, 2393-2404
- [35] **Lee H.D., Koo, E.S., Sul, S.K., Kim J.S.** (2000). Torque control strategy for a parallel-hybrid vehicle using fuzzy logic. *IEEE Ind Appl Mag*, 3, 1715-1720.
- [36] **Lu, D., Li, W., Zhou, M.** (2012). Fuzzy logic control approach to the energy management of parallel hybrid electric vehicles. *IEEE International Conference On Information And Automation (ICIA'12)*, 592-596

- [37] **Chrenko, D., Gan, S., Gutenkunst, C.** (2015). Novel classification of control strategies for hybrid electric vehicles, *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1-6.
- [38] **Li, Y., Chen, B.** (2016). Development of integrated rule-based control and equivalent consumption minimization strategy for hev energy management, *12th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, 1-6.
- [39] **Fan, H., Peng, J., He, H.** (2015). Rule based plug-in hybrid school bus energy management control strategy simulation, *10th Asian Control Conference (ASCC)*, 1-6.
- [40] **Ming, L., Ying, Y., Liang, L.** (2016). Energy management strategy of a plug-in parallel hybrid electric vehicle using fuzzy control, *The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE*, 105, 2660-2665.
- [41] **Vijay, B.** (2018). Control strategy for parallel hybrid electric vehicles, *8th International Conference on Advances in Computing and Communication (ICACC)*, 143, 678-685.
- [42] **Sorrentino, M., Rizzo, G., Arsie, I.** (2011). Analysis of a rule-based control strategy for on-board energy management of series hybrid vehicles, *Control Engineering Practice*, 19, 1433–1441.
- [43] **Shaohua, L., Changqing, D., Fuwu, Y., Jun, W., Zheng, L., Yuan, L.** (2012). A rule-based energy management strategy for a new BSG hybrid electric vehicle, *Third Global Congress on Intelligent Systems*, 209-212.
- [44] **Dikmen, İ., C., Kartaca, K., Karadağ, T., Abbasov, T.** (2018). An overview of battery technologies
- [45] **Url-1** <https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion>, erişim tarihi 20.04.2019.
- [46] **Kazan, F. A.** (2009). *Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorun Kontrolü*, (Yüksek lisans tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- [47] **Er, B. H.** (2007). *Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Mekanik Algılayıcısız Konum Kontrolü*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [48] **Qinghua, L.** (2005). *Analysis, Design And Control Of Permanent Magnet Synchronous Motors For Wide-Speed Operation*, (PHD Thesis) National University Of Singapore, Department Of Electrical Engineering,

- [49] **Kerem, A.** (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5 (1): 1-13.
- [50] **Gökçe, C., Üstün, Ö., Yılmaz, M., Tuncay, R.N.** (2005). Modeling And Simulation Of A Serial – Parallel Hybrid Electrical Vehicle, *ELECO'05, Int. Conference on Electrical and Computer Engineering, Bursa*
- [51] **Üstün, Ö., Yılmaz, M., Gökçe, C., Karakaya, U., Tuncay, R.N.** (2009). Energy Management Method for Solar Race Car Design and Application, *IEEE International On Electric Machines And Drives Conference IEMDC*, 804–11.
- [52] **Sölek, H.** (2016). *Modelling Of An Electric Vehicle*, (Lisans tezi), Okan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İstanbul.



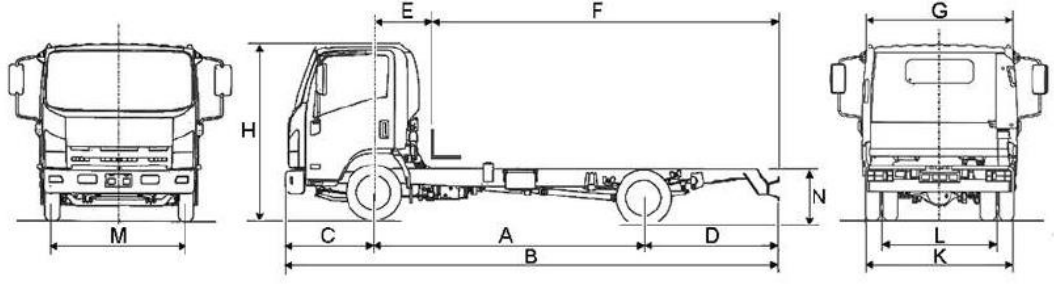
EKLER

EK A: Araç gövdesi parametreleri





EK A



Şekil A.1 : NPR10 Long ölçüleri

Çizelge A.1 : NPR10 Long özellikleri.

Ölçüler (mm)	
A - Dingil Mesafesi	3815
B - Azami Uzunluk	6773
C - Ön Uzantı	1128
E - Ön Dingil Kasa Başlangıç Arası Mesafe	725
F - Faydalı Şasi	4920
G - Kabin Genişliği	2040
H - Azami Yükseklik	2275
K - Arka Dingil Genişliği	2129
L - Arka İz Genişliği	1650
M - Ön İz Genişliği	1746
N - Boş Halde Şasi Yerden Yükseklik	860
Şasi Genişliği	850
Ağırlık (kg)	
Azami Yüklü Ağırlık, GVW	9800
Ön Aks Kapasitesi	3400
Arka Aks Kapasitesi	6800



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Hazal SÖLEK
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.06.1993 Kırıkkale
E-posta : hazalsolek@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği
- **Lisans** : 2016, Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-2017 yılları arasında Okan Üniversitesinde “Dinamik Ve Modüler Akıllı Batarya Yönetim Sistemi” projesinde, proje asistanı olarak görev aldı.
- 2017 yılından itibaren Anadolu Isuzu Otomotiv A.Ş.’de AR-GE Departmanında elektrikli ve hibrit araçlar üzerine çalışmaktadır.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Sölek, H., Müderrisoğlu, K., Armutlu, C.** 2019. Sabit Rotalı Bir Hibrit Elektrikli Şarj Edilebilir Araç İçin Bulanık Mantık Tabanlı Enerji Yönetim Sistemi Kontrol Algoritması Geliştirilmesi, 19. *Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*, (Onay Bekleniyor)
- **Sölek, H., Müderrisoğlu, K., Armutlu, C., Yılmaz, M.** 2019. Development of Fuzzy Logic Based Energy Management Control Algorithm for a Plug-In HEV with Fixed Routed, *Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics*,