



**PARALEL HİBRİT BİR ARACIN BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE
KONTROLÜ VE DİĞER GÜÇ SİSTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Tolga KOCAKULAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2019

Tolga KOCAKULAK tarafından hazırlanan “PARALEL HİBRİT BİR ARACIN BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE KONTROLÜ VE DİĞER GÜÇ SİSTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hamit SOLMAZ

Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU

Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Fatih AKSOY

Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Afyon Kocatepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 18/12/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Tolga KOCAKULAK

18/12/2019

PARALEL HİBRİT BİR ARACIN BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE KONTROLÜ VE DİĞER GÜÇ SİSTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Tolga KOCAKULAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

Bu çalışmada, ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapılarının Matlab/SIMULINK ortamında modellenmesi yapılmıştır. Oluşturulan araç modelleri üzerinde farklı sürüş çevrimleri için ortalama yakıt tüketim değerleri elde edilerek karşılaştırması yapılmıştır. Paralel hibrit aracın güç, vites kademe ve rejeneratif fren kontrolü bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen kontrol algoritması ile sağlanmıştır. Tüm araç yapıları için, aracın güç sistemini temsil eden transfer fonksiyonları oluşturulmuştur. Araca etki eden yuvarlanma, ivme, aerodinamik ve yokuş direnç kuvvetleri modele dahil edilmiştir. İçten yanmalı motor modelinde 1,8 litre “ZR-FXE” benzinli motora ait tork/devir ve özgül yakıt tüketimi haritası kullanılmıştır. Elektrik motor modelinde “Ashwoods/Elmo-D576” marka elektrik motorunun tork/devir ve verim haritasından faydalanılmıştır. Bütün araç yapılarında 7 ileri DCT şanzıman kullanılmıştır. Araçta 5 kWh enerji kapasiteli, lityum iyon batarya paketi kullanılmıştır. Lityum iyon batarya hücresinin karakteristik özelliklerinin şarj ve deşarj testleri yapılmış, eşdeğer devre yöntemi Rint metodu ile batarya modeli oluşturulmuştur. US06, FTP75, NEDC, EUDC sürüş çevrimleri için en düşük ortalama yakıt tüketimi değerlerinin bulanık mantık yöntemi ile kontrol edilen ön iletimli paralel hibrit araç yapısıyla 5,73, 4, 3,96 ve 4,18 L/100 km olarak elde edildiği belirlenmiştir. ECE15 sürüş çevriminde 3,62 L/100 km değeri ile seri hibrit araç yapısının en düşük ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Rejeneratif fren kullanımının en etkili olduğu ECE15 sürüş çevriminde, seri, ön iletimli paralel ve son iletimli paralel hibrit araç yapılarında sırasıyla % 14,22, % 11,5 ve % 9,95 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 93006

Anahtar Kelimeler : Paralel Hibrit Araç, Seri Hibrit, Bulanık Mantık, Kontrol Stratejisi, Güç Sistemi, Batarya, Modelleme, Simülasyon

Sayfa Adedi : 133

Danışman : Doç. Dr. Hamit SOLMAZ

CONTROL OF A PARALLEL HYBRID VEHICLE WITH FUZZY LOGIC METHOD AND COMPARISON WITH OTHER POWER SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Tolga KOCAKULAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

In this study, pre-transmission parallel hybrid, post-transmission parallel hybrid, serial hybrid and conventional vehicle structures were modeled in Matlab / SIMULINK environment. Average fuel consumption values for different driving cycles were obtained and compared. Power, gear step and regenerative brake control of parallel hybrid vehicle was provided by control algorithm developed by fuzzy logic method. For all vehicle structures, transfer functions representing the vehicle's power-train were established. Rolling, acceleration, aerodynamic and slope resistance forces acting on the vehicle were included in the model. The torque-rpm and specific fuel consumption map of the 1.8-liter R ZR-FXE "gasoline engine was used in the internal combustion engine model. In the electric motor model, torque / rpm and efficiency map of "Ashwoods / Elmo-D576" brand electric motor were used. 7-speed DCT transmission was used in all vehicle structures. The vehicle was equipped with a lithium ion battery pack with an energy capacity of 5 kWh. Charge and discharge tests were performed to determine the characteristics of the lithium-ion battery cell, and the battery model was created by the equivalent circuit method Rint method. It was determined that the lowest average fuel consumption values for US06, FTP75, NEDC, EUDC driving cycles were obtained as 5.73, 4, 3.96 and 4.18 l / 100 km with pre-transmission parallel hybrid vehicle controlled by fuzzy logic method. The lowest fuel consumption in the ECE15 driving cycle was determined to be 3.62 l / 100 km with series hybrid vehicle structure. In the ECE15 driving cycle, where regenerative braking is most effective, fuel saving percentages of 14.22%, 11.5% and 9.95% were achieved in series, pre-transmission parallel and post-transmission parallel hybrid vehicle structures respectively.

Science Code : 93006

Key Words : Parallel Hybrid Vehicle, Series Hybrid, Fuzzy Logic, Control Strategy, Power System, Battery, Modeling, Simulation

Page Number : 133

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hamit SOLMAZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans yapmama teşviş eden, çalışmam süresince yardım ve katkılarını esirgemeyen, sürekli yönlendiren ve çalışma takibimi yapan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Hamit SOLMAZ'a, çalışmam sürecinde desteklerini esirgemeyen sagıdeğer hocalarım Dr. Emre YILMAZ, Dr. Duygu İPCİ ve Dr. Alper CALAM'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ÇEŞİTLERİ.....	5
2.1. Seri Hibrit Elektrikli Araçlar.....	7
2.2. Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar	9
2.3. Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar	10
3. LİTERATÜR ÖZETLERİ	15
4. PARALEL HİBRİT ARAÇLAR VE MODELLEME ÜZERİNDE KULLANILAN BİLEŞENLER	27
4.1. İçten Yanmalı Motorlar.....	27
4.2. Elektrik Motorları.....	29
4.2.1. Doğru akım motorları.....	30
4.2.2. Asenkron motorları	31
4.2.3. Anahtarlama relüktans motorlar	31
4.2.4. Sürekli mıknatıslı senkron motor	32
4.3. Araca Etki Eden Direnç Kuvvetleri	32
4.3.1. Aerodinamik direnç kuvveti.....	33
4.3.2. Yuvarlanma direnç kuvveti	34
4.3.3. İvme direnç kuvveti	36

	Sayfa
4.3.4. Yokuş direnç kuvveti	36
4.4. Güç Aktarma Organları ve Sistemleri.....	37
4.4.1. Vites kutuları.....	37
4.4.2. Mekanik tork birleştirici	41
4.5. Paralel Hibrit Araçta Tork Dağıtımı ve Güç Kontrol Stratejisi	43
4.5.1. Paralel hibrit araç tork dağıtımı	43
4.5.2. Paralel hibrit araç çalışma modları.....	44
4.5.3. Paralel hibrit elektrikli araç araç kontrol yöntemleri	45
4.6. Batarya Çeşitleri, Yönetim ve Soğutma Sistemleri.....	49
4.6.1. Batarya çeşitleri.....	50
4.6.1. Batarya soğutma sistemleri	51
4.6.3. Batarya modelleme çeşitleri.....	52
4.7. Regeneratif Frenleme	54
4.7.1. Fren pedalına basılma ivmesi.....	56
4.7.2. Fren pedalı konumu.....	56
4.7.3. Batarya doluluk oranı	56
4.7.4. Aracın anlık hızı.....	57
4.7.5. Batarya şarj akımı	57
4.8. Konvertörler ve Hibrit Araç Yardımcı Sistemleri.....	57
4.9. Sürüş Çevrimleri	59
5. PARALEL HİBRİT ARACIN MODELLEME AŞAMALARI.....	61
5.1. İçten Yanmalı Motor Modeli	61
5.2. Elektrik Motor Modeli	63
5.3. Araç Güç Aktarma Sistem Modeli ve Transfer Fonksiyonu.....	65
5.3.1. Son iletimli paralel hibrit yapı (post) güç sistemi transfer fonksiyonu.....	65
5.3.2. Ön iletimli paralel hibrit yapı (pre) güç sistemi transfer fonksiyonu.....	71

Sayfa

5.3.3. Seri hibrit ve konvansiyonel araç güç sistemi transfer fonksiyonu.....	74
5.4. Güç Yönetim Sistemi Modeli.....	78
5.4.1. Gaz/fren pedal kontrolü.....	79
5.4.2. Bulanık mantık kontrol stratejisi modeli.....	79
5.4.3. İYM ve EM tork değerlerinin belirlenmesi.....	83
5.5. Batarya Modeli ve Pil Hücre Testi.....	84
5.5.1. Pil hücresi açık devre gerilimi ve iç direnç testi	85
5.5.2. Batarya modeli	88
5.6. Vites Kutusu ve Tork Birleştirici Modelleri	92
5.7. Araç Dinamiği Modeli	93
5.8. Rejeneratif ve Mekanik Fren Modeli	95
5.9. Direnç Kuvvetleri Modeli	98
5.10. Elektrik Enerji ve Yakıt Tüketim Modeli	99
6. SONUÇLAR.....	103
6.1. Simülasyon Sistem ve Alt Sistem Sonuçlarının İncelenmesi	103
6.2. Farklı Araç Yapılarının İYM ve EM Çalışma Noktaları	107
6.3. Farklı Araç Yapılarının Yakıt Tüketim Sonuçları ve Değerlendirmesi	110
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	121
EKLER.....	129
Ek-1. Matlab/Simulink simülasyon girdi parametreleri.....	130
Ek-2. Bulanık mantık kontrol araç güç yönetim algoritma kuralları	131
ÖZGEÇMİŞ	133

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hibitleşme derecelerine göre ve dışarıdan şarj edilebilen hibrit elektrikli araçların karşılaştırılması.....	7
Çizelge 3.1. Farklı şanzıman tiplerinin enerji tüketimine etkisi	16
Çizelge 3.2. Farklı tip otobüsler için takıt tasarruf değerleri	17
Çizelge 3.3. Farklı tip otobüsler için 15 yıllık maliyet hesabı	17
Çizelge 3.4. Aracın DP ve ECSM algoritmaları ile kontrol edilmesi durumlarında NEDC ve FTP sürüş şartlarında ortalama yakıt tüketim değerleri	18
Çizelge 3.5. Simülasyon üzerinde kullanılan farklı redüksiyon oranları.....	19
Çizelge 3.6. Farklı sürüş çevrimleri şartlarında elde edilen tasarruf oranları	20
Çizelge 4.1. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarının avantaj ve dezavantajları	30
Çizelge 4.2. Farklı araç ve yol şartlarında yuvarlanma direnç kuvveti katsayıları.....	35
Çizelge 4.3. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar	50
Çizelge 4.4. Lityum batarya karakteristik özellikleri.....	50
Çizelge 4.5. Regeneratif fren kontrol kuralları	55
Çizelge 4.6. Farklı Sürüş çevrimlerinin karakteristik özellikleri	59
Çizelge 5.1. “2ZR-FXE” İYM teknik özellikleri.....	61
Çizelge 5.2. Ashwoods “Elmo-D576” elektrik motoru teknik özellikleri	63
Çizelge 5.3. Test düzeneği materyelleri.....	86
Çizelge 5.4. Lityum iyon batarya karakteristik özellikleri	90
Çizelge 5.5. Hyundai Transy marka “D022S7” model DCT şanzıman redüksiyon oranları	92
Çizelge 6.1. Farklı araç yapılarının farklı sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri	110
Çizelge 6.2. Farklı araç yapılarının farklı sürüş çevrimi koşullarında regeneratif frenlemenin yakıt tüketimine etkisi.....	116
Çizelge 6.3. Farklı araç yapılarının, farklı sürüş çevrimi koşullarında araç menzil değerleri	117

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. SHEA yapısı şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.2. Seri paralel hibrit elektrikli araç şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.3. PHEA yapısı şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.4. Tek şaftlı ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit güç sistemi yapısı	12
Şekil 2.5. Çift şaftlı ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit güç sistemmi yapısı	12
Şekil 2.6. Çift akslı paralel hibrit güç sistemi yapısı	13
Şekil 3.1. Yalnız İYM, EEMY ve DP kontrol stratejisinin İYM çalışma noktaları	17
Şekil 3.2. Beş farklı koşul için ortalama yakıt tüketimi.....	19
Şekil 3.3. Bulanık mantık (A) ve kural tabanlı (B) kontrol stratejisinin NEDC ve UDDS sürüş çevrimleri şartlarında araç emisyon değerlerine etkisi	22
Şekil 3.4. Bulanık mantık (A) ve kural tabanlı (B) kontrol stratejisinde içten yanmalı motor çalışma noktaları	22
Şekil 3.5. Paralel hibrit aracın yol profili şartlarında kural tabanlı ve bulanık mantık yöntemi ile geliştirilmiş kontrol stratejisine bağlı anlık yakıt tüketim grafiği	23
Şekil 3.6. SUV araç paralel hibrit güç sistemi	24
Şekil 3.7. Belirli bir hız girdisine bağlı, 3 fazlı fırçadız DA motoru tahrik ve rejeneratif fren modunda batarya doluluk oranı grafiği	25
Şekil 4.1. Benzinli motora ait bazı parçalar ve dört zaman gösterimi	27
Şekil 4.2. Anahtarlama relüktans motor tork-devir grafiği.....	29
Şekil 4.3. Doğru akım motor şematik gösterimi	30
Şekil 4.4. Asenkron motor tork-devir ve verim alan grafiği.....	31
Şekil 4.5. Anahtarlama relüktans motor tork-devir grafiği.....	32
Şekil 4.6. Araca etki eden direnç kuvvetleri	33
Şekil 4.7. Aracın hareketi esnasında hava akışından dolayı ön ve arkasında oluşan basınç.....	34
Şekil 4.8. Tekerleğin statik (a), sert zeminde (b) ve yumuşak zeminde (c) durumu	35
Şekil 4.9. Eğimli bir yolda duran araca etkiyen yokuş direnç kuvveti	37

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. DCT şanzıman kavrama ve dişli sistemi	39
Şekil 4.11. Geometrik dizi (a) ve progresif dizi (b) metodu ile belirlenmiş beş vitesli dişli kutusu için redüksiyon oranları	40
Şekil 4.12. Mekanik dişli tip tork kuplör	42
Şekil 4.13. Tork dağıtım diyagramı	43
Şekil 4.14. Paralel hibrit araç sürüş modları	44
Şekil 4.15. Dinamik programlama algoritmasının geriye doğru akan prosedür alanı	46
Şekil 4.16. Mamdani tipi bulanık mantık kontrolü	48
Şekil 4.17. Bulanık mantık kontrol sistemi blok şeması.....	48
Şekil 4.18. Aktif ve pasif hava, pasif sıvı ve aktif sıvı ile batarya soğutma sistemleri ..	52
Şekil 4.19. Eşdeğer devre modelleri	53
Şekil 4.20. Hibrit (Rejeneratif + Mekanik) fren sistemi	55
Şekil 4.21. Hibrit ve yakıt pilli araç konvertör kullanımı şematik gösterimi	58
Şekil 4.22. NEDC, ECE ve EUDC sürüş çevrimi hız-zaman grafikleri	60
Şekil 4.23. FTP ve US06 sürüş çevrimi hız-zaman grafikleri	60
Şekil 5.1. Model üzerinde kullanılan İYM tork, devir ve ÖYT haritası ve optimum ÖYT hattı.....	62
Şekil 5.2. İYM hız ve tork grafiği.....	62
Şekil 5.3. İYM hız ve tork ve özgül yakıt tüketim grafiği.....	63
Şekil 5.4. “Elmo-D576” elektrik motoru tork/devir grafiği.....	64
Şekil 5.5. “Elmo-D576” elektrik motoru tork/devir/verim haritası	64
Şekil 5.6. Elektrik motor Simulink modeli	65
Şekil 5.7. Son iletimli paralel hibrit araç (post) güç aktarma sistemi şematik gösterimi	66
Şekil 5.8. Paralel hibrit araç (pre) güç aktarma sistemi şematik gösterimi.....	71
Şekil 5.9. Seri hibrit ve konvansiyonel araç güç aktarma sistemleri şematik gösterimi	74
Şekil 5.10. Son iletimli paralel hibrit araç güç sistemi Simulink modeli	77

Şekil	Sayfa
Şekil 5.11. Son iletimli paralel hibrit araç güç sistemi Simulink modeli blok gösterimi.....	77
Şekil 5.12. Son iletimli paralel hibrit araç güç sistemi Simulink modeli redüksiyon oranı ve.....	77
Şekil 5.13. Bulanık mantık güç kontrol sistemi şematik girdi ve çıktı parametreleri gösterimi.....	78
Şekil 5.14. Paralel hibrit araç gaz ve fren pedal kontrol modeli.....	79
Şekil 5.15. Bulanık mantık kontrol stratejisi araç teorik tork ihtiyacı üyelik fonksiyonu.....	80
Şekil 5.16. Bulanık mantık kontrol stratejisi gaz/fren pedalı üyelik fonksiyonu.....	80
Şekil 5.17. Bulanık mantık kontrol stratejisi batarya şarj oranı üyelik fonksiyonu.....	81
Şekil 5.18. Bulanık mantık kontrol stratejisi jeneratör açık/kapalı bilgisi üyelik fonksiyonu.....	81
Şekil 5.19. Paralel hibrit araç bulanık mantık kontrol sistemi modeli.....	82
Şekil 5.20. Paralel hibrit araç bulanık mantık kontrolcüsü.....	82
Şekil 5.21. Bulanık mantık stratejisi girdi/çıkı parametreleri ve kuralları.....	83
Şekil 5.22. Paralel hibrit araç EM Tork değerinin hesaplandığı Simulink alt sistem modeli.....	83
Şekil 5.23. Paralel hibrit araç İYM tork değerinin hesaplandığı Simulink alt sistem modeli.....	84
Şekil 5.24. Paralel hibrit araç İYM ile EM (jeneratör modunda) tork değerinin hesaplandığı Simulink alt sistem modeli	84
Şekil 5.25. Pil hücresi test düzeneği şematik gösterimi.....	85
Şekil 5.26. Deşarj ve şarj süresince batarya doluluk oranına bağlı açık devre gerilim grafiği	86
Şekil 5.27. Deşarj ve şarj süresince batarya doluluk oranına bağlı iç direnç grafiği	87
Şekil 5.28. Deşarj ve şarj süresince batarya doluluk oranına bağlı verim grafiği	87
Şekil 5.29. Rint batarya devre şeması	88
Şekil 5.30. Batarya modeli girdi ve çıktı parametreleri	88
Şekil 5.31. Lityum iyon batarya Simulink modeli.....	91

Şekil	Sayfa
Şekil 5.32. Lityum iyon batarya açık devre gerilim grafiği ve sıcaklık katsayısı Simulink modeli	92
Şekil 5.33. “Hyundai Transy” marka “D022S7” model DCT şanzıman	92
Şekil 5.34. DCT şanzıman Matlab/Simulink modeli	93
Şekil 5.35. Düz zeminde araç dinamik modeli	94
Şekil 5.36. Batarya şarj oranı (a), araç hızı (b), fren pedal konumu (c), maksimum şarj akımı (d) bulanık mantık üyelik fonksiyonu	96
Şekil 5.37. Rejeneratif fren sistemi Simulink modeli	97
Şekil 5.38. Ön ve arka fren kuvveti dağılımının hesaplanmasını sağlayan Simulink modeli.....	97
Şekil 5.39. Rejeneratif fren sisteminin bulanık mantık yöntemi ile kontrolü Simulink modeli.....	98
Şekil 5.40. Paralel hibrit araç direnç kuvvetleri Simulink modeli	99
Şekil 5.41. Paralel hibrit araç direnç kuvvetleri Simulink modeli	99
Şekil 5.42. Araç enerji tüketim modeli	100
Şekil 5.43. Araç elektrik (tahrik + aksesuar) güç hesabı modeli	100
Şekil 5.44. Araç ortalama yakıt tüketimi hesabı modeli	101
Şekil 6.1. Ön iletimli paralel hibrit araç hızının FTP 75, NEDC, US06 ve EUDC referans hız girdilerini takibi	104
Şekil 6.2. Aracın US06sürüş çevrimi şartlarında ivme, hız ve alınan yol bilgileri.....	104
Şekil 6.3. Ön iletimli paralel hibrit araç bulanık mantık kontrolcü EM ile İYM çıkış dağıtım oranı ve torku.....	105
Şekil 6.4. Batarya doluluk oranına bağlı batarya verimi	105
Şekil 6.5. Araç hızı ve gaz pedal konumuna bağlı vites kademe değişimi	106
Şekil 6.6. Ön iletimli paralel hibrit aracın FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında rejeneratif fren performans grafikleri	107
Şekil 6.7. Farklı araç yapılarının FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında İYM çalışma noktaları	108
Şekil 6.8. Farklı araç yapılarının FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında EM çalışma noktaları	109

Şekil	Sayfa
Şekil 6.9. Farklı araç yapılarının FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri.....	111
Şekil 6.10. Farklı araç yapılarının NEDC sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri	112
Şekil 6.11. Farklı araç yapılarının EUDC sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri	112
Şekil 6.12. Farklı araç yapılarının ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri	113
Şekil 6.13. Ön iletimli ve son iletimli hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında İYM çalışma noktaları.....	114
Şekil 6.14. Ön iletimli ve son iletimli hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında İYM çalışma noktaları.....	115
Şekil 6.15. Ön iletimli ve son iletimli hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri.....	115

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
$\dot{\omega}_a$	Aks Açısal İvmesi (rad/s ²)
$\dot{\omega}_e$	İYM Çıkış Mili Açısal İvmesi (rad/s ²)
$\dot{\omega}_{fd\zeta}$	Diferansiyel Çıkışı Açısal İvmesi (rad/s ²)
$\dot{\omega}_{fdg}$	Diferansiyel Girişi Açısal İvmesi (rad/s ²)
$\dot{\omega}_m$	Motor Çıkış Mili Açısal İvmesi (rad/s ²)
$\dot{\omega}_w$	Tekerlek Açısal İvmesi (rad/s ²)
A_f	Araç Ön Kesit Alanı (m ²)
C_d	Aerodinamik Direnç Katsayısı
C_r	Yuvarlanma Direnç Katsayısı
E_{cl}	Kavram Verimi
E_{fd}	Diferansiyel Verimi
E_{gb}	Vites Kutusu Verimi
E_{rg}	Redüksiyon Kutusu Verimi
F_a	Aerodinamik Direnç Kuvveti (N)
F_i	İvme Direnç Kuvveti (N)
F_r	Yuvarlanma Direnç Kuvveti (N)
$F_{yük}$	Toplam Direnç Kuvveti (N)
J_a	Aks Kütle Atalet Momenti (kg/m ²)
J_e	İYM Atalet Momenti (kg/m ²)
J_{gb}	Vites Kutusu Atalet Momenti (kg/m ²)
J_m	Motor Atalet Momenti (kg/m ²)
J_{rg}	Redüksiyon Kutusu Atalet Momenti (kg/m ²)
J_w	Tekerlek Kütle Atalet Momenti (kg/m ²)
T_a	Aks Momenti (Nm)
$T_{d\zeta}$	Diferansiyel Çıkış Momenti (Nm)

Simgeler	Açıklamalar
T_{dg}	Diferansiyel Giriş Momenti (Nm)
T_m	Motor Momenti (Nm)
T_t	Tekerlek Momenti (Nm)
$T_{yük}$	Direnç Kuvvetleri Toplam Momenti (Nm)
V_{oc}	Batarya Açık Devre Gerilimi (V)
i_{cl}	Kavrama Redüksiyon Oranı
i_{fd}	Diferansiyel Redüksiyon Oranı
i_{gb}	Vites Kutusu Redüksiyon Oranı
i_{rg}	Redüksiyon Kutusu Redüksiyon Oranı
A_f	Araç Ön Kesit Alanı (m ²)
C_d	Aerodinamik Katsayı
C_r	Yuvarlanma Direnç Katsayısı
R_i	Batarya İç Direnci (mohm)
r_w	Tekerlek Yarıçapı (m)
ϵ_d	Diferansiyel Verimi
ω_m	Motor Çıkış Mili Açısal Hızı (rad/s)
ω_w	Tekerlek Açısal Hızı (rad/s)
V	Araç Hızı (m/s)
a	Araç İvmesi (m/s ²)
g	Yer Çekimi İvmesi (m/s ²)
m	Araç Kütlesi (kg)
V	Araç Hızı (km/h)
ρ	Hava Yoğunluğu (kg/m ³)
α	Yokuş Açısı (derece)

Kısaltmalar	Açıklamalar
--------------------	--------------------

AA	Alternatif Akım
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit

Kısaltmalar**Açıklamalar**

DA	Doğru Akım
DAM	Doğru Akım Motorları
DCT	Çift Kavramalı Şanzuman
DP	Dinamik Programlama
ECE 15	Şehiriçi Sürüş Çevrimi
EEMY	Eşdeğer Enerji Minimizasyonu Yöntemi
EHB	Elektro Hidrolik Fren
EM	Elektrik Motoru
EMCS	Eşdeğer Yakıt Tüketimi Minimizasyon
EUDC	Ekstra Şehirler Arası Sürüş Çevrimi
FTP 75	Federal Test Prosedürü
HB	Hidrolik Fren
HC	Hidrokarbon
HEA	Hibrit Elektrikli Araç
İYM	İçten Yanmalı Motor
LiFoPO₄	Lityum Demir Fosfat
Li-ion	Lityum İyon
LiPo	Lityum Polimer
LPG	Sıkıştırılmış Petrol Gazı
NEDC	Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi
ÖYT	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)
PHEA	Paralel Hibrit Elektrikli Araç
PID	Oransal İntegral-Türevsel-Kontrol Döngüsü
RBS	Rejeneratif Fren Sistemi
SHEA	Seri Hibrit Elektrikli Araç
SOC	Batarya Doluluk Oranı
SPHEA	Seri Paralel Hibrit Elektrikli Araç
SUV	Spor Kullanımlı Araç
UDDS	Kentsel Dinamometre Sürüş Çevrimi
US06	Yüksek Hız Çevrimi
WLTC	Dünya Hafif Hizmet Araçları Sürüş Çevrimi

1. GİRİŞ

Dünyada tüketilen toplam enerjinin %27'sini ve atmosfere salımı yapılan sera gazı emisyonunun %33'ünü karayollarında kullanılan araçlar oluşturmaktadır. Yüksek enerji tüketimi ve yüksek kirletici gaz emisyonlarının salınımına neden olan araçların çoğu sadece içten yanmalı motor ile çalışan düşük verimlilik değerlerine sahip geleneksel taşıtlardır [1]. Fosil yakıtlı geleneksel araçların çevreye yaydığı zararlı gaz değerlerinin azaltılması ve yakın gelecekte fosil yakıtların bir çoğunun tükenme eşiğine geleceği beklentisi nedeni ile enerjide verimlilik ve emisyon standartlarının yükseltilmesi konusu gündemden düşmemektedir [2]. Otomotiv sektöründe geleneksel araçlar üzerindeki enerji verimliliğinin artırılması ve emisyon değerlerinin azaltılmasına yönelik ciddi araştırmalar yapılmakta, içten yanmalı motor üzerinde yapısal ve sistem bazında yenilikler gerçekleştirilmektedir. Otomobil teknolojisinde kullanılan benzin ve dizel yakıtlar ile çalışan motorlar üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak LPG, biyodizel gibi alternatif yakıtların kullanımıyla daha düşük kirletici seviyeleri yakalanmaya çalışılmaktadır [3]. Otomotiv üreticileri geleneksel araç ve içten yanmalı motor üzerinde seçici katalitik indirgeme, katalitik konvertör, egzoz gazı resirkülasyonu, katkılı yakıtlar gibi birçok önemli motor ve taşıt teknolojisi geliştirmiş ve geliştirmeye devam etmektedir [4]. Tüm bu iyileştirmelerin yanında geleceğin otomobilleri için farklı çözüm yöntemleri arayışına gidilerek, temeli geçmişe dayanan hibrit ve elektrikli araçların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması zorunlu hale gelmiştir.

Elektrikli araçlar, tahrikinin tümünü elektrik enerjisinden almaktadır. Elektrikli araçlar enerji tüketimlerinin düşüklüğü ve doğa dostu olmalarından dolayı günümüzde büyük ilgi görmektedirler. Bunula birlikte otomobil firmaları elektrikli araçlar ve alt yapıları üzerindeki çalışmalara yoğunlaşmaktadır [3]. Elektrikli araçlar elektrik motoru, batarya paketi ve kontrol üniteleri olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Elektrikli araçların geleneksel araçlara göre birçok avantajı bulunmaktadır. Elektrik motorunun yüksek verimliliği sayesinde düşük enerji tüketim maliyeti ve düşük emisyon değerleri elde edilmektedir. Elektrikli araçların avantajlarından sayılan düşük emisyon değerleri, araç üzerinde kullanılan elektrik enerjisinin yenilebilir yöntemlerle elde edilmesi ile daha da düşürülebilmektedir. Elektrikli araç geleneksel araca göre daha sessiz çalışarak konforlu bir sürüş sağlamaktadır. Elektrik motorunun karakteristik özelliğinin araç üzerinde kullanımına uygun olması nedeni ile vites kutusu kullanımına gerek duyulmamaktadır [2].

Elektirikli aracın avantajlarının yanında bir çok dezavantajı da bulunmaktadır. Elektrikli araçların en büyük dezavantajı ilk alım maliyetinin yüksek ve şarj istasyonlarının yeterli sayıda olmamasıdır. Elektrikli araç bakım, onarım ve yedek parça temini için yeteri kadar servisin ve alt yapının bulunmaması da elektrikli araç kullanımını zorlaştıran nedenlerden biridir. Araca tahrik ve diğer enerji beslemelerini sağlayan batarya paketi, belirli şarj çevrim ömrünü doldurup değiştirilmesi gerektiğinde, yüksek maliyet ve kimyasal atık oluşmasına sebebiyet vermektedir. Batarya enerji yoğunluğunun düşük olması ve şarj edilme süresinin uzun olması elektrikli araçlarda menzil sorununu da beraberinde getirmektedir. Diğer yandan batarya paketlerinin şarj edilebilmesi için şarj istasyonlarının kurulması ve şehir elektrik alt yapısının da güçlendirilmesi gerekmektedir. Elektrikli araçlar ile geleneksel araçların avantajları birleştirilip, dezavantajları en aza indirgenerek hibrit elektrikli araç yapısı ortaya konmuştur.

Hibrit araçların elektrikli araca göre en büyük avantajı menzil probleminin olmamasıdır. Hibrit araç üzerinde EM ve İYM bulunmaktadır. Hibritleşme derecesi, çeşiti ve yapısına göre bu motorların boyutları, kullanımları kontrol çeşitleri değişkenlik göstermektedir. Paralel hibrit araç yapısında araç tahriği EM ve İYM ile sağlanırken, seri hibrit araç yapısında araç tahriği sadece EM ile yapılmaktadır. Paralel hibrit araç üzerinde enerji üretimi, aracın tahriğini sağlayan İYM ve EM'nin senkronize çalıştırılması ile sağlanırken, seri hibrit araç yapısında İYM ve EM'den oluşan, araç güç sistemi ile bağlantısı olmayan harici jeneratör sistemi ile yapılmaktadır. Paralel ve seri hibrit araçların kullanım şartlarına bağlı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araçların, yakıt tüketim değerleri incelenerek karşılaştırması yapılmıştır. Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araçların MATLAB/Simulink ortamında modelleri oluşturulmuştur. Her bir araç yapısının güç aktarma sistemini temsil eden transfer fonksiyon denklemleri türetilmiştir. Araçların karşılaştığı aerodinamik, ivmelenme, yokuş ve yuvarlanma direnç kuvvetlerinin modeli oluşturulmuştur. Paralel hibrit araç, bulanık mantık kontrol yöntemi ile geliştirilen, güç yönetim algoritması ile kontrol edilmiştir. Tüm hibrit araç yapılarında rejeneratif fren sistemi, bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen algoritmalar ile kontrol edilmiştir. Tüm araç yapılarında 7 ileri DCT şanzıman kullanılmıştır. Lityum iyon batarya hücresinin şarj ve deşarj testleri yapılarak, eşdeğer devre metodu Rint

yöntemi kullanılarak, hibrit araç yapılarında kullanılmak üzere batarya paketi modeli oluşturulmuştur.

Tüm araç yapıları üzerinde kullanılan İYM, EM, vites kutusu, batarya paketi gibi bileşenler ve simülasyon parametrelerde değişiklik yapılmayarak, araç yapılarının ortalama yakıt tüketim değerleri aynı şartlarda birbiri ile karşılaştırılmıştır. Oluşturulan model üzerinden, araçlarda kullanılan İYM ve EM çalışma noktaları belirlenerek değerlendirmesi yapılmıştır. Model üzerinde her bir araç yapısının farklı sürüş koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri belirlenmiştir. Hibrit araç yapıları üzerinde kullanılan rejeneratif fren sisteminin, farklı sürüş çevrimi koşullarında yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir. Her bir araç üzerinde aynı hacimde yakıt deposu kullanılması durumunda, araçların menzili hesaplanarak değerlendirmesi yapılmıştır.

2. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ÇEŞİTLERİ

Biri elektrik enerjisi olmak üzere en az iki enerji kaynağına sahip, elektrikli araçların dezavantajını en aza indirmek, geleneksel araçların avantajından maksimum noktada faydalanmak amacı ile geliştirilen elektrikli ve geleneksel araçların birleşimi, hibrit elektrikli araç olarak tanımlanmaktadır. Hibrit elektrikli aracın bir diğer genel tanımı ise elektrikli ve içten yanmalı motorun kullanıldığı araç çeşidi olarak bilinmektedir [5].

1900 yıllarının başlarında ilk defa “French Electro automobile” ve “Krieger” adında hibrit yapıya sahip araç üretimi yapılmıştır. Ferdinand Porsche tarafından “Mixt Wagen” adını verdiği, ilk deneysel seri hibrit elektrikli aracın tasarımı yapılmıştır. Hibrit aracın tekerlerinde elektrikli hub motor kullanmıştır. Hibrit aracın elektrik üretimi içten yanmalı motor ve elektrik motoru ile sağlanırken, kurşun-asit bataryalar üzerinde elektrik enerjisinin depolama işlemi gerçekleşmiştir. O günün şartlarıyla bu araç maksimum 60 km/h hızlara ulaşabilmiştir.

“Woods Motor Araç Şirketi” tarafından ilk defa paralel hibrit elektrikli araç tasarımı yapılmıştır. Araç üzerinde kullanılan içten yanmalı motorun hem elektrik motoruna hem de tahrik sağlayan aks grubuna hareket vermesi sağlanmıştır. 1920 yıllarının başlarında hibrit elektrikli araç, popülerliğini arttırmış ve elektrikli araç geliştiren firmaların birçoğu hibrit yapıda araç tasarım ve üretimini denemişlerdir. 1920-1960 yılları arasında daha uzun menzilli araçlara ihtiyacın artması, Teksas’ ta ham petrolün bulunması ile petrol fiyatlarının azalması, marş motorunun icat edilmesi ve Henry Ford’un içten yanmalı motor ile çalışan araçların seri üretimine başlaması gibi nedenlerden dolayı elektrikli ve hibrit elektrikli araçlara olan ilgi azalmıştır [6].

Petrol rezervlerinin azalması ve çevre kirliliğinin artması ile birlikte enerjide verimlilik gündeme gelmiş, emisyon standartları kavramı ortaya atılmıştır. Yıllar önce ilginin azaldığı hibrit ve elektrikli araca olan gereksinim tekrar ortaya çıkmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte elektrikli araç ve hibrit elektrikli araç çalışmaları 1990’ların sonundan itibaren yeniden hareketlenmeye başlamıştır. 1990’ların sonlarına doğru geliştirilen elektrikli ve hibrit araçlar, yakıt tüketiminin düşüklüğü ve ilk alım maliyetlerinin geçmişe oranla makul oluşundan dolayı eskiye göre daha başarılı bir tutunma gerçekleştirmiştir. Bu tutunmaya

destek, Toyota firmasının 1997 yılında “Prius” adında hibrit aracın seri üretimine başlaması ve piyasaya sürülmesi ile birlikte artış göstermiştir. Toyota Prius 2010 yılına kadar dünya çapında yaklaşık bir buçuk milyon satışa ulaşmıştır [7].

Hibrit elektrikli aracın popülerleşmesinin arkasında yatan birçok avantaj bulunmaktadır. Hibrit elektrikli araçların geleneksel araçlara göre avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Geliştirilen rejeneratif fren sistemi ile aracın frenlenmesi esnasında tekerlerde oluşan kinetik enerji elektrik motorunu tahrik eder ve jeneratör olarak çalışmasını sağlayarak elektrik enerjisi kazanımı sağlanır.
- Aracın tahrikine elektrik motorunun destek vermesi nedeni ile daha küçük içten yanmalı motor kullanılabilir.
- Hibrit araç verimliliği yüksek olup, yakıt tüketim ve emisyon değerleri düşüktür.
- Aracın trafikte bekleme anında İYM’nin çalışmaması nedeni ile yakıt tüketimine, kirletici gaz salınımına ve gürültü kirliliğine pozitif etki sağlamaktadır [5, 6].

Hibrit elektrikli araçlar, yapılarına ve toplam gücün elektrik motoru ile içten yanmalı motora dağılımına göre iki temel başlık altında incelenmektedir. Hibrit elektrikli araçlar yapılarına göre seri, paralel ve seri-paralel olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Hibrit araçlar güç dağılımlarına göre tam, hafif ve mikro hibrit olarak sınıflandırılmaktadır. Dışarıdan şarj edilebilen hibrit elektrikli araç çeşitlerine ise plug-in hibrit araç adı verilmektedir [8].

Hibrit araçlar, üzerinde hem elektrik hem de içten yanmalı motor bulunan, çeşitli yapılarda ve kontrol stratejileri ile tasarlanabilen, temelinde minimum yakıt tüketimi ve kirletici gaz salınımı olması hedeflenen kombine araçlardır. Bazı hibrit araçlarda içten yanmalı motor, sadece jeneratörü tahrik ederken bazı yapılarda ise tahrik sistemine de destek vermektedir. Bazı tip hibrit araçlar bataryaya depolanan elektrik enerjisini, elektrik motorunun jeneratör olarak kullanılması ile sağlarken, bazı tip hibrit araçlarda dış kaynaklardan da şarj etmek mümkündür [7].

Hibrit elektrikli araçlar hibritleşme derecesine göre mikro, hafif ve tam hibrit olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Çizelge 2.1’de hibritleşme derecesine göre ayrılan ve dışarıdan şarj edilebilen hibrit araçların özellikleri görülmektedir [9].

Çizelge 2.1. Hibitleşme derecelerine göre ve dışarıdan şarj edilebilen hibrit elektrikli araçların karşılaştırılması [9]

Hibrit derecesi	Mikro	Hafif	Tam	Plug-in
Elektrik motor gücü (kW)	2-4	15-21	25-60	40-110
Gerilim seviyesi (V)	12	48-160	150-350	<360
Yalnız EM menzil (km)	0	0	5-10	
CO ² eksiltme oranı (%)	5-6	7-12	15-20	

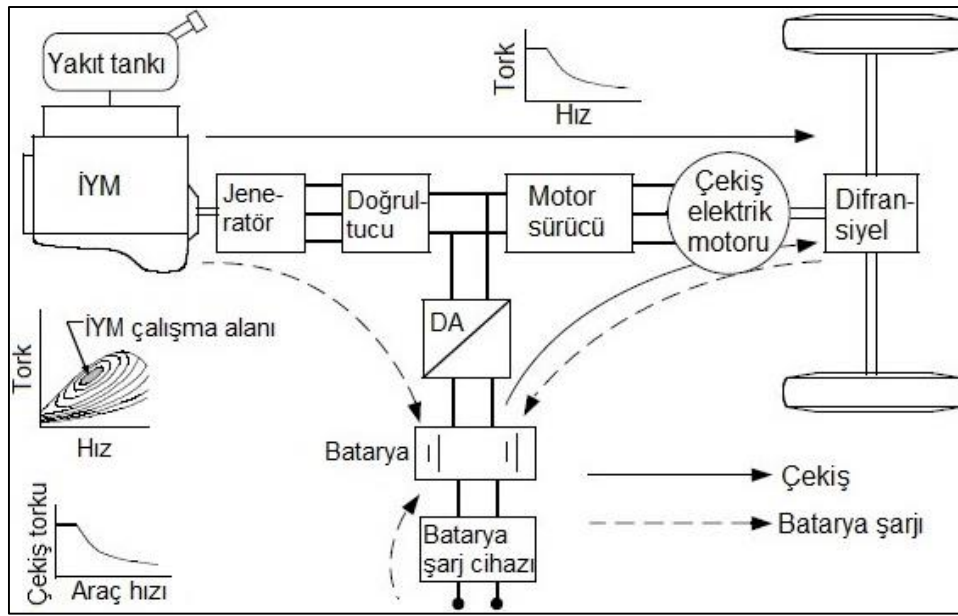
Mikro hibrit elektrikli araçlarda elektrik motoru, aracın boşta olduğu durumlarda içten yanmalı motorun durmasına ve frenleme esnasında elektrik enerjisinin geri kazanımına olanak sağlamaktadır. Elektrik motor gücünün toplam güce oranı %10 seviyelerinden düşük olup, aracı sadece elektrik motoru ile tahrik etmek mümkün olmamaktadır. Hafif hibrit elektrikli araçlarda ise yine aynı durum geçerli olup aracın sadece elektrik motoru ile tahriki sağlanamamaktadır. Hafif hibrit elektrikli araçlarda elektrik motoru gücünün, toplam güce oranı yaklaşık %10 ile %30 seviyelerindedir. Araç kalkış anında İYM ile çalışmakta elektrik motoru ise tahrike destek vermektedir. Aracın bekleme durumunda elektrik motoru, içten yanmalı motorun durmasını ve frenleme esnasında elektrik enerjisinin geri kazanımını sağlamaktadır. Tam hibrit elektrikli araçlarda ise elektrik motor gücünün toplam güce oranı %30 seviyelerinin üzerinde olup, aracın bazı durumlarda sadece elektrik motoru ile kullanımına müsaade edebilmektedir [8].

Dışarıdan şarj edilebilen hibrit elektrikli araçta elektrik enerjisinin depolanabilirliğini arttırmak için, tam hibrit elektrikli aracın bataryasından daha yüksek kapasiteli batarya kullanılmaktadır. Plug-in hibrit elektrikli araç, hibrit araç yapıları içinde tam elektrikli araç özelliklerine en yakın yapıya sahiptir. Bu araçlarda içten yanmalı motorun en büyük görevi, sürüş ve bekleme esnasında bataryayı şarj etmektir. Plug-in hibrit elektrikli araçlarda yakıt tasarrufunu, geleneksel araçlara kıyasla %40 ile %50 seviyelerine ulaşabildiği söylenebilmektedir. Batarya kapasitesinin yüksek olması nedeni ile rejeneratif frenleme süresince batarya doluluk probleminden kaynaklı engeller, diğer hibrit yapılara göre daha az yaşanmaktadır [9]. Hibrit elektrikli araçlar yapılarına göre seri, seri-paralel ve paralel hibrit elektrikli araç olmak üzere üç grupta incelenmektedir.

2.1. Seri Hibrit Elektrikli Araçlar

Seri hibrit elektrikli araç, tam elektrikli araç olarak tanımlanan araç yapısına en yakın hibrit araç çeşididir. Elektrikli araca ek olarak içten yanmalı motor ve jeneratör olarak kullanılan

elektrik motoru bulunmaktadır [8]. SHEA üzerinde bulunan İYM, aracın güç aktarma sistemiyle mekanik bağlantısı bulunmayıp, sadece jeneratör olarak kullanılan elektrik motoruna hareket vermekte ve aracın tahriki için gerekli elektrik enerjisinin üretilmesi sağlanmaktadır. Jeneratör sisteminde üretilen elektrik enerjisi batarya paketlerinde depolanmaktadır. Aracın güç aktarma sistemine bağlı olan elektrik motoru batarya paketinden aldığı elektrik enerjisi ile mekanik enerji üreterek güç aktarma sistemi üzerinden tekerleklere ulaşmasını sağlamaktadır [10]. SHEA yapısına ait şematik gösterimi Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. SHEA yapısı şematik gösterimi [11]

SHEA yapılarının en büyük avantajı diğer hibrit araç yapılarına göre kontrolünün basit olmasıdır. Kontrolünün basit olmasının en büyük nedeni ise tek tip güç makinasından tekerlere tahrik verilmesidir. İYM’nin güç aktarma sisteminden bağımsız olarak çalışması, İYM’nin yakıt tüketimi ve emisyon salınımlarının en az olduğu güç bölgelerinde çalıştırılmasına olanak sağlamaktadır. Tekerlerin İYM ile bağlantısı olmamasından dolayı frenleme esnasında güç aktarma sisteminde oluşan ters torkun tümü elektrik motoruna iletilerek, rejeneratif frenlemenin diğer hibrit yapılara göre daha etkili kullanımı sağlanmaktadır [10, 11].

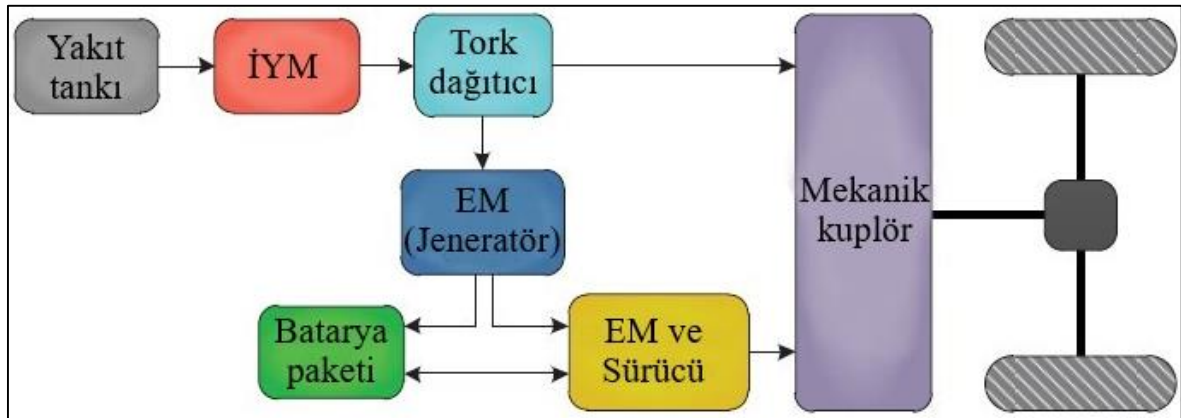
SHEA yapısında enerjinin iki defa değişime uğraması ile verimliliğin düşmesi SHEA yapısının en büyük dezavantajıdır. Jeneratör olarak kullanılan elektrik motoru, ek ağırlık ve

maliyete neden olmaktadır. Araca tahrik sağlayan elektrik motorunun diğer hibrit yapılara göre daha güçlü olması gerekmektedir [6].

SHEA yapılarının literatürde yapılan çalışmalarda, SHEA yapıları düşük hızlarda ve kentsel alanlarda kullanımı ile ağır taşıtlarda, askeri taşıtlarda ve özellikle şehir içi otobüslerde kullanımı daha uygun olduğu belirtilmektedir [10, 12].

2.2. Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

Seri paralel hibrit elektrikli araç, seri ve paralel hibrit elektrikli araç yapılarının karması olup hem seri hemde paralel hibrit araç yapılarının özelliklerini taşımaktadır. SPHEA yapılarında İYM bir tork dağıtıcısı üzerinden hem jeneratör olarak çalışan elektrik motoruna hem de güç aktarma sistemine bağlıdır. SPHEA, kontrol stratejisi ile değişkenlik göstermekle birlikte İYM jeneratörü tahrik ederek elektrik üretimini sağlamakta ve aracın ekstra tork ihtiyacının olması durumunda ise güç aktarma sistemine doğrudan hareket vermektedir [8]. SPHEA yapısı Şekil 2.2’de şematik olarak gösterilmektedir.

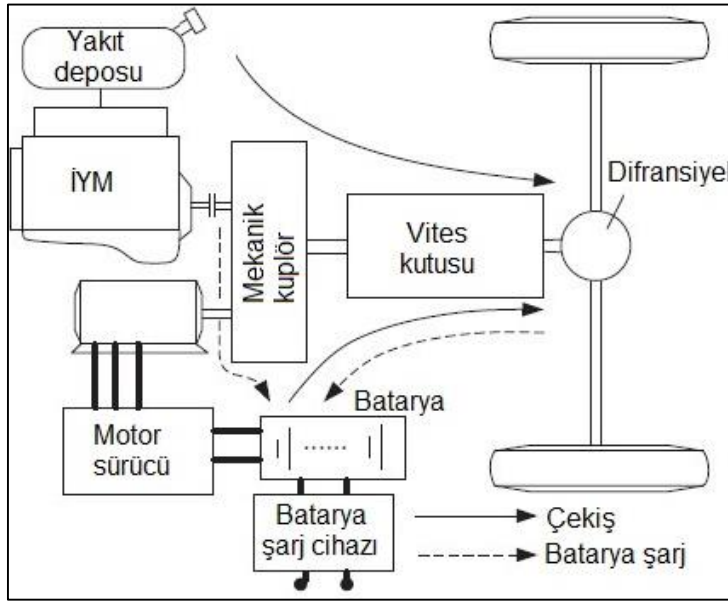


Şekil 2.2. Seri paralel hibrit elektrikli araç şematik gösterimi [10]

SPHEA yapısı ve kontrol stratejisi diğer hibrit araç yapılarına göre karmaşık olup araç ağırlığı ve maliyeti bakımından daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. İYM ile jeneratör ve güç aktarma sistemi bağlantısı genellikle planet dişli sistemi ile sağlanmaktadır. SPHEA genellikle binek ve hafif yapıları araçlarda kullanılmaktadır [13].

2.3. Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

Paralel hibrit elektrikli araç (PHEA), hibrit elektrikli araçlar içinde en yaygın kullanıma sahiptir. PHEA üzerinde İYM ve EM bulunmaktadır. Paralel hibrit aracın tahriki yalnız İYM veya yalnız EM ile yapılabildiği gibi, İYM ve elektrik motorunun eş zamanlı çalışmasıyla da sağlanabilmektedir. PHEA yapısının şematik gösterimi Şekil 2.3’de görülmektedir [10].



Şekil 2.3. PHEA yapısı şematik gösterimi [11]

PHEA için geliştirilmiş birçok kontrol stratejisi bulunmakta olup farklı kontrol algoritmaları geliştirilmiştir. Genel olarak İYM en verimli güç noktalarında çalıştırılıp aracın tahrik edilmesi sağlanmaktadır. Aracın ihtiyaç duyduğu tork, içten yanmalı motorun ürettiği torktan fazla ise fazla olan tork ile elektrik motoru jeneratör olarak çalıştırılıp elektrik enerjisi üretilmekte, üretilen elektrik enerjisi de bataryada depolanmaktadır. Aracın ihtiyaç duyduğu tork, içten yanmalı motorun ürettiği torktan az ise elektrik motoru, araç güç sistemine tahrik sağlamaktadır. Aynı zamanda aracın şehir içi fazla dur kalk yaptığı sürüş şartlarında araç sadece elektrik motoru ile tahrik edilebilmektedir. PHEA üzerinde rejeneratif fren sistemi kullanılarak, frenleme esnasında enerji geri kazanımı da sağlanabilmektedir [13].

Hibrit elektrikli araçların, geleneksel yalnız içten yanmalı motorlu araçlara göre avantajları ve dezavantajları daha önceki başlık altında incelenmiş olup en yaygın hibrit yapı olan seri

ve paralel hibrit elektrikli araçların karşılaştırılması yapılmıştır. Paralel hibrit elektrikli araçların seri hibrit elektrikli araca göre avantajları [10, 11, 14],

- İçten yanmalı motor tarafından üretilen mekanik hareket her şartta olmasada uygun şartlarda doğrudan tahrik sağlayıp gereksiz enerji dönüşümünden kaçınılmaktadır.
- Tahrik sağlayan elektrik motorunun jeneratör olarak kullanılması nedeni ile elektrik enerji üretimi için ekstra elektrik motoru ihtiyacı yoktur.
- Daha düşük güçte elektrik motorunun ve daha düşük kapasitede batarya paketi kullanımına ihtiyaç olması.

paralel hibrit araçların, seri hibrit elektrikli araçlara göre dezavantajları ise [10, 11, 14],

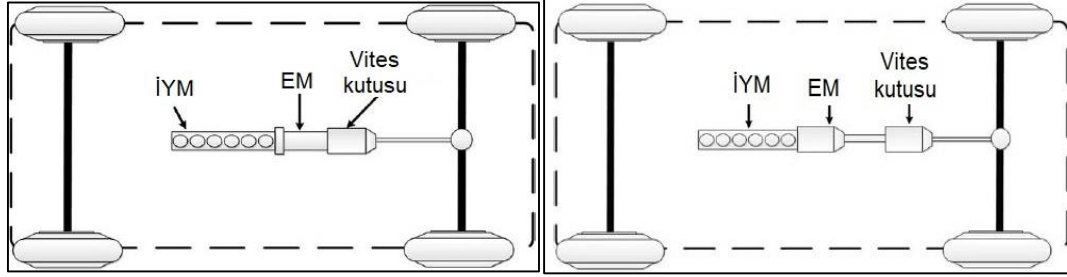
- Karmaşık yapıya ve kontrole sahip olması.
- İçten yanmalı motorun güç sistemi ile bağlantılı olması nedeni ile istenilen hız ve tork bölgesine sabitlenememesi.
- Seri hibrit elektrikli araca göre rejeneratif fren sisteminin etkili kullanımının daha düşük olması.
- İYM ve elektrik motorunun güç sistemine bağlantısı için karmaşık mekanik dişli kutularının gerekliliğinin maliyet ve ağırlık artımına neden olması.

olarak sıralanabilmektedir.

Hibrit aracın performans, yakıt tüketim ve emisyon değerlerinin optimize edilmesinde, araç üzerinde kullanılan motor karakteristik özellikleri kadar güç aktarma sistemi yapıları da önem sağlamaktadır. Paralel hibrit elektrikli aracın gelişiminden bu yana aracın farklı kullanıma yönelik, farklı ihtiyaçların doğması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte bir çok paralel hibrit araç mimarisi ortaya çıkmıştır [14]. Paralel hibrit elektrikli araç yapılarının çeşitleri tek şaftlı, çift şaftlı, ön iletimli (pretransmission), son iletimli (post transmission) ve çift akslı paralel hibrit elektrikli araç güç aktarma sistemi olarak beş temel grupta incelenmektedir.

Tek şaftlı paralel hibrit elektrik araç yapısında içten yanmalı motor, elektrik motoru ve vites kutusu aynı mil üzerine konumlandırılmıştır. Tek şaftlı paralel yapıda elektrik motoru tork kulplörü görevini de üstlenebilmekte ve kontrolün daha basit bir şekilde yapılabilmesini

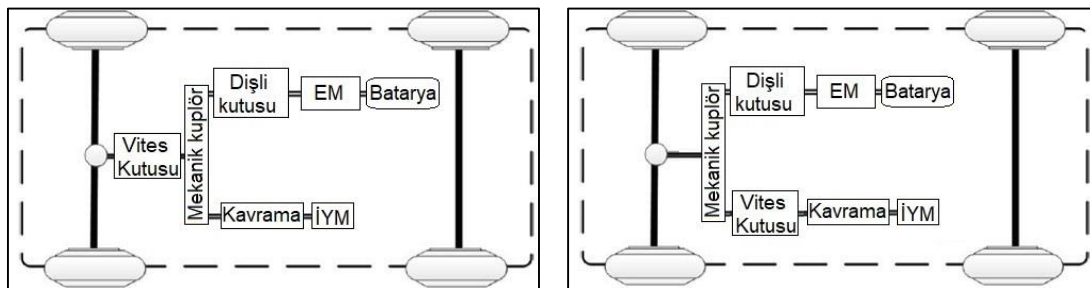
sağlamaktadır. Tek şaftlı paralel yapıda, manuel, yarı otomatik veya tam otomatik vites kutu çeşitleri kullanılabilir.



Şekil 2.4. Tek şaftlı ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit güç sistemi yapısı [14]

Tek şaftlı paralel hibrit yapının ön ve son iletimli olmak üzere iki farklı çeşidi bulunmaktadır. Şekil 2.4'te tek şaftlı ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit elektrikli araç güç sistemi yapısının şematik gösterimi bulunmaktadır. Ön iletimli tek şaftlı hibrit yapıda vites kutusu elektrik motoru hareketine redüksiyon değişimi uygulamakta ve gerekli durumlarda tork arttırımı yapabilmektedir. Bu nedenle daha düşük güçte bir elektrik motoru kullanımına imkan sağlamaktadır. Son iletimli paralel hibrit yapıda ise aracın tahriki için gerekli tork ihtiyacının karşılanabilmesi için, elektrik motorunun daha yüksek yeterli güce sahip olması gerekmektedir [15].

Çift şaftlı paralel hibrit elektrik araç yapısında İYM ve EM ayrı paralel miller üzerine konumlandırılmış olup bir mekanik tork veya birleştiricisi tarafından hareketleri birleştirilmektedir. Bu yapı, tek şaftlı paralel hibrit yapıya göre araç hacminin daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır.

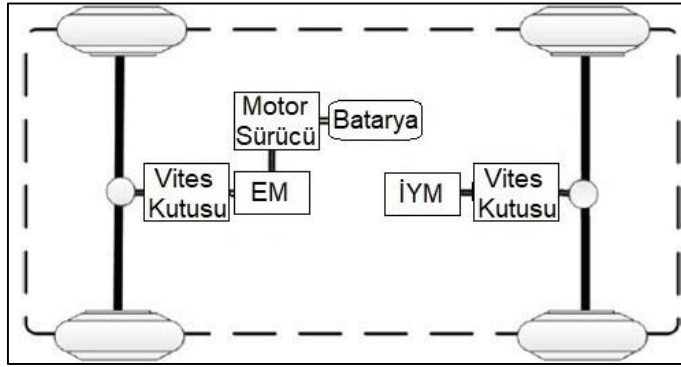


Şekil 2.5. Çift şaftlı ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit güç sistemmi yapısı [14]

Çift şaftlı paralel hibrit elektrikli araç yapısının, ön iletimli ve son iletimli olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Şekil 2.5'de çift şaftlı ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit elektrikli

araç güç sistemi yapısının şematik gösterimi verilmiştir. Vites kutusu , tek şaftlı son iletmli araç yapılarında olduğu gibi çift şaftlı ön iletimli hibrit araç yapılarında da elektrik motor hareketine redüksiyon sağlamakta olup daha düşük güce sahip elektrikli motor kullanımına imkan tanımaktadır. Bu durum maliyet ve araç ağırlığının düşürülmesi konusunda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Çift şaftlı son iletimli paralel hibrit yapıda ise elektrik motoru ve içten yanmalı motor tamamen bağımsız olarak kontrol edilerek en verimli noktalarda çalıştırılmasına imkan sağlayabilmektedir [15].

Çift akslı paralel hibrit güç sistemi yapısında İYM ve elektrik motoru birbirinden tamamen bağımsız olarak ayrı akslara konumlandırılmıştır. Çift akslı paralel hibrit araç yapısı şematik gösterimi Şekil 2.6’da görülmektedir.



Şekil 2.6. Çift akslı paralel hibrit güç sistemi yapısı [14]

Çift akslı güç sistemi yapısının kontrolünün basit olması, dört tekerlekten çekiş sağlanabilmesi ve geleneksel içten yanmalı motorlu araçların bazı avantajlarına sahip olması gibi avantajları bulunmaktadır. Bununla birlikte bu yapıda, araç üzerinde yolcu ve bagaj için ayrılan hacim azalmaktadır. Bu yapının, aracın hareketsiz durumunda İYM ile elektrik motoruna hareket sağlanamadığı için bataryanın şarj edilememesi ve hareketli durumlarda da yol üzerinden düşük verimler ile hareket aktarımı yapılmasından dolayı şarj verimliliğinin az olması gibi dezavantajlar bulunmaktadır [14].

3. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Arsie ve diğerleri (2004), kimyasal, elektrik ve mekanik enerjinin tümünü içeren paralel hibrit elektrikli aracın dinamik bir modelini oluşturmuşlardır. Aracın hibrit modda çalışması için kontrol stratejisi geliştirmiş ve optimizasyonunu yapmışlardır. Kontrol stratejisi geliştirilen hibrit elektrikli araç, aynı motora sahip konvansiyonel bir araca göre %45 daha az yakıt tükettiği sonucunu elde etmişlerdir [16].

Malode ve diğerleri (2016), Matlab/Simulink simülasyon programının simscape modülünde elektrikli bir araç ve rejeneratif frenleme üzerine modelleme yapmışlardır. Oluşturulan model üzerinde simülasyon parametrelerini belirlemiş ve simülasyon sonuçlarını elde etmişlerdir. Yapılan model üzerinde rejeneratif fren sisteminin %8 ile %25 değerleri arasında enerji geri kazanımını sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır [17].

Yi ve diğerleri (2011), paralel hibrit elektrikli bir araç için bulanık mantık yöntemi kullanarak, tork kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Bulanık mantık kontrolünde sürücü komutu, batarya şarj oranı girdileri ile elektrik ve içten yanmalı motorun güç aktarma sistemine sağlayacağı tork dağılımının optimizasyonunu yapmışlardır. Geliştirilen bulanık mantık tork kontrol yöntemi ile geleneksel tork kontrol yöntemi kullanımının yakıt tüketimine etkisini karşılaştırmışlardır. Aracın NEDC sürüş çevrimi şartlarında kullanımında, bulanık mantık kontrol yönteminin, geleneksel yöntemle göre yakıt tüketiminde azalma sağlandığı sonucunu elde etmişlerdir [18].

Xu ve diğerleri (2011), elektrikli bir araç üzerinde kullanmak üzere, bulanık mantık yöntemi ile seri hibrit rejeneratif fren sistemi kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Geliştirilen fren kontrol yönteminde araç dengesini optimum seviyede tutulup, mekanik ve rejeneratif fren kuvvetinin en uygun şekilde dağıtılmasını hedeflemişlerdir. Geliştirilen bulanık mantık fren kontrol stratejisinin araç menziline etkisini incelemiş ve araç üzerinde rejeneratif fren kullanılmaması durumuna göre %25,7 oranında menzil artışı gözlemlemişlerdir [19].

Hofman ve diğerleri (2010), bir elektrikli araç üzerinde elektrik motorundan alınan torkun tekerlere iletiminde farklı şanzıman türlerinin kullanımının ve sabit dişli kullanımının enerji tüketimine etkisini incelemişlerdir. Elektrikli bir araç modeli oluşturulup Volkswagen marka bir kompakt araç parametreleri kullanılarak, aracın NEDC ve FTP 75 sürüş çevrimi hızlarında kullanımında Çizelge 3.1'de verilmiş olan simülasyon sonuçlarını elde

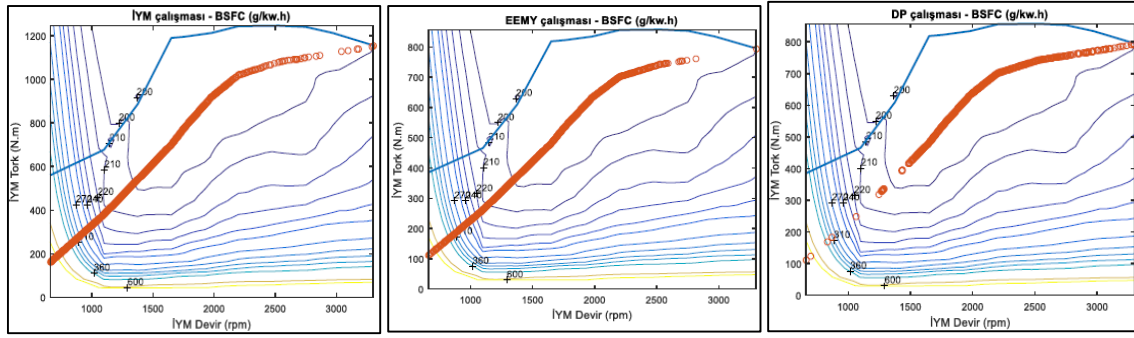
etmişlerdir. Çalışma sonucunda elektrikli araç üzerinde sabit dişli kutusu kullanımının enerji tüketimini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır [20].

Çizelge 3.1. Farklı şanzıman tiplerinin enerji tüketimine etkisi [20]

Vites kutusu tipi	NEDC (kWh)	FTP75 (kWh)
Sabit dişli	1,58	2,81
Manuel	1,62	3,314
CVT	1,59	3,14

Gökçe ve diğerleri (2015), bir elektrikli taşıtın sürüşü boyunca yaptığı tüm frenleme kuvvetinin rejeneratif olarak yapılabilirliğini incelemişlerdir. Enerji kazanımlı, dinamik ve elektrikli frenleme yöntemlerinin kullanım sınırları araştırılıp “tam elektrikli frenleme” olarak adlandırmışlardır. Bulanık mantık kontrol yöntemi ile elektrikli frenleme algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen tam elektrikli fren sistemini bir elektrikli motosiklet üzerinde denemiş ve testlerini yapmışlardır. Ters akımla frenleme yöntemi, atalet momentinin yüksek olan ve çabuk durdurulması gereken makinalarda faz frekansını zıt yöne çevirip motor üzerinde zıt yönde akım geçmesi sağlanarak, enerji tüketilen frenleme sistemi olarak tanımlamışlardır. Dinamik frenlemeyi ise, batarya şarj oranının yüksek olduğu durumlarda kullanarak, geri kazanılan enerjiyi bataryaya göndermek yerine direnç üzerinden ısıya dönüştürme şeklinde kurgulamışlardır. Çalışma sonucunda, bulanık mantık kontrolcü tam elektrikli frenleme yöntemini kontrol edebilmiştir. Batarya şarj oranının yüksek olduğu durumlarda bataryaya takviye edilemeyen enerjinin dirençler vasıtası ile ısıya dönüştürülebilir olduğu sonucuna varmışlardır. Ters akımla frenleme işleminin beklenildiği gibi çok kısa sürede test aracını durdurduğunu gözlemlemişlerdir [21].

Amini ve diğerleri (2017), bir toplu taşıma aracı rotasının sürüş çevrimini oluşturularak, bu hat üzerinde dizel, hibrit ve elektrikli otobüs tiplerinin kullanım durumlarını incelemişlerdir. Otobüse ait dizel, hibrit ve elektrikli tiplerin modellerini oluşturmuşlardır. Hibrit araç kontrolünü, dinamik programlama ve eşdeğer enerji minimizasyon olmak üzere iki tip enerji yönetim algoritması ile sağlamışlardır. Oluşturulan model üzerinde çıkarılan yol çevrimi koşullarında enerji tüketimlerinin belirlenmesinin yanı sıra işletme, altyapı ve üretim maliyetlerini ekleyerek kısa ve orta vadede araç tiplerinin avantajlarını araştırmışlardır. Otobüs hattına ait sürüş çevriminin çıkarılmasında, aracın farklı günlerde ve saatlerde alınan araç takip sistemi bilgilerini kullanmışlardır. Sürüş çevrimine ek olarak aracın seyir ettiği hattın yol eğimi de çıkararak modele eklenmişlerdir [22].



Şekil 3.1. Yalnız İYM, EEMY ve DP kontrol stratejisinin İYM çalışma noktaları [22]

Çalışma sonucunda grafiği çıkarılan konvansiyonel ve hibrit elektrikli araçların (EEMY ve DP Kontrol Stratejisi uygulanan) içten yanmalı motorun çalışma noktaları şekil 3.1 ‘deki gibi görülmektedir. İçten yanmalı motorun mümkün olduğunca özgül yakıt tüketiminin en az olduğu noktalarda çalıştırılmasını hedeflemişlerdir. Hibrit elektrikli aracın kalkış esnasında elektrik motorunun desteği sonucu konvansiyonel tipe göre daha verimli olduğunu gözlemlemişlerdir. EEMY algoritması yüksek güç gereksinimini İYM ve EM yardımı ile sağlarken, DP algoritması ile elektrik motorunu daha efektif kullandıklarını görmüşlerdir. Simülasyon sonucunda elde ettikleri farklı tip otobüsler için takıt tasarruf değerleri Çizelge 3.2’de ve 15 yıllık maliyet hesabı Çizelge 3.3’de görülmektedir [22].

Çizelge 3.2. Farklı tip otobüsler için takıt tasarruf değerleri [22]

No	Enerji (MJ)	Eşdeğer yakıt (L)	Toplam yakıt (L/100 km)	Yakıt tasarrufu (%)
İYM	289	24,15	39,34	-
EM	108,2	9,04	14,72	62,5
EEMY	133,7	11,83	19,2	51,2
DP	131	11,45	18,65	52,6

Çizelge 3.3. Farklı tip otobüsler için 15 yıllık maliyet hesabı [22]

Otobüs tipi	İşletme maliyeti (TL/km)	Araç fiyatı (x100 TL)	Araç maliyeti (TL/km)	Toplam maliyet (TL/km)
Dizel	4,56	800	0,63	5,2
Hibrit	3,11	1200	0,95	4,07
Elektrikli	2,66	1600	1,27	3,94

Bu hat üzerinde içten yanmalı motora sahip otobüs kullanımı yerine elektrikli otobüs kullanımının %62,5, EEMY algoritmasına sahip hibrit otobüs kullanımının %51,2 ve DP algoritmasına sahip hibrit otobüs kullanımının %52,6 oranında yakıt tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır. Sonucun toplam maliyet bazında incelenmesiyle bu hat üzerinde dizel

motora sahip otobüs kullanılması yerine hibrit otobüs kullanılması %21,7, elektrikli otobüs kullanılması ise %24,2 fayda sağladığı sonucuna varılmıştır [22].

Kural ve diğerleri (2015), binek bir hibrit elektrikli yapıya sahip 1600 kg kütleli bir otomobilin farklı kontrol algoritmaları ile yakıt optimizasyonu yapılmasını hedeflemişlerdir. Bu hibrit otomobilin yakıt optimizasyonunu yaparken dinamik programlama (DP) algoritması ve eşdeğer yakıt tüketim minimizasyon (ECMS) algoritmasını kullanmışlardır. Kontrol stratejilerinin uygulanması amacı ile araç modelini oluşturmuşlar NEDC ve FTP sürüş çevrimleri şartlarında kullanımını değerlendirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarını Çizelge 3.4’de görüldüğü şekliyle elde etmişlerdir [23].

Çizelge 3.4. Aracın DP ve ECMS algoritmaları ile kontrol edilmesi durumlarında NEDC ve FTP sürüş şartlarında ortalama yakıt tüketim değerleri [23]

	DP	ECMS
NEDC	4,75	4,79
FTP	4,28	4,31

Aracın NEDC sürüş çevrimi hız şartlarında, DP kontrol stratejisi ile kullanımında araç 100 kilometrede 4,75 litre, ECMS kontrol stratejisi ile kullanımında ise 4,79 litre yakıt tükettiği sonucunu elde etmişlerdir. Aracın FTP sürüş çevrimi hız şartlarında, DP kontrol stratejisi ile kullanımında araç 100 kilometrede 4,28 litre yakıt tüketirken ECMS kontrol stratejisi kullanımında 4,31 litre yakıt tükettiği sonucuna varmışlardır. NEDC ve FTP sürüş çevrimleri hız şartlarında aracın DP kontrol stratejisi ile kullanımı, ECMS kontrol stratejisi ile kullanımından daha az yakıt tükettiği sonucunu elde etmişlerdir [23].

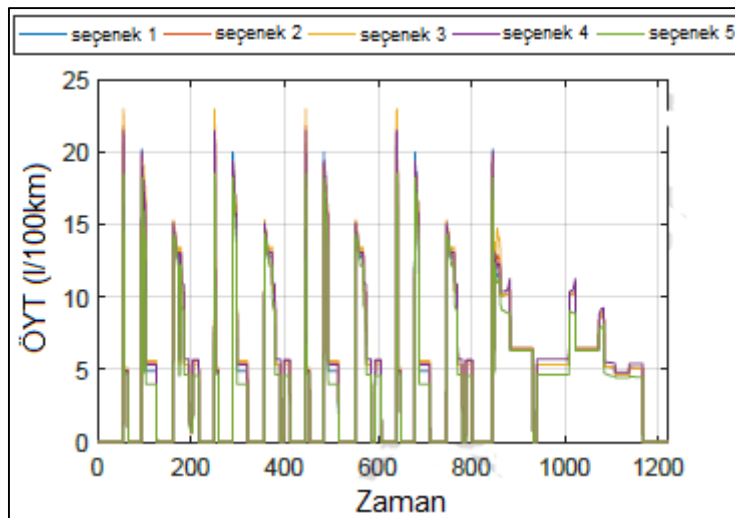
Amini ve diğerleri (2016), literatürde yaygın olarak ele alınan temelde paralel hibrit elektrikli aracın kontrolünü oluşturan, eşdeğer enerji minimizasyon yöntemi (EEMY) üzerinde çalışmışlardır. EEMY kontrol stratejisinin hibrit elektrikli araç üzerinde kullanımı sağlanarak elektrik enerjisi ve termal enerji kullanımının minimum seviyede tutulmasını hedeflemişlerdir. Çalışma kapsamında, EEMY kontrol algoritması geliştirmişler ve modeli oluşturulan araç üzerinde uygulamasını yapmışlardır. Uygulama sonucunda EEMY kontrol stratejisinin enerji ve yakıt tüketimine etkisini incelemişlerdir. EEMY kontrol algoritmasının hibrit elektrikli araç üzerinde kullanımı sonrası İYM ve elektrik motoru en verimli bölgelerde çalıştırılmasını sağlamışlar ve enerji tüketimini başarılı bir şekilde düşürdüğünü gözlemlemişlerdir [24].

Karaoğlu ve diğerleri (2019), farklı dişli oranlarının paralel hibrit elektrikli aracın yakıt tüketimi ve eksoz emisyon değerlerine etkisini incelemişlerdir. Bu incelemeyi Matlab/SİMULİNK simülasyon programı üzerinde oluşturdukları paralel hibrit elektrikli araç ve güç aktarma sistem modeli üzerinde yapmışlardır. Hız girdisi olarak ise NEDC sürüş çevrimini kullanmışlardır. Güç sisteminin redüksiyon oranları vites kutusu, diferansiyel ve tork kuplörü olmak üzere üç farklı üniteden sağlamışlardır. Çizelge 3.5’de, paralel hibrit araç üzerinde kullanılmak üzere oluşturmuş oldukları beş farklı koşul için redüksiyon oranları verilmiştir [25].

Çizelge 3.5. Simülasyon üzerinde kullanılan farklı redüksiyon oranları [25]

	i1	i2	i3	i4	i5
Seçenek 1	3,3	0,8	1,6	3,4	1,12
Seçenek 2	3,3	0,8	1,6	2,6	1,12
Seçenek 3	3,3	0,8	1,6	2,8	1,12
Seçenek 4	3,5	0,8	1,6	2,4	1,12
Seçenek 5	3,5	0,8	1,6	2,4	0,92

Farklı redüksiyon koşullarında ortalama yakıt tüketimini, karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), azot oksit (NO_x), ve hidrokarbon (HC) emisyonlarını azaltmak hedeflenmiştir. Şekil 3.2’de farklı redüksiyon oran koşulları için simülasyon sonucunda elde edilmiş olan ortalama yakıt tüketim grafiği verilmiştir. Hibrit elektrikli araç üzerinde beşinci redüksiyon kombinasyon koşulunun kullanımında, yakıt tüketiminde %17, CO_2 salınımında %9,1, CO salınımında %18, HC salınımında %4 ve NO_x salınımında %8 değerlerinde azalma görmüşlerdir [25].



Şekil 3.2. Beş farklı koşul için ortalama yakıt tüketimi [25]

Ming ve diğerleri (2017), bir plug in paralel hibrit elektrikli aracın modellemesini yapıp, bulanık mantık yöntemi ile kural tabanlı kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Bulanık mantık yöntemi kullanarak geliştirmiş kontrol algoritması ile ve geleneksel kural tabanlı kontrol algoritmasının araç üzerine etkisini, oluşturulan model ortamında incelemişlerdir. Simülasyon hız girdisi olarak US06, HL07 ve EUDC sürüş çevrimlerini kullanmışlardır. Simülasyon sonucunda elde ettikleri yakıt tasarruf değerleri Çizelge 3.6'da görülmektedir [26].

Çizelge 3.6. Farklı sürüş çevrimleri şartlarında elde edilen tasarruf oranları [26]

	US 06x3	HL07x4	EUDCx6
Geleneksel kural tabanlı	0,6760	0,6710	0,8487
Bulanık mantık	0,6355	0,6337	0,8009
Tasarruf (%)	%5,99	%5,56	%5,63

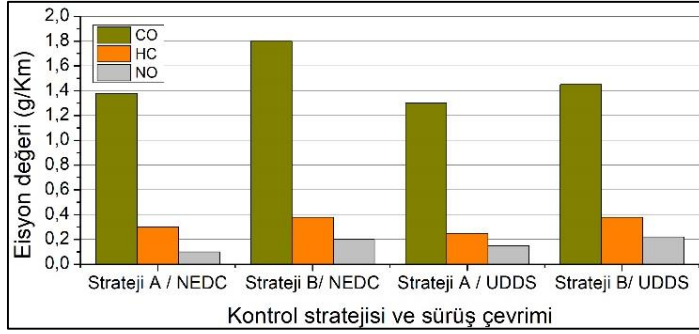
Oluşturulan araç modelini US06 sürüş çevriminde 3 tur, HL07 sürüş çevriminde 4 tur, EUDC sürüş çevriminde ise 6 tur simüle ederek, yakıt tüketim değerlerini elde etmişlerdir. Bulanık mantık kontrol yönteminin, kural tabanlı geleneksel kontrol yöntemine göre sırasıyla %5,99, %5,56 ve %5,63 oranlarında iyileşme sağladığı sonucu elde edilmiştir. Bu çalışma ile hibrit elektrikli araçlar üzerinde bulanık mantık yöntemi ile kontrol algoritması geliştirmenin olumlu sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır [26].

Ma ve diğerleri (2019), paralel hibrit elektrikli aracın yakıt tüketim değerlerini düşürmek amacı ile bulanık mantık yöntemi kullanılarak kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Bulanık mantık kontrol algoritmasını, aracın tahriki için gerekli tork ve batarya şarj oranını olmak üzere iki farklı parametre girdisi ile yapmışlardır. Bulanık mantık kontrolcüsüne ise üç temel kural yazmışlardır. Hibrit elektrikli araç, batarya şarj oranının düşük olduğu seviyelerde İYM'nin yüksek tork değerlerinde çalışıp hem araca tahrik sağlaması hem de elektrik motoruna hareket vererek bataryayı şarj etmesini hedeflemişlerdir. Batarya şarj oranı normal aralıkta iken İYM araca tahrik vermesini, elektrik motoru ise yüksek tork ihtiyaçlarında devreye girmesini istemişlerdir. Üçüncü kuralda ise batarya şarj oranının yüksek olduğu durumu incelemiş ve elektrik motorunun içten yanmalı motora sürekli tahrik güç desteği vermesi istenmiştir. Araç modeli NEDC ve WLTC sürüş çevrimleri ile kullanıldığı durumlarda bulanık mantık kontrol stratejisinin yakıt tüketimine etkisini incelemişlerdir. Simülasyon sonucunda aracın NEDC sürüş çevriminde kullanımında %13,3 ve WLTC sürüş

çevriminde kullanımında ise %4,5 oranında yakıt tasarrufu sağlandığı sonucunu elde etmişlerdir [27].

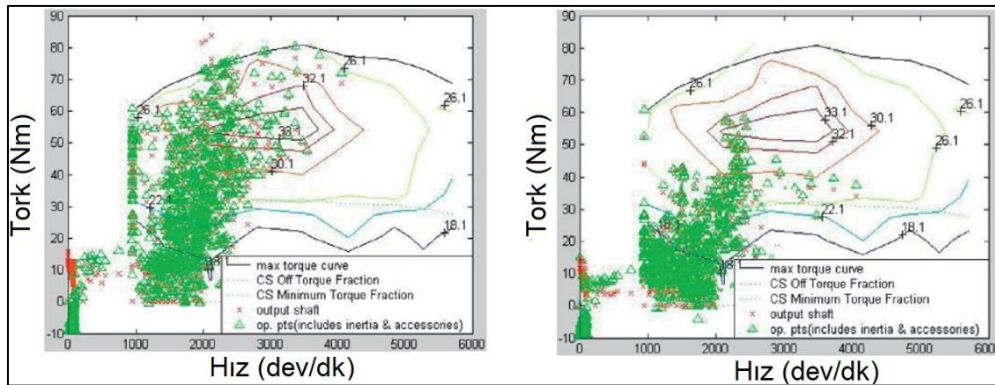
Finesso ve diğerleri (2014), ön ve arka akslara elektrik motoru ile tahrik yapılan paralel hibrit bir aracın tasarımını, optimizasyonunu ve analizlerini yapmışlar, yakıt tüketimini ve NO_x gaz değerlerini en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Araç üzerinde içten yanmalı motor olarak sıkıştırma ile ateşlemeli motor kullanmışlardır. Tasarımı yapılan hibrit elektrikli aracın, sadece ön aksta ve sadece arka aksta elektrik motoru kullanılan araçlar ile karşılaştırılmasını yapmışlardır. Tüm bu işlemlerin yapılabilmesi için paralel hibrit elektrikli aracın modelini oluşturmuşlardır. Hibrit elektrikli araç NEDC, FTP ve daha farklı karakteristiğe sahip sürüş çevrimlerini simülasyon girdisi olarak almışlar ve farklı kullanım şartlarında sonuç elde edebilme imkanı sağlamışlardır. Hibrit elektrikli araç yapıları ile geleneksel araçların maliyetlerinin karşılaştırılması ile birlikte sadece ön aksta EM olduğu yapı 154 000, sadece arka aksta EM olduğu yapı 188 000 ve ön ile arka akslarda EM olduğu yapıda ise 155 000 kilometre yol alındığında avantajlı duruma geçtiğini saptamışlardır. Ön ile arka akslara EM olduğu yapıdaki aracın farklı sürüş çevrimleri ile elde edilen sonuçlara göre geleneksel araçlardan %42 daha az yakıt tükettiği ve %40 daha az NO_x emisyon salınımı yaptığı sonucunu elde etmişlerdir [28].

Dawei ve diğerleri (2017), paralel hibrit elektrikli araç için genetik algoritma ile optimize edilmiş bulanık mantık yöntemi ile kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Geliştirilen kontrol stratejisinde motor torku ile ihtiyaç duyulan tahrik torku arasındaki kontrolü, en önemli giriş parametresi olarak almışlardır. İkinci önemli giriş parametresini ise batarya şarj durumu olarak belirlemişlerdir. Bulanık mantık kontrolcüsünün çıkışından ise elektrik motoru ile içten yanmalı motor tork dağılım oran değerlerini almışlardır. Paralel hibrit elektrikli araç deneysel ve matematiksel modellere dayanmakta olup ADVISOR simülasyon programında da doğrulamasını yapmışlardır. Paralel hibrit aracın farklı sürüş koşullarında ve farklı kontrol stratejileri ile kullanımının emisyon ve yakıt tüketim değerlerine etkisini incelemişlerdir. Farklı sürüş koşullarını temsil eden NEDC ve UDDS sürüş çevrimlerini kullanmışlardır. Farklı kontrol stratejisi olarak ise, bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen kontrol stratejisi (A) ile geleneksel kural tabanlı (B) kontrol stratejisinin karşılaştırılmasını yapmışlardır [29].



Şekil 3.3. Bulanık mantık (A) ve kural tabanlı (B) kontrol stratejisinin NEDC ve UDDS sürüş çevrimleri şartlarında araç emisyon değerlerine etkisi [29]

Şekil 3.3’de görüldüğü üzere geliştirilen kontrol stratejisi NO, HC ve CO emisyon değerlerinde ciddi iyileşmeler olduğunu saptamışlardır. Simülasyon sonucunda bulanık mantık (A) ve kural tabanlı (B) kontrol stratejisinde içten yanmalı motor çalışma noktaları Şekil 3.4’te görülmektedir.

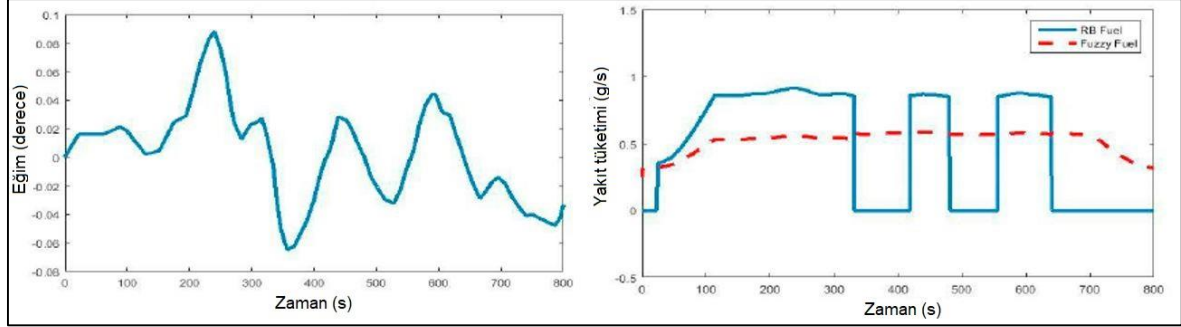


Şekil 3.4. Bulanık mantık (A) ve kural tabanlı (B) kontrol stratejisinde içten yanmalı motor çalışma noktaları [29]

Bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen kontrol algoritması, içten yanmalı motorun çalışma noktalarını, ÖYT değerlerinin daha düşük olduğu noktalara çekerek yakıt tüketiminin önemli derecede azaltılmasını sağlamışlardır [29].

Vijay ve diğerleri (2018), paralel hibrit elektrikli araçlar yapıları ile birlikte kullanılan içten yanmalı ve elektrik motorlarının tork dağılımını optimize ederek, minimum yakıt tüketim değerleri elde etmeyi hedeflemişlerdir. Araç yakıt tüketimine, aracın kalitesi kadar yol şartlarının da önemli rol aldığı noktasına değinmişlerdir. Bu çalışmada, tork dağıtımının optimizasyonu, coğrafi bilgi sistemi haritaları yardımı ile yol bilgisi alınarak yapılmıştır. İçten yanmalı motor torku, elektrik motor torku, batarya şarj durumu (SOC) kısıtlamaları,

sürücü talepleri ve yol şartları baz alınarak bulanık mantık yöntemi ile paralel hibrit elektrikli araca adaptif kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Paralel hibrit aracın kullanıldığı yol profili üzerinde kural tabanlı ve bulanık mantık yöntemi ile geliştirilmiş kontrol stratejisine bağlı anlık yakıt tüketim grafiği Şekil 3.5'te görülmektedir [30].



Şekil 3.5. Paralel hibrit aracın yol profili şartlarında kural tabanlı ve bulanık mantık yöntemi ile geliştirilmiş kontrol stratejisine bağlı anlık yakıt tüketim grafiği [30]

Modeli oluşturulan hibrit elektrikli araç üzerinde, yol eğimine bağlı optimizasyon yapabilme yeteneğine sahip geliştirilen adaptif bulanık mantık yönteminin kullanılması sonucunda yakıt tüketim değerlerinde iyileşme olduğu sonucuna varmışlardır [30].

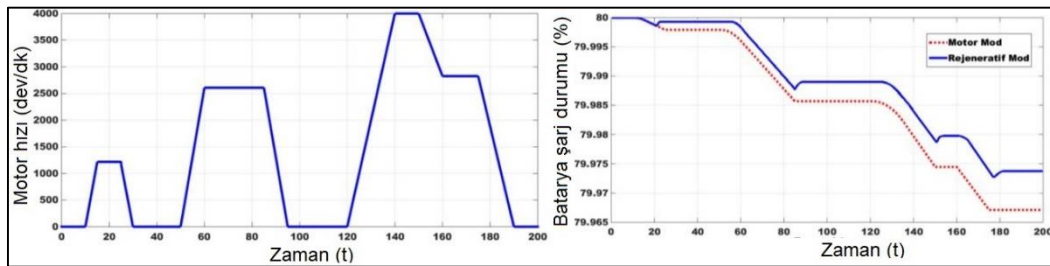
Finesso ve diğerleri (2016), dizel motor kullanılan bir paralel hibrit elektrikli aracın batarya, içten yanmalı motor, elektrik motoru ve kontrolcüsünü modelleyerek yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini minimum değerlere düşürecek kontrol stratejisini geliştirip optimize etmişlerdir. Hibrit araç tasarımında ve maliyet hesaplamasında aracın 10 yıllık yakıt ve elektrik enerji tüketimi, araç bileşenlerinin ilk alım ve bakım maliyetlerini göz önünde bulundurmuşlardır. İçten yanmalı motor olarak 2 farklı motor kullanmış olup, yakıt tüketimine etkisini incelemişler ve iki farklı motor kullanımının aralarında %15,9 oranında fark olduğu görmüşlerdir. Araç üzerinde farklı güç aktarma organlarını kullanarak CO₂ emisyonlarını %31,4 azalırken sistem ilk alım maliyetininin %123 oranında arttığını görmüşlerdir. Hibrit araç üzerinde kullanılan içten yanmalı motor ve güç aktarma sisteminin yakıt tüketimi, emisyon ve ilk alım maliyetlerine etkisinin değerlendirmesini yapmışlardır [28].

Tribioli ve diğerleri (2018), Avrupa'da bir çok ülkenin emisyon standartlarını karşılayamamasından dolayı dizel otomobil kullanımına yasak getirilmiş ve getirilecek olmasından yola çıkarak bu çalışmaya başlamışlardır. Bu çalışmada konvansiyonel dizel yerine, dizel aracın hibritizasyonu ile ilgilenmişlerdir. Dizel hibrit elektrikli aracın partikül

Geometrik dizi yöntemi ile modellenen vites kutusu kullanımının araç yakıt tüketimini düşürdüğü ve daha yüksek tahrik torku sağladığı sonucuna varmışlardır. Prograsif dizi yöntemi ile modellenen vites kutusu kullanımında ise aracın geniş hız aralıklarında kullanımının sağlandığını görmüşlerdir [33].

Yenigün ve diğerleri (2018), elektrikli ve hibrit elektrikli araçlar üzerinde kullanılan yüksek gerilime sahip bataryaların sıcaklık kontrolü ve yönetim sistemleri üzerine araştırma yapıp değerlendirmişlerdir. Yapılan araştırmalarda batarya sıcaklığının $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerine çıktığı durumlarda batarya kapasitesinin ve performansının önemli derecede düştüğünü görmüşlerdir. Araştırma sonucunda hibrit ve elektrikli araçların sıcak ve soğuk iklim koşullarında kullanılması gözetmeksizin, batarya sıcaklığının optimum değerler arasında tutulması gerektiğini ve bunun için ise batarya sıcaklık kontrol biriminin kullanılmasının zorunlu olduğunu kesinleştirmişlerdir. Hava ile soğutmalı ve ısıtmalı sistemlerin hibrit ve elektrikli araçlar üzerinde kullanılabilir olduğunu, fakat sıvı ile soğutma kadar etkili soğutma ve ısıtma yapamadığı sonucuna varmışlardır [34].

Şahin ve diğerleri (2015), elektrikli araçlar üzerinde kullanılan rejeneratif frenin bulanık mantık ve PID kontrolör ile yönetimini sağlamışlardır. Rejeneratif fren sistemi kontrol sistemini, Matlab/Simulink ortamında oluşturdukları araç dinamiği üzerinde ve belirli sürüş çevrimleri şartlarında simule etmişlerdir. Elektrik motoru olarak, 3 fazlı fırçasız DA motoru kullanmışlardır. Çalışma sonucunda 3 fazlı fırçasız DA motorun sadece tahrik ve tahrik + rejeneratif fren modunda kullanımının batarya şarj oranına etkisini incelemişlerdir. Elektrikli motorun tahrik + rejeneratif modda kullanımı, sadece motor modunda kullanımına göre %4,7 daha verimli çalıştığı sonucuna varmışlardır. Simülasyon sonucunda elde ettikleri, belirli bir hız girdisine bağlı, 3 fazlı fırçasız DA motorunun tahrik ve rejeneratif fren modunda batarya doluluk oranı grafiği Şekil 3.7’de görülmektedir [35].



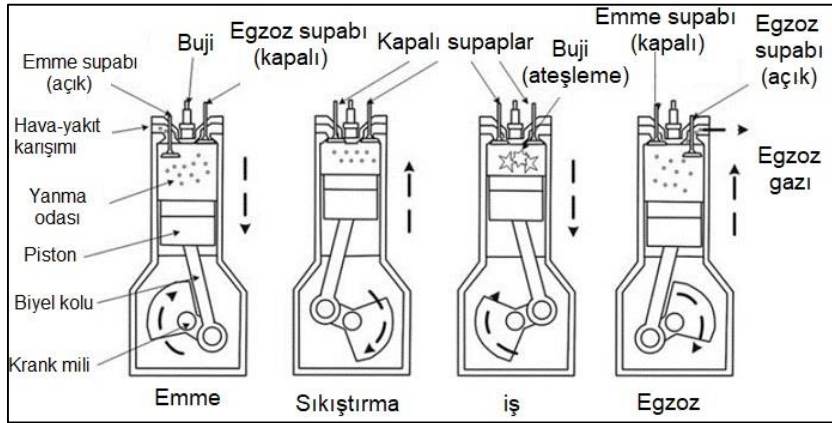
Şekil 3.7. Belirli bir hız girdisine bağlı, 3 fazlı fırçasız DA motoru tahrik ve rejeneratif fren modunda batarya doluluk oranı grafiği [35]

4. PARALEL HİBRİT ARAÇLAR VE MODELLEME ÜZERİNDE KULLANILAN BİLEŞENLER

Paralel hibrit elektrikli araç bir çok bileşen, sistem ve alt sistemlerden oluşmaktadır. Bu bileşen, sistem ve alt sistemlerin araç üzerinde kullanımı, görevleri, çeşitleri ve yapıları hakkında ayrıntılı literatür araştırması yapılmıştır. Her bir bileşen, sistem ve alt sistem ayrı ayrı incelenmiş ve başlıklar halinde sunulmuştur.

4.1. İçten Yanmalı Motorlar

İçten yanmalı motorlar, yakıtın kimyasal enerjisini mekanik harekete çeviren makinalardır. İçten yanmalı motorlar silindir, piston, buji, enjektör, supaplar ve krank mili gibi birçok parçadan oluşmaktadır. İçten yanmalı motorlar çalışma prensiplerine göre iki zamanlı ve dört zamanlı olmak üzere ikiye ayrılmakta olup araçlar üzerinde dört zamanlı motor kullanımı yaygın bir şekilde devam etmektedir. Araç üzerinde kullanılan içten yanmalı motorlar temel olarak benzinli ve dizel motor olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hibrit elektrikli araçlarda ise benzinli motorlar yaygın olarak kullanılmaktadır [14].



Şekil 4.1. Benzinli motora ait bazı parçalar ve dört zaman gösterimi [36]

Benzinli motor şekil 4.1’de görüldüğü üzere emme, sıkıştırma, iş ve egzoz olmak üzere dört zamandan oluşmaktadır. Emme zamanında, yakıt hava karışımı optimum oranda silindir içerisine alınmaktadır. Alınan karışım pistonun alt ölü noktadan üst ölü noktaya geçişi süresince sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan yakıt hava karışımı bujinin ateşlemesi ile yanarak yüksek basınç ve sıcaklık ortaya çıkmakta olup bu sürece iş zamanı adı verilmektedir. Yanan

gazların dışarı atılma işlemine ise egzoz zamanı adı verilmektedir. Dört zamanlı bir motor, krank milinin iki tur dönmesi ile bir çevrim oluşturmaktadır [36].

Benzinli motorların çalışma performansını ve enerji verimliliği gibi kritik noktalarını etkileyen bir çok çalışma parametreleri bulunmaktadır. Volümetrik verim, pistonun emme zamanı süresince aldığı hava miktarının, teorik hesaplamalar sonucu alması gereken hava miktarına oranıdır. Aşırı doldurmaya sahip olmayan motorların volümetrik veriminde sürtünme kayıpları, kaçaklar ve döngü süresinin azlığı gibi durumlardan dolayı düşüklük yaşanmaktadır. Malzeme, üretim ve kontrol teknolojisinin gelişimi ile ilerleyen aşırı doldurma sistemleri ile volümetrik verim değerlerinin artımı sağlanarak motorun daha verimli kullanımı amaçlanmıştır. Mekanik verim, motorun iç sürtünmelerini ve yardımcı aksesuarların çalıştırılması için kullanılan ve krank milinin çıkışında güç olarak alınamayan kayıpları içermektedir [13, 11].

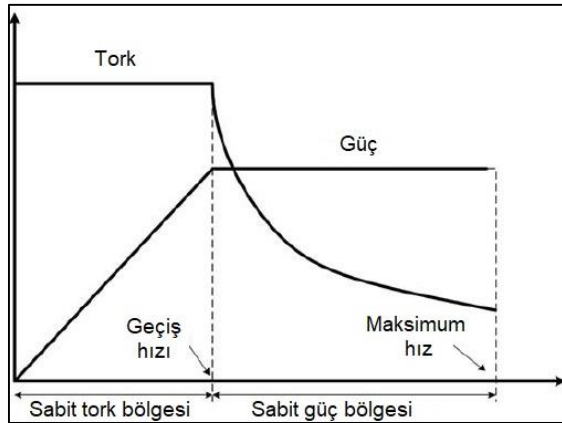
Hava yakıt oranı, silindire alınan havanın yakıt miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Benzinli bir motor için stokiyometrik hava yakıt oranı 14,7 olup hava yakıt oranı bu değerin üzerinde ise fakir karışım, bu değerin altında ise zengin karışım ile yanma olarak tanımlanmaktadır. Fakir karışım ile yanma yakıt tasarrufunu sağlarken, zengin karışım ile yanma motor performansı için önemli bir kriterdir. Motordan alınan efektif gücün motor ağırlığına oranına güç ağırlık oranı, motor hacmine oranına ise güç hacim oranı olarak isimlendirilmektedir. Güç ağırlık ve güç hacim oranlarının düşük olması araç ağırlığının ve ölü hacim kullanımının azaltılması yönünden önemlidir. Bu parametreler bir benzinli motorun performansına ve özgül yakıt tüketimine etki etmektedir. Özgül yakıt tüketimi, bir motorun 1 kWh enerji üretebilmesi için harcadığı yakıt miktarını vermekte olup g/kWh birimi ile ifade edilmektedir. Bir içten yanmalı motorun özgül yakıt tüketimi, motorun tork ve devrine bağlı olup üç boyutlu grafik ile ifade edilmektedir. Tork ve devre bağlı ÖYT grafiği bir motorun farklı koşullarda tüketeceği yakıt miktarının hesaplanabilmesine imkan tanımaktadır [14, 11].

Araç modelleme ve simülasyonlarında içten yanmalı motor modellemenin iki yöntemi bulunmaktadır. Bu yollardan birincisi içten yanmalı motorun matematiksel denklemlerini kullanarak motor çıkış torkunun hesaplanmasıdır. İkinci yöntem ise içten yanmalı motorun farklı tork, devir ve farklı gaz pedal konumlarında deneysel yöntemler ile elde edilmiş grafiklerin kullanılmasıdır. Oluşturulan modelde aracın sadece performansı incelenecek ise tork, devir ve gaz pedal konumunu içeren grafik kullanımı yeterlidir. Oluşturulan modelde araç performansının yanında yakıt tüketim değerleri de incelenecekse tork, devir, özgül yakıt tüketimi

ve gaz pedal konumunu içeren motor haritası bulunması gerekmektedir. İçten yanmalı motorun deneysel yöntemler ile elde edilmiş olan karakteristik haritalar ile oluşturulan model ile alınan sonuçlar, gerçeğe daha yakındır [36, 37].

4.2. Elektrik Motorları

Elektrik motorları, bataryadan aldığı elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirerek aracın hareketi için gereken tahrik torkunu üreten makinalardır. Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda kullanılan motorların bazı önemli özelliklere sahip olması kaçınılmazdır. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarının, sık çalıştırma ve durdurmaya uygun, yüksek güç yoğunluğu, geniş hız aralığı, yüksek verim, güvenilirlik, dayanım ve düşük maliyet gibi özelliklere sahip olması istenmektedir. Araç üzerinde kullanılacak elektrik motorlarının karakteristik özellikleri modeli yapılan aracın güç aktarma sistemi ve kullanım amacına göre değişiklik göstermektedir [14]. Seçilen elektrik motoru araç yapısına, kontrol stratejisine uygun olup kolay kontrol edilebilirliğine dikkat edilmelidir. Elektrik motoru seçiminde dikkat edilecek bir diğer nokta ise rejeneratif frenleme için jeneratör verimin yüksek olmasıdır. Şekil 4.2’de elektrik motorunun temel karakteristik eğrisi görülmektedir.



Şekil 4.2. Anahtarlama relüktans motor tork-devir grafiği [14]

Otomotiv sektöründe kullanılan elektrik motorları doğru akım (DA), asenkron, sürekli mıknatıslı ve anahtarlama relüktans elektrik motoru olmak üzere 4 temel sınıfa ayrılır [38]. Kontrolü kolay olması nedeni ile yıllardır doğru akım motorları tercih edilirken bir çok avantajı bulunması ve kontrol teknolojisinin gelişmesi ile birlikte alternatif akım motor türevlerinin kullanımında artış gözlemlenmektedir [39]. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarının avantajları Çizelge 4.1’de görülmektedir.

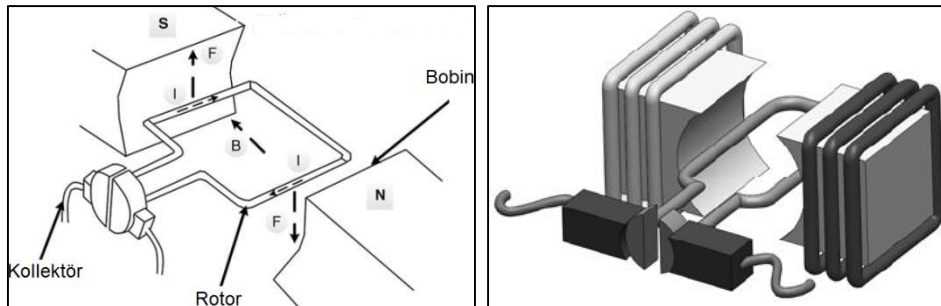
Çizelge 4.1. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarının avantaj ve dezavantajları [40]

Teknik özellikler	DC motor	Asenkron motor	Rotor sargılı senkron motor	Sabit mıknatıslı senkron motor	Anahtarlama relüktans motor
Tork	+	-	-	++	+
Verim	-	-	(+/-)	++	+
Maksimum hız	-	(+/-)	-	(+/-)	+
Soğuma	-	-	(+/-)	+	+
Güvenirlilik	-	+	-	+	+
Ekonomik potansiyel	+	++	-	-	+

İnvertörler hibrit ve elektrikli araçlarda, araca tahrik sağlayan elektrik motorunun tahrik ve rejeneratif frenleme modunda kontrolünü sağlamaktadır. Araç üzerinde kullanılan elektrik motorunun AA akım veya DA ile çalışması mümkündür. Araç batarya paketinde doğru akım enerjisi depolanmaktadır. DA ile çalışan motorlarda motor sürücüler elektrik motorunun hızını ve voltajını ayarlamakta olup AA ile çalışan motorlarda akımın doğru akımdan alternatif akıma çevirme işlemini de gerçekleştirmektedir. Elektrikli ve hibrit araçlar üzerinde AA motorları kullanımının motor sürücülerinin yeterince gelişmemesinden kaynaklı yaygın kullanımı bulunmamakta olup güç elektroniğinin gelişmesi ile AA motor sürücülerinin de kullanıldığı görülmektedir. Günümüzde AA ve DA akım motor sürücülerinin veriminin %95 seviyelerinin üzerinde olduğu bilinmektedir [41, 42].

4.2.1. Doğru akım motorları

Doğru akım motorları, beslendiği doğru akım ile güç üreten elektrik makinalarıdır. Piyasada bulunan doğru akım motorlarının çoğu rotor, stator, kollektör ve fırçalardan oluşmaktadır [14]. Rotor alan sargısı üzerinden elektrik akımının geçirilmesi ile manyetik alan oluşturarak mekanik güç üretimini sağlar. Fırçalar ile kollektör, rotor sargılarına gönderilen akıma geçiş sağlamakla görevlidir. Bir doğru akım motorunun gösterimi Şekil 4.3’de görülmektedir.

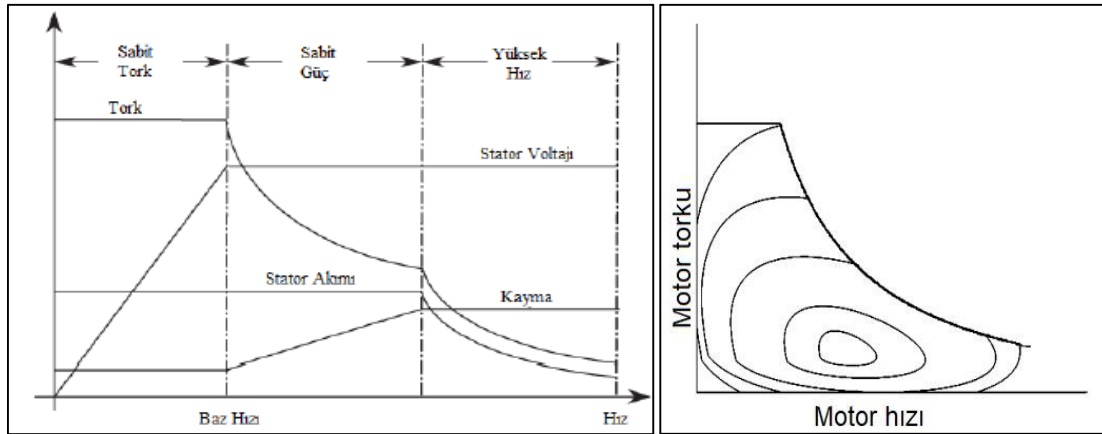


Şekil 4.3. Doğru akım motor şematik gösterimi [40, 43]

Doğru akım motorları güç elektroniğinin gelişiminden önce, kolay ve uygun maliyetli sistemler ile kontrol edilebilirliği sayesinde yaygın olarak tercih edilmiştir [14]. Doğru akım motorlarının bu avantajına karşı birçok dezavantajı bulunmaktadır. Bu motorların güç yoğunluğu düşük, güvenilirliği az ve fırçaların sürekli değişmesi gerektiği için yüksek bakım maliyetleri gibi dezavantajları bulunmaktadır. Doğru akım motorları günümüzde düşük ve orta güç gerektiren araçlarda kullanımını sürdürülmektedir [43].

4.2.2. Asenkron motorları

Asenkron motorlar yüksek güç gerektiren alanlarda, özellikle seri hibrit ve elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [38]. Asenkron motorlar diğer alternatif akım motorlarına göre daha fazla avantaja ve daha yaygın kullanıma sahiptir [39]. Asenkron motorların en temel avantajı basitliğidir. Basit yapıları ve yaygın kullanımı nedeni ile geniş üretim alanı bulunmakta, bununla beraber uygun maliyetlerde satışa sunulabilmektedir. Tüm bu avantajların yanında düşük bakım maliyetleri ve yüksek güç yoğunlukları da eklenmektedir [43]. Şekil 4.4’de bir asenkron motorun karakteristik özelliklerini taşıyan tork devir ve verim alan grafikleri görülmektedir.

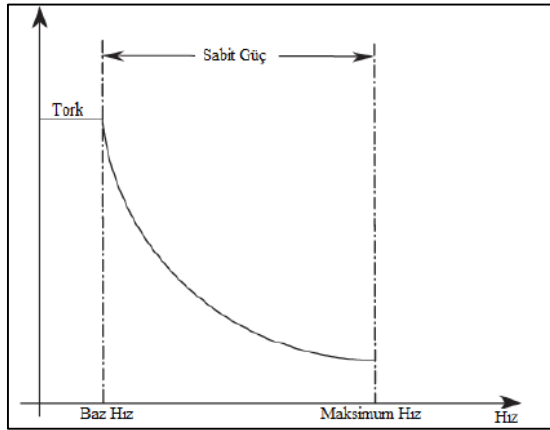


Şekil 4.4. Asenkron motor tork-devir ve verim alan grafiği [39]

4.2.3. Anahtarlamalı relüktans motorlar

Anahtarlamalı relüktans motorlar, stator faz akımının rotor konumuna bağlı olarak değiştirilmesi ve yüksek hızlarda verimli çalışabilecek şekilde tasarlanması dışında yapısal olarak step motorlara benzemektedir [38]. Bu motorlarda sabit mıknatıs ve fırça bulunmadığı

için yüksek hızlarda manyetik alan kayıpları yaşanmamakta ve bakım gereksinimleri daha az olmaktadır [39]. Anahtarlama relüktans motorların sabit güç hız aralığı oldukça yüksektir. Bu elektrik motorunun yapısı basit, sağlam ve uygun maliyette olmasına karşılık yüksek gürültüye sahiptir. Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanımı için geliştirmeler beklenmektedir [38]. Bir anahtarlama relüktans motor tork-devir grafiğinin alanları Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5. Anahtarlama relüktans motor tork-devir grafiği [39]

4.2.4. Sürekli mıknatıslı senkron motor

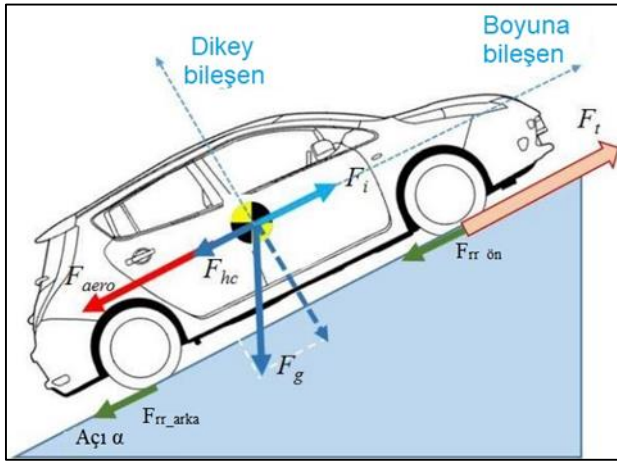
Sürekli mıknatıslı senkron motorlarda manyetik alan, kalıcı mıknatıslar ile oluşturulmaktadır. Böylece bu elektrik motorunda motor gücü kalıcı mıknatısın boyutu ile sınırlandırılmıştır [44]. Rotor hızı sadece stator alanı frekansının değişimi ile kontrol edilebilmektedir [38]. Sürekli mıknatıslı senkron motorlar, indüksiyon motorlarının en büyük rakibi olup paralel hibrit araçlarda sıklıkla tercih edilmektedir [39].

Sürekli mıknatıslı senkron motorların verimi ve güç yoğunluğu oldukça yüksektir. Gürültü, titreşim, bakım onarım maliyeti düşük olup kontrolü diğer senkron motorlara göre nispeten daha kolaydır [38].

4.3. Araca Etki Eden Direnç Kuvvetleri

Araç, hareketi süresince farklı sebeplerden dolayı direnç kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu direnç kuvvetleri aracın hareketine karşı bir kuvvet oluşturmaktadır. Araç güç sistemi,

araca etki eden direnç kuvvetlerinin üzerinde bir tork üreterek aracın ivmelenmesini sağlamaktadır. Araca etkiyen direnç kuvvetleri arttıkça aracın tahriki için gerekecek olan kuvvet artmakta ve bununla beraber enerji tüketiminde de ciddi seviyede artışlar gözlemlenmektedir. Bir araç, seyiri süresince aerodinamik, yuvarlanma, ivmelenme ve yokuş direnç kuvvetine maruz kalmaktadır. Şekil 4.6’da bir araca etki eden direnç kuvvetleri görülmektedir [45].

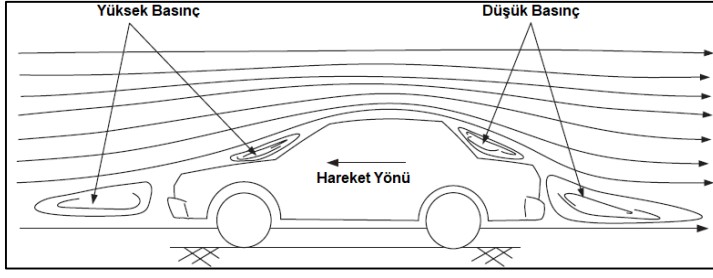


Şekil 4.6. Araca etki eden direnç kuvvetleri [45]

Bir araca etki eden aerodinamik, yuvarlanma, ivmelenme ve yokuş direnç kuvvetleri başlıklar altında incelenmektedir.

4.3.1. Aerodinamik direnç kuvveti

Aerodinamik direnç, katı bir cismin hareketi süresince hava ile etkileşiminden dolayı meydana gelmektedir. Aerodinamik direnç kuvvetinin oluşumu, aracın ön ile arka kısmında oluşan basınç farkından ve yüzeylerde oluşan sürtünmeden kaynaklıdır. Aracın hareketi esnasında aracın ön kısmında basınç yükselmesi, arka kısmında ise basınç azalması görülmektedir. Bu basınç farkından dolayı araç, hava tarafından önden arkaya doğru itilmeye zorlanmaktadır. Araç üzerinde oluşan basınç farklılıkları Şekil 4.7’de görülmektedir. Aerodinamik direncin ikinci oluşum nedeni ise araç yüzeyinde oluşan sürtünmedir [11]. Bu iki ana nedene ek olarak aerodinamik direnç oluşumu sebeplerinden birisi de araç önünde bulunan radyatör ve havalandırma kanallarında oluşan hava akımıdır [46].



Şekil 4.7. Aracın hareketi esnasında hava akışından dolayı ön ve arkasında oluşan basınç farklılıkları [11]

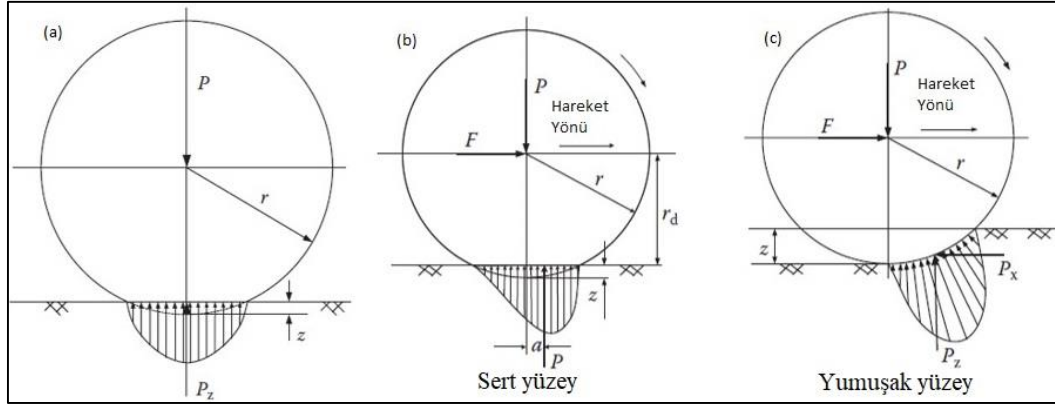
Araç üzerine etki eden direnç kuvveti değerinin hesaplanması deneysel ve teorik yöntemler ile elde edilmiş matematiksel denklem ile sağlanmaktadır. Aerodinamik direnç kuvvetini veren matematiksel denklem Eşitlik 4.1’de verilmiştir [37].

$$F_d = 0.5\rho C_d A_f V^2 \quad (4.1)$$

Aerodinamik direnç kuvveti araçlarda performans, yakıt tüketimi, yol tutuş performansı, çevre kirliliği, gürültü ve konfor parametrelerini önemli derecede etkilemektedir. Aracın aerodinamik özelliklerinin iyileştirmesinin en büyük sebeplerinden birisi aracın yüksek hızlarda seyri süresince ortalama yakıt tüketiminin azaltılmasıdır. Araç parametrelerine bu denli etkisi olan direnç kuvveti önem kazanmış olup üzerine birçok çalışma yapılmaktadır [13].

4.3.2. Yuvarlanma direnç kuvveti

Statik durumda tekerlek yükünün düşey kuvveti, zemin tepki kuvveti ile aynı ekseninde olup birbirini sıfırlamaktadır. Aracın hareketli olduğu durumda ise zemin tepki yükü, tekerleğin önüne düşerek bir basınç farkı yaratmaktadır. Oluşan basınç farkı tekerleğin dönüşüne karşı bir direnç kuvveti oluşturmaktadır. Oluşan bu kuvvete yuvarlanma direnç kuvveti denmektedir. Yumuşak zeminlerde oluşan basınç farkı artmakta ve bununla beraber direnç kuvvetinde de artış gözlemlenmektedir [11]. Şekil 4.8’de bir tekerleğin statik, yumuşak zeminde hareketli ve sert zeminde hareketli durumları görülmektedir. Kullanılan lastiğin cinsi ve basıncı da yuvarlanma direnç kuvvetinin değişimine neden olmaktadır [47].



Şekil 4.8. Tekerleğin statik (a), sert zeminde (b) ve yumuşak zeminde (c) durumu [11]

Bir araca etki eden yuvarlanma direnç katsayısının genel matematiksel denklemi Eşitlik 4.2’de görülmektedir. Eşitlikte bulunan V değeri araç hızını, f_0 ve f_s değerleri lastik basıncına bağlı değişkenlik gösteren deneysel katsayıları ifade etmektedir.

$$F_r = f_0 + f_s \left(\frac{V}{100} \right)^{2.5} \quad (4.2)$$

Asfalt yolda hareketini sürdüren bir binek araca ait yuvarlanma direnç katsayısının belirlenmesi, Eşitlik 4.3’de bulunan formül ile sağlanmaktadır [11].

$$f_r = 0.01 \left(1 + \frac{V}{160} \right) \quad (4.3)$$

Araç sınıfına ve yol şartlarına göre de yuvarlanma direnç katsayılarında önemli farklılıklar görülmektedir. Deneysel çalışmalar ile elde edilmiş ve literatüre geçmiş bazı yuvarlanma direnç katsayıları Çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Farklı araç ve yol şartlarında yuvarlanma direnç kuvveti katsayıları [48]

Yol kaplaması	Yuvarlanma direnç katsayısı
Beton	0,01
Asfalt beton	0,012
Sıkıştırılmış moloz	0,015
Kumlu toprak (gevşek)	0,037
Moloz (gevşek)	0,1
Kum	0,15

Yuvarlanma direnç katsayısı belirlenen bir araca etki eden yuvarlanma direnç kuvvetinin matematiksel denklemi Eşitlik 4.4'te görülmektedir [45].

$$F_a = mgC_r \cos\alpha \quad (4.4)$$

4.3.3. İvme direnç kuvveti

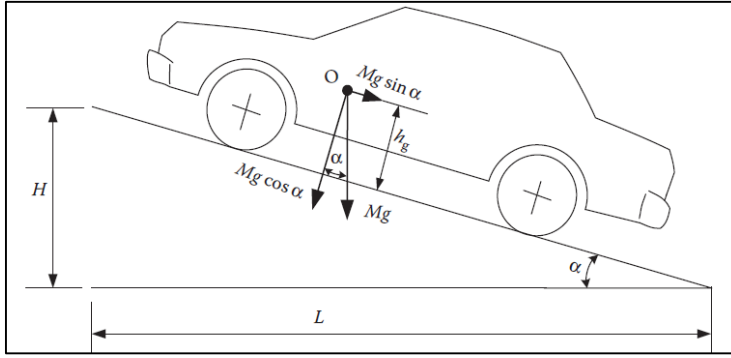
Newton 'nun ikinci yasasına göre duran bir cismin hareket etmesi veya hareketli bir cismin durması sırasında harekete ters yönde bir kuvvet oluşmaktadır. Bir aracın hızlanması ve yavaşlaması esnasında kütesinden dolayı oluşan bu kuvvete direnç kuvveti adı verilmektedir. Bir araca etki eden ivme direnç kuvvetinin hesaplandığı matematiksel denklem, Eşitlik 4.5'te görülmektedir [37].

$$F_a = ma \quad (4.5)$$

Eşitlik üzerinde kullanılan, m değeri araç kütesini, a değeri ise aracın anlık ivme değerini ifade etmektedir. Araç ivme direnci aracın kütesine ve ivmelenme miktarına doğrudan etki etmektedir.

4.3.4. Yokuş direnç kuvveti

Aracın eğimli yol profili üzerinde kullanımı süresince aracın ağırlığından dolayı yokuş direncine maruz kalmaktadır. Yokuş direnç kuvveti değeri aracın ağırlığına ve yokuşun açısına bağlıdır. Şekil 4.9'da eğimli bir yolda duran araca etki eden direnç kuvvetlerinin gösterimi bulunmaktadır. Araca etki eden yokuş direnç kuvvetinin matematiksel denklemi, Eşitlik 4.6'da verilmiştir [37].



Şekil 4.9. Eğimli bir yolda duran araca etkiyen yokuş direnç kuvveti [11]

$$F_y = mg \sin(\alpha) \quad (4.6)$$

Eşitlik üzerinde kullanılan α , yol açısını (derece) ifade etmektedir. Yokuş açısının, yüzde cinsinden yol eğimi olarak ifade edilebilmesi için açı değerinin tanjantının alınması gerekmektedir. Yol eğiminin hesaplanması eşitlik 4.7’de bulunan denklem ile sağlanmaktadır.

$$Eğim(\%) = \tan(\alpha) \cdot 100 \quad (4.7)$$

4.4. Güç Aktarma Organları ve Sistemleri

Paralel hibrit araçlarda elektrik motoru ve içten yanmalı motor tarafından üretilen tork, güç aktarma sistemi ile tekerleklere iletilmektedir. Paralel hibrit araçlarda güç aktarma sistemi vites kutusu, mekanik tork birleştirici, kardana mili, transaks/diferansiyel, aks gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Paralel hibrit araçlarda içten yanmalı motorun tork ve hız ayarının yapılabilmesi için vites kutuları ve elektrik motoru ile içten yanmalı motorda üretilen torkun birleştirilmesi için ise mekanik tork birleştirici kullanılmaktadır.

4.4.1. Vites kutuları

Vites kutusu, aracın farklı yol şartlarında hareketi süresince motorda üretilen tork üzerinde gerekli düzenlemeleri yaparak tekerlere ileten sistemdir [14]. Taşıt üzerinde kullanılacak olan vites kutusu tasarımı veya seçimi enerji verimliliği ve araç performansı açısından önemli bir husustur. Vites kutusu seçimi veya tasarımında her bir vitesin redüksiyon oranı

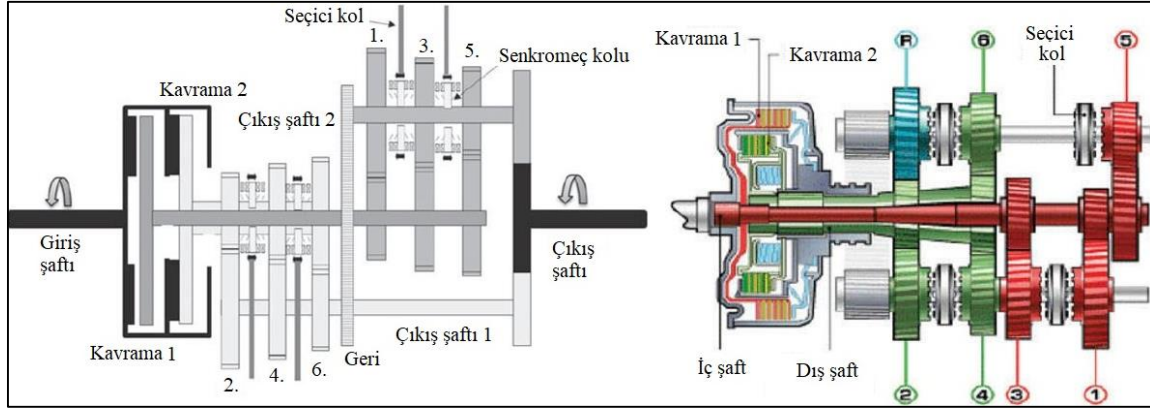
ve bileşke redüksiyon oranı belirlenmelidir. Bu oranların belirlenmesinde araçtan istenen araç maksimum hızı, ivmelenmeyi ve tırmanma performansını farklı yol koşulları için sağlayabilmelidir. Bu kriterlerin yanı sıra, yakıt tüketiminin ve emisyon değerlerinin azaltılması amacı ile vites kutusu veriminin yüksek olması büyük önem taşımaktadır [49]. Günümüz araçlarında vites kutularının manuel ve otomatik gibi farklı çeşitleri kullanılmaktadır. Vites kutuları, aracın farklı sürüş koşulları altında ihtiyaç duyduğu torkun karşılanabilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır [14].

Hibrit araçlarda kullanılan vites kutuları

Hibrit elektrikli araçlarda otomatik vites kutusu kullanılmaktadır. Otomatik şanzımanların birçok çeşidi olup günümüz hibrit araçlarda en çok çift kavramalı şanzıman (DCT) ve sürekli değişken şanzıman (CVT) kullanılmaktadır.

Sürekli değişken (CVT) şanzıman, hareket veriş ve alış kasnağı ile bu hareketin iletimini sağlayan çelik kayıştan oluşmaktadır. CVT şanzıman, redüksiyon değişim hareketi alan ve veren dişlinin çaplarının değiştirilmesi ile sağlamaktadır. CVT şanzımanın minimum ve maksimum redüksiyon oranı olup bu oranlar arasında sonsuz redüksiyon değişimi yapabilmektedir. Bu sebeple aracın farklı sürüş şartlarında, içten yanmalı motorun ideal çalışma noktalarında kullanım sağlanmasına imkân kılabilir.

Çift kavramalı şanzımanlar, iki ayrı kavrama ve iki ayrı dişli milinden oluşan otomatik şanzıman çeşididir. DCT şanzıman yüksek kaliteli malzeme, gelişmiş elektronik devreler, hidrolik sistemler ve gelişmiş bilgisayar kontrolleri sayesinde hızlı ve verimli vites geçişleri ile güç aktarımı sağlamaktadır [50]. Çift kavramalı şanzıman, tork konvertörlü otomatik şanzımanlara göre enerji verimliliği bakımından yüksek avantajlar sağlamaktadır. Dünyanın önde gelen otomotiv üreticileri DCT şanzımana geçiş yapmış olup geliştirilmesi için çalışmalarını sürdürmektedir. DCT şanzımanın yüksek hızda ve verimde güç aktarımı sağlamasına karşın yapısı tam otomatik şanzımanlara göre karmaşık ve ilk üretim maliyetleri fazladır [50].



Şekil 4.10. DCT şanzıman kavrama ve dişli sistemi [11, 51]

DCT şanzımada, içten yanmalı motor ile dişliler arasındaki hareket iletimi ve kesimi hidrolik veya elektrikli servo motorlar sayesinde eş zamanlı kontrol eden çift kavrama ile sağlanmaktadır. DCT şanzımanlarda kuru ve yağ tip olmak üzere iki çeşit kavrama kullanılmaktadır. Her iki kavrama tipi de çok sayıda disk ve plakadan oluşmaktadır. Yaş kavramalar yağ ile beslenmekte olup yağın temel görevi sistemi soğutmaktır. Yaş kavramaların kuru kavramalara göre sürtünme katsayısı biraz düşüktür fakat daha uzun süreli kullanım sağlamaktadır. Yaş kavramaların soğutma probleminin olmamasından dolayı, yüksek tork değerlerine sahip binek, SUV ve özellikle ağır taşıtlarda kullanımı yaygındır [51]. Kuru tip çift kavrama ise genellikle 300 Nm tork altında çalışan binek otomobillerde kullanılmaktadır. Kuru tip kavramada diskler arasında yağ bulunmamasından dolayı sürtünme katsayısı yüksektir. Bu tip kavramanın en büyük dezavantajı soğutmanın etkili yapılamamasıdır [51].

Vites kutusu redüksiyon oranlarının belirlenmesi

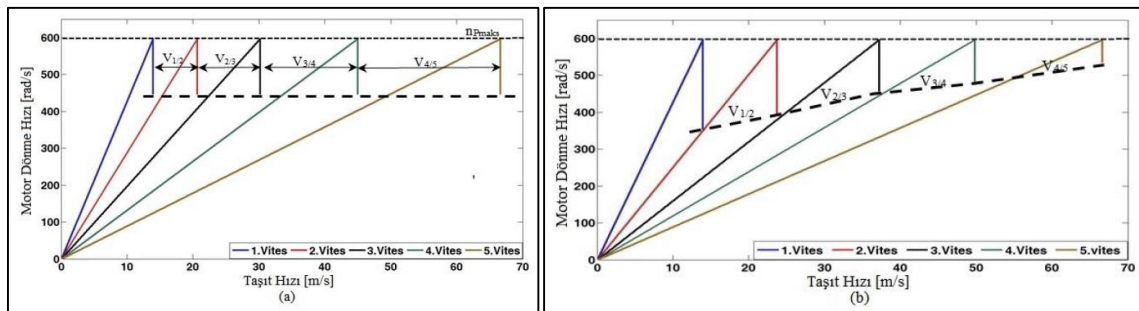
Araç üzerinde kullanılan vites kutusunun minimum ile maksimum vites oranları ve vites aralıkları, içten yanmalı motorun çalışma noktalarını, buna bağlı olarak da yakıt tüketim değerlerini etkilemektedir. Araç üzerinde kullanılacak olan vites kutusuna ait minimum ve maksimum redüksiyon oranlarını veren denklem, Eşitlik 4.8’de görülmektedir. Maksimum redüksiyon oranının hesaplanmasında aracın sabit ve düşük hızlarda hareketi esnasında maksimum yokuş durumlarında kullanıldığı dikkate alınmaktadır [33].

$$i_{\max} = \frac{r_{rw} m_g \left(\frac{180}{\pi} \sin \alpha + \frac{180}{\pi} Cr \cos \alpha \right)}{M_{\max} \eta_T i_{fd}} \quad (4.8)$$

Maksimum redüksiyon oranı, aracın tekerleklerle uygulayabileceği maksimum torkun sağlanacağı birinci vites redüksiyon oranıdır. Maksimum tork aracın tırmanış ve ilk kalkış anında temel ihtiyaç olup aracın yüksek hızlarda kullanımı için son vites oranının da doğru belirlenmesi gerekmektedir. Vites kutusu minimum redüksiyon oranının belirlendiği denklem, Eşitlik 4.9'da verilmektedir [33].

$$i_{\min} = \frac{\omega_{\max} r_w}{V_{\max} i_{fd}} \quad (4.9)$$

Maksimum ve minimum redüksiyon oranlarının bu denklemler ile belirlenmesinin ardından, vites kutusu ara redüksiyon oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde vites kutusu ara redüksiyon oranlarının belirlenmesi için günümüzde geometrik dizi ve progresif dizi metotlarından bahsedilmiştir. Geometrik dizi metodu ile tasarlanan vites kutularında, binek otomobiller için yakıt tüketim değerlerinin daha düşük olduğu literatürde yapılan çalışmalar ile ispatlanmıştır. Şekil 4.11'de geometrik dizi ve progresif dizi ile belirlenmiş vites redüksiyon oranlarını içeren grafik bulunmaktadır.



Şekil 4.11. Geometrik dizi (a) ve progresif dizi (b) metodu ile belirlenmiş beş vitesli dişli kutusu için redüksiyon oranları [33]

Geometrik dizi, ardışık olan terimlerinin oranlarının aynı olması olarak açıklanmaktadır. Bu yöntemin vites kutusu ara redüksiyon oranlarının belirlenmesinde kullanılması durumunda, vites arttıkça daha geniş hız aralığı elde edilip, hız değişimleri eşit olmaktadır. Geometrik dizi metodu ile ara vites oranlarının saptanabilmesi için sabit geometrik dizi katsayısının bulunması

gerekmektedir. Eşitlik 4.10'da geometrik dizi metodu katsayısının hesaplanacağı denklem görülmektedir.

$$C_g = z - 1 \sqrt{\frac{i_{\max}}{i_{\min}}} \quad (4.10)$$

Eşitlikte bulunan C_g geometrik dizi katsayısını ve Z ise araç vites sayısını temsil etmektedir. Eşitlik 4.11'de bulunan k_1 ve k_2 oranı Eşitlik 4.12 ve Eşitlik 4.13'de bulunan denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$z = \frac{\log(k_1)}{\log(k_2)} \quad (4.11)$$

$$k_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad (4.12)$$

$$k_2 = \frac{i_{\max}}{i_{\min}} \quad (4.13)$$

Eşitliklerden elde edilen geometrik dizi katsayısı, vites sayısı ve ara vites redüksiyon oranları Eşitlik 4.14'de elde edilmektedir.

$$i_n = i_z C_g^{(z-n)} \quad (4.14)$$

Eşitlikte bulunan n terim vites değerini belirtmektedir.

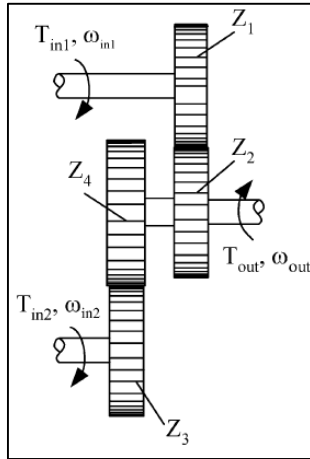
4.4.2. Mekanik tork birleştirici

Paralel hibrit elektrikli araçlarda elektrik motoru ile içten yanmalı motor güçlerinin tek bir çıkış üzerinde toplanabilmesi amacı ile mekanik tork birleştirici kullanılmaktadır. Mekanik tork birleştiriciler literatürde tork kuplörü olarak da bilinmektedir. Tork kuplörünün enerji tasarrufu ve konfor açısından, dişlilerinin yüksek verimde ve sessiz çalışması istenilmektedir. Tork kuplörü, içten yanmalı motordan aldığı hareket ile tekerleklerle tahrik sağladığı gibi elektrik motorunun

jeneratör olarak çalışmasına da imkân sağlamaktadır. Ayrıca aracın rejeneratif fren modunda olması durumunda tork kuplörü ile içten yanmalı motor bağlantısı kavrama ile kesilerek tekerlekten alınan hareketin sadece elektrik motoruna iletimi de sağlanmaktadır [14, 52].

Tahrik edilen bir milin, gereksinime göre dairesel hızını ve torkunu azaltmak veya arttırmak için dişli kutusu adı verilen sistem elemanları kullanılmaktadır. Kullanılan bu sistem elemanı ile dairesel hareket yapan bir milin hızını azaltıp torkunu yükseltmek veya hızını arttırıp torkunu düşürmek mümkündür. Modeli oluşturulan paralel hibrit araçta, elektrik motorunun ürettiği tork ve devir değerleri, kullanılan sabit dişli kutusu ile tek kademeli olarak en uygun değer doğrultusunda düzenlemesi yapılmaktadır. Kullanılan dişli kutusu aracın maksimum hız değeri ve aracın elektrik motoru ile sürüşünde ihtiyacı olan tork değerinin karşılanması için önemli bir kriter olduğu bilinmektedir.

Hareket aktarımının yapıldığı dişlilerin redüksiyon oranları İYM ve EM, vites kutusu ve araç kullanım koşulu ve amaçları doğrultusunda seçilmektedir [25]. Paralel hibrit araç üzerinde kullanılan bir mekanik kuplör Şekil 4.12’ de görülmektedir.



Şekil 4.12. Mekanik dişli tip tork kuplör [52]

Hibrit araç üzerinde kullanılan mekanik tork kuplörünün çıkış torkunun hesaplandığı, İYM ve EM tork girişlerinin, dişli redüksiyonunda etkisi alınarak oluşturulan matematiksel denklem Eşitlik 4.15’de görülmektedir [52].

$$T_{out} = \frac{i_{g2}}{i_{g1}} T_{in1} + \frac{i_{g4}}{i_{g3}} T_{in2} \quad (4.15)$$

Tork kuplörü giriş ve çıkış milleri arasında oluşan hız ilişkileri Eşitlik 4.16'da bulunan denklem ile ifade edilmiştir [52].

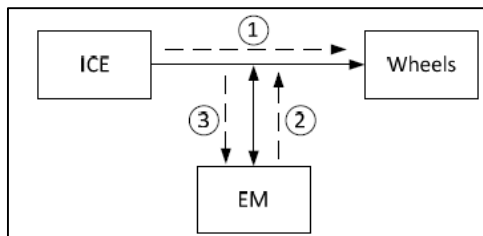
$$\omega_{out} = \frac{i_{g1}}{i_{g2}} \omega_{in1} = \frac{i_{g3}}{i_{g4}} \omega_{in2} \quad (4.16)$$

4.5. Paralel Hibrit Araçta Tork Dağıtımı ve Güç Kontrol Stratejisi

Paralel hibrit araçların doğuşundan günümüze geçen süreçte enerji tüketimini ve emisyon değerlerini düşürmeyi amaçlayan bir çok kontrol stratejisi geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Paralel hibrit araçta tork EM ve İYM tarafından üretilmekte olup, EM araca tahrik sağlayabildiği gibi jeneratör olarakta çalışabilmektedir. Bu bağlamda paralel hibrit aracın beş farklı modda kullanımının kontrolü yapılması gerekmekte olup enerji verimliliğinin maksimum seviyede sağlanabilmesi için optimum kontrol stratejisi geliştirilmesi hedeflenmektedir.

4.5.1. Paralel hibrit araç tork dağıtımı

İYM ve EM tarafından üretilen torklar, mekanik tork kuplöründe farklı yollar ile yönlendirilmektedir. Birinci yönlendirmede İYM torku direk tekerlere iletilmekte, ikinci yönlendirmede tekerlere EM tarafından üretilen tork iletilmekte ve üçüncü yönlendirmede ise İYM tarafından üretilen tork elektrik motoruna iletilerek, elektrik motorunun jeneratör olarak çalışması sağlanmaktadır. Araç güç aktarma sistemine İYM ve EM tarafından farklı tork girdileri sağlanmaktadır. Şekil 4.13'de İYM, EM ve tekerler arasında sağlanan tork hareketleri görülmektedir [52].



Şekil 4.13. Tork dağıtım diyagramı [52]

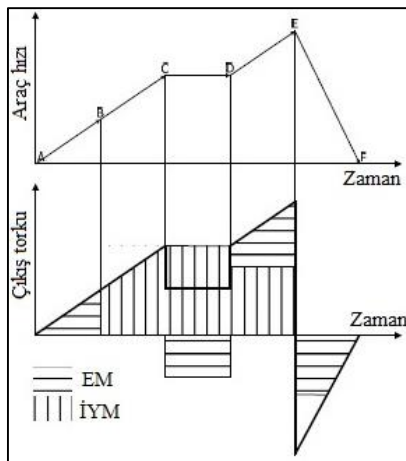
4.5.2. Paralel hibrit araç çalışma modları

Paralel hibrit araçların geliştirilmesinin en önemli amacı enerji verimliliğini arttırmak ve buna bağlı olarak aracın yakıt tüketim ve emisyon değerlerini en aza indirmektir. Paralel hibrit aracın enerji verimliliğini arttırmanın en önemli noktası güç kontrol algoritmasının en iyi şekilde oluşturulup, optimizasyonların yapılmasıdır. Paralel hibrit araçta güç ve enerji kontrolü 5 farklı mod üzerinden gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.14’de bulunan grafikte A-B aralığı yalnız EM ile tahrik, B-C aralığı yalnız İYM ile tahrik, C-D aralığı İYM ile jeneratör tahriki, D-E aralığı hibrit tahrik , E-F aralığı ise rejeneratif frenleme modunu ifade etmektedir [14].

Yalnız içten yanmalı motor ile tahrik modunda, İYM aracın hareketi için gerekli toplam gücü elektrik motoru devre dışı iken yalnız başına üretir. Bu mod, araç seyir halinde iken içten yanmalı motorun optimum çalışma koşulları yakınılarında çalışması durumlarında kullanılmaktadır.

Yalnız elektrik motoru ile tahrik modunda, İYM kapalı iken ve bataryanın dolu olduğu durumlarda aracın yalnızca elektrik motoru ile tahrik edilmesi durumudur. Bu mod, aracın yeni çalışması anında, şehir içi kullanımlarda düşük hızlarda seyir etmesi ve geri viteste kullanım gibi İYM veriminin düşük olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Hibrit modunda, tekerler her iki motor ile tahrik edilmektedir. Bu mod, aracın ani ivmelenmesi veya yüksek hızlarda seyir etmesi gibi durumlarda yani aracın yüksek güçlerde çalışması gerektiği anlarda kullanılmaktadır.



Şekil 4.14. Paralel hibrit araç sürüş modları [52]

İYM tahriki ve bataryanın şarjının sağlandığı modda, İYM aracın hareket etmesi için gerekli olan gücün daha fazlasını üretmektedir. Bu durumda fazla güç ile elektrik motoru tahrik edilip, jeneratör olarak kullanılması ile elektrik motoru bataryaya enerji vermektedir.

Rejeneratif fren modunda, aracın frenleme anında veya yokuş aşağı hareket boyunca boşa harcanan kinetik enerjinin rejeneratif fren sistemi ile geri kazanımı sağlanmaktadır. Paralel hibrit yapı yüksek hızlarda, uzun yol gezi ve seyahatlerde kullanımda verim ve performans artışı sağlamaktadır. Bu yapıda ki bu artış elektrik ve mekanik güç kaynaklarının birbirine geçiş esnekliği tanırken, eş zamanlı olarak çalışması ile gerçekleşmektedir.

4.5.3. Paralel hibrit elektrikli araç araç kontrol yöntemleri

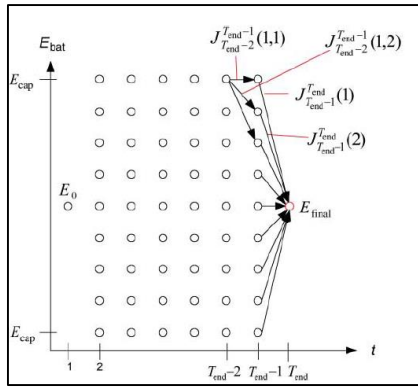
Paralel hibrit araçların kontrol stratejileri optimizasyon ve kural tabanlı olmak üzere iki temel bölüme ayrılmaktadır. Optimizasyon tabanlı kontrol stratejilerinin ise eşdeğer enerji minimizasyonu (EEMY) ve dinamik programlama (DP) olmak üzere iki çeşidi yaygın olarak kullanılmaktadır. Kural tabanlı kontrol stratejisinin farklı sektörlerde farklı çeşitleri kullanımı yaygındır. Kural tabanlı kontrol stratejisinin hibrit araç yapılarında yaygın olarak kullanımında geleneksel ve bulanık mantık yöntemi çeşitleri yer almaktadır.

Eşdeğer enerji minimizasyon yöntemi (EEMY) kontrol algoritması

EEMY kontrol algoritması gerçek zamanlı optimizasyon tabanlı bir yöntemdir [23]. EEMY kontrol stratejisinde anlık optimizasyon yöntemi kullanılarak, sürüşün her anında optimum enerji tüketiminin yakalanması sağlanmaktadır. Böylece tüm sürüş boyunca toplam enerji tüketiminin de optimum seviyede tutulması hedeflenmektedir [22]. Bu yöntemde elektrik motorunun tükettiği enerjinin yakıt cinsinden eşdeğeri belirlenip, içten yanmalı motorun tükettiği yakıt ile toplamı alınarak tek bir yakıt cinsinde birleştirip gerçek zamanlı bir optimizasyon yapılmaktadır [24]. EEMY kontrol yöntemi literatürde sıklıkla kullanılmasına karşın eşdeğer yakıt katsayılarının elde edilmesi için iterasyonlara dayanan kalibrasyon süreçleri bulunmaktadır. Bu nedenle optimum yakıt tüketim sonuçlarının elde edilebilmesi için sürüş koşullarının daha önceden belirlenmiş ve buna uygun eşdeğer yakıt değerinin elde edilmiş olması gerekmektedir. EEMY kontrol yönteminin efektif olarak kullanılabilmesi için farklı sürüş şartları ve yol profillerini kapsayan eşdeğer yakıt katsayısı senaryoları hazırlanıp en uygununu kullanmak gerekmektedir [23].

Dinamik programlama (DP) kontrol algoritması

Dinamik programlama kontrol algoritması global optimizasyon tabanlı bir yöntemdir [23]. Dinamik programlama yöntemi, belirli bir çevrim, sürüş ve yol şartı için optimum enerji tüketimini sağlarken, gerçek zamanlı ve farklı sürüş koşullarında optimum enerji tüketim değerlerini yakalayamamaktadır. DP kontrol algoritmasının mevcut durumda böyle bir problemi olsa da belirli kurallar çerçevesine alınarak verimliliği artırılabilir [24]. Dinamik programlama kontrol algoritmasının en büyük devazantajı ise bilinmeyen sayısı ve kontrol algoritmasına sağlanan girdilerin artması ile birlikte sistem yükünün katlanarak artmasıdır [22].



Şekil 4.15. Dinamik programlama algoritmasının geriye doğru akan prosedür alanı [53]

Dinamik programlamada optimum çözümün bulunması süresince ilk aşamaya gidene kadar sürekli bir önceki basamakta işlem yapılarak, son aşamada optimum değer elde edilir. Bu geriye dönük prosedürün hesaplama yükünü önemli derecede azaltmaktadır. Dinamik programlama algoritmasının geriye dönük akan durum alanı şekil 4.15’de görülmektedir. Dinamik programlama kontrol algoritmasının kullanılabilirliği için tüm sürüş prosedürünün önceden bilinmesi gerekmekte olup gerçek zamanlı kontrollerde kullanımı pek mümkün değildir. Bu sebepten dolayı literatürde dinamik programlama yöntemi gerçek zamanlı kontrol algoritmalarının performans değerlendirmesinde yada daha önce bilinen koşulların çevrimdışı kontrol edilmesinde kullanılır [53].

Bulanık mantık (fuzzy logic) kontrol algoritması

Bulanık mantık teorisi Lotfi Zadeh tarafından klasik küme teorisinin bir uzantısı olarak 1965 yılında ortaya atılmıştır. İnsan beyninin çalışma sisteminin benzetimi çalışmaları sonucunda

ortaya çıkan ve yapay zekânın alt dallarından biri olan bulanık mantık (BM), bulanık küme teorisine dayanan matematiksel bir sistemdir. Bulanık mantık kullanılan kontrol sistemlerinin temelinde, mantıksal ifadeler ve bu mantıksal ifadeler arasında bulunan ilişkiler kullanılmaktadır. Bulanık mantık, sistemin matematiksel modeli çıkarımında gerek kalmadan, sözel değişkenlerin kullanılmasıyla kontrol işlemini gerçekleştirebilmektedir. Günümüzde bulanık mantık elektronik kontrol sistemleri, otomotiv endüstrisi, proses planlama ve ev elektroniği gibi bir çok alanda kullanım alanı bulmuştur [54].

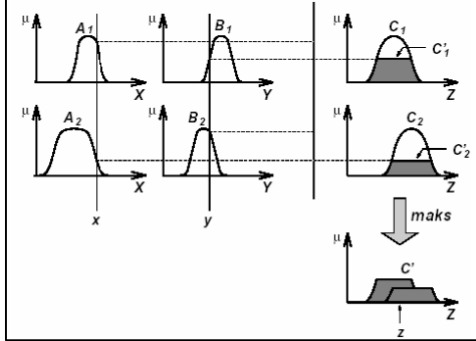
Bulanık mantık kontrol stratejisinin birçok avantajı bulunmaktadır. Bulanık mantık sisteminin matematiksel modeli basit olup, sistem kontrolü için uygulanışı kolaydır. Eksik ve yetersiz verilere rağmen en yakın sonucun elde edilmesine olanak sağlayarak esnek bir yapı sunmaktadır. Karmaşık ve lineer olmayan yapıların kontrolüne imkan kılmaktadır. Bulanık mantık kontrolcüsüne yazılan kurallar doğrultusunda, girdisi yapılan parametreler için en uygun sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Tüm bu avantajlarından ve esnek yapısından dolayı elektrikli ve hibrit elektrikli araçların kontrolünde sıklıkla tercih edilmektedir [55]. Bulanık mantık kontrol yöntemi kural tabanlı olup, elektrikli ve hibrit elektrikli araçlar üzerinde kullanılması durumunda yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini önemli derecede düşürdüğü birçok çalışmada görülmüştür [23]. Bulanık mantık kontrol stratejisi geleneksel, adaptif ve tahmini olmak üzere üç temel grupta incelenmektedir. Geleneksel bulanık mantık yönteminde verimlilik girdi, çıktı ve kurallar doğrultusunda çözümlenerek belirlenir. Adaptif bulanık mantık kontrol stratejisinde ise enerji verimliliğinin yanında yakıt emisyonları da minimize edilmesi sağlanmaktadır. Tahmini bulanık mantık kontrolünde ise araç seyir şartlarının önceden girdisi yapılmış olup, karşılaşılan durumlarda girdisi sağlanan şartlara göre yorumlama yapabilmektedir [55].

Bulanık mantık kontrol modeli oluşturulurken farklı şekillerde fonksiyonlar seçilebilmektedir. Bulanık mantık kontrolcülerinde üçgen, yamuk Gauss eğrisi fonksiyonlarının kullanımı yaygın olarak görülmektedir.

Bulanık mantık Mamdani ve Sugeno olmak üzere iki temel yönteme sahiptir. Mamdani bulanık mantık yöntemi diğer yöntemlerin temelini oluşturmaktadır. Mamdani yönteminde modelin kolay bir şekilde oluşturulabilmesi nedeni ile çok yaygın kullanıma sahiptir. Ayrıca Mamdani yöntemi insan davranışları ve duyularında da uygundur [56]. Mamdani tipi bulanık mantık yöntemi uygulanan x ve y girdisine kurallar uygulanarak z değeri elde edilen sonuç grafiği Şekil 4.16'da görülmektedir.

Kural 1: Eğer $x = A_1$ ve $y = B_1$ İse $z = C_1$

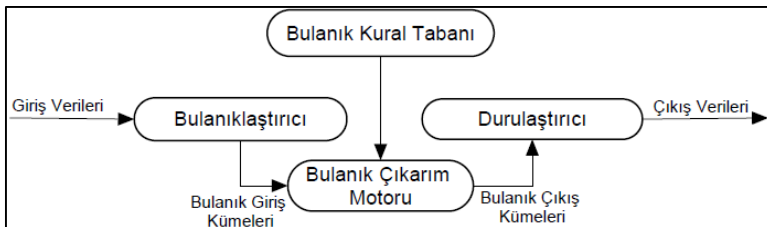
Kural 2: Eğer $x = A_2$ ve $y = B_2$ İse $z = C_2$



Şekil 4.16. Mamdani tipi bulanık mantık kontrolü [56]

Sugeno bulanık mantık yöntemi ise Mamdani yönteminin bir uyarlamasıdır. Girdi parametrelerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri Mamdani yöntemi ile tamamen aynı olup farklılık çıktı üyelik fonksiyonlarındadır. Sugeno bulanık mantık yönteminde elde edilen çıktı değerleri sabit veya lineer değerlerden oluşmaktadır. Sugeno tipi bulanık modelinin matematiksel analiz için uygunluğu, lineer olmayan sistemlerin kontrol edilmesi, çıktı verilerini netliği gibi avantajları bulunmaktadır. Bu avantajların yanında insan sezgilerine uygun olmayışı, yüksek dereceli bulanık modellerde karmaşık bir yapı alması gibi dezavantajları da bulunmaktadır [56].

Bir Sugeno bulanık modeli “Eğer $x = A$ ve $y = B$, İse $z = f(x,y) = px+qy+r (c)$ ” denklemi ile ifade edilmektedir. Girdisi sağlanan x ve y değişkenleri, yazılan kurallar ve bulanık kümeler doğrultusunda z ifadesi olarak sonuçlanmaktadır. Denklemden tanımlanan r, p, q ve r parametreleri mantıksal işlemler anlamına gelmekte ve yazılan kurala bağlı çeşitlilik göstermektedir.



Şekil 4.17. Bulanık mantık kontrol sistemi blok şeması [56]

Bulanık mantık kontrol sisteminde 5 temel unsur vardır. Bu unsurlarında içerisinde bulunduğu bulanık mantık kontrol sistemi blok şeması Şekil 4.17’de görülmektedir. Bulanıklaştırıcı,

kontrol sistemine girdisi yapılan net değerlerin, bulanık değerlere dönüşümünü sağlayıp kural tabanındaki bulanık kümelerde kullanılmaya uygun duruma getirir. Bilgi tabanı birimi, kontrol edilecek olaylara ait girdi değişkenlerini ve bu girdi değişkenler hakkındaki tanımlamaları içerir. Bulanık kural tabanı birimi ise sistemin kontrol stratejisinin belirlendiği bölümdür. Veri tabanında bulunan girdi ve çıktı değerlerinin mantıksal eğer ve ise türünden kuralların yazıldığı kısımdır. Bu kurallarda girdi ve çıktı değerleri arasında oluşturulabilecek tüm bulanık küme bağlantıları dikkate alınır. Bulanık çıkarım motor birimi, kural tanında bulunan giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında oluşturulmuş olan kuralların hepsini değerlendirerek kontrol sisteminin girdi parametreleri için nasıl bir çıktı değeri vereceğini belirler. Durulaştırıcı ise tüm işlemler sonucunda elde edilen bulanık sonuçların, kesin kullanılabilir sayısal çıkış değerlerine dönüştüren bölümdür [57].

4.6. Batarya Çeşitleri, Yönetim ve Soğutma Sistemleri

Hibrit ve elektrikli araç teknolojisinde elektrik enerjisinin depolanması bataryalar tarafından sağlanmaktadır. Bataryalar kimyasal enerjiden elektrik enerjisi üretebilen cihazlardır. Batarya paketleri bir çok hücrenin birleşmesi ile oluşmaktadır. Bir batarya hücresi, pozitif ve negatif elektrot, elektrolit ve elektrotları birbirinden ayırmayı sağlayan seperatör adı verilen ayırıcılardan oluşmaktadır [8].

Hibrit ve elektrikli araç güç sistemlerinde kullanılacak olan bataryalardan bazı özellikler istenmektedir. Bu bataryalardan istenen özellikler şunlardır [58];

- Güç ağırlık ve hacimsel yoğunluğu
- İlk alım ve ömür maliyeti
- Çevrim ömrü ve kullanım süresi
- Güvenliği
- Şarj ve deşarj enerji verimliliği
- Kullanım ve bakım gerekliliği

Günümüzde farklı çalışma voltajı ve enerji yoğunluğuna sahip, elektrikli ve hibrit araçlarda kullanmak üzere bataryalar bulunmakta ve her geçen gün gelişmektedir.

4.6.1. Batarya çeşitleri

Elektrikli araçlarda araç menzili doğrudan belirlemekte olan bataryalar hibrit araçlarda ise yakıt tüketiminin azaltılması konusunda önemli bir paya sahiptir [59]. Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan ve gelişim süreci devam eden bataryalara ait özellikler Çizelge 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar [60]

Batarya tipi	Çalışma sıcaklığı (C°)	Verim (%)	Hacimsel yoğunluk (Wh/L)	Kütlesel yoğunluk (Wh/kg)	Voltaj (V)	Çevrim ömrü
Kurşun-Asit	-30 60	85	50-70	20-40	2,1	200
NiMH	-20 50	80	200	40-60	1,2	<2500
Li-ion	-20 55	93	150-200	100-200	3,6	<2500

Kurşun asit bataryalar (Pb-acid), yüzyılı geçkin bir süredir birçok sektörde bulunan güç sistemlerinde kullanılmaktadır. Uygun maliyetli olması, yüksek deşarj akımı verebilmesi ve bakımının kolay olması bu batarya türünün en önemli avantajlarındandır. Fakat diğer batarya paketlerine göre sınırlı çevrim ömrü, düşük enerji yoğunluğu gibi bağzı dezavantajları bulunmaktadır [58].

Nikel kadmiyum (NiCd) bataryalar, kurşun asit bataryalara göre daha yüksek enerji yoğunluğu, uzun çevrim ömrü ve düşük bakım maliyetleri gibi avantajlarından dolayı günlük kullanım için alternatif bir depolama kaynağı olsada kullanımı çok yaygınlaşmamıştır. Nikel metal hidrat (NiMH) bataryalar, nikel kadmiyum bataryaların dezavantajını düzeltmek amacı ile geliştirilmiştir. Nikel metal hidrat bataryalar, nominal voltaj değerlerinde değişim olmamasına karşın daha yüksek güç yoğunluğuna sahiptir. Nikel metal hidrat bataryalar aşırı şarja maruz bırakıldığında güvenlik sorunu ortaya çıkabilmektedir [61].

Çizelge 4.4. Lityum batarya karakteristik özellikleri [60]

Kısa isimleri	LCO	NLO	LMO	LFP	LTO
İsimler	Lityum Cobalt Oksit	Lityum Nikel Oksit	Lityum Manganez Oksit	Lityum Demir Fosfat	Lityum Titanat
Pozitif elektrot	LiCoO ₂	LiNiO ₂	LiMn ₂ O ₄	LiFePO ₄	LMO, NCA
Hücre voltajı (V)	3,7–3,9	3,6	4	3,3	2,3-2,5
Enerji Yoğ. (Wh/kg)	150	150	120	130	85
Güç	+	0	+	+	++
Güvenlik	-	0	+	+	++
Çevrim ömrü	-	0	0	+	+++

Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan en yaygın kullanılan batarya tipi ise lityum iyon bataryalardır. Lityum iyon bataryaların, 1990'lı yıllarda ticari olarak üretimi gerçekleştirilip, kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. Lityum iyon bataryalar çok yüksek enerji depolama verimliliğine sahip olup diğer batarya teknolojilerine göre daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir [62]. Lityum iyon bataryalar yaklaşık 110-160 Wh/kg enerji yoğunluğuna sahiptir. Lityum bataryaların kimyasal yapılarını iyileştirmek, güvenliğini ve enerji yoğunluğu gibi özelliklerini arttırabilmek için bir çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda özellikle lityum iyon bataryaların elektrot yapısında kullanmak üzere alternatif malzemelerin geliştirilmesi ve maliyet azaltımı üzerine yoğunlaşmıştır [58].

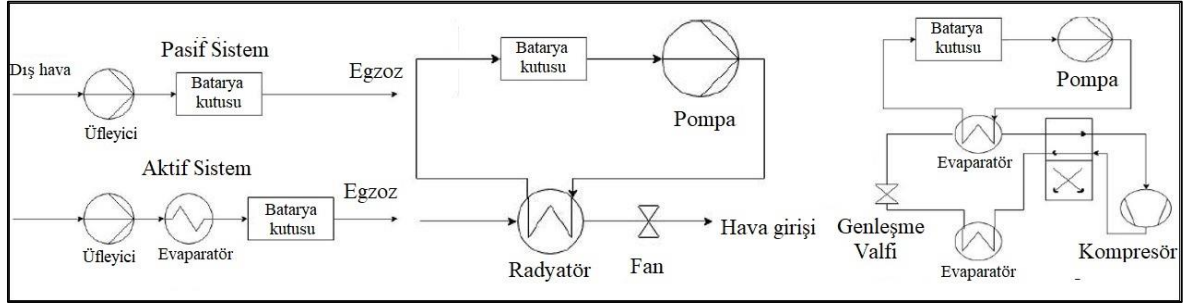
Lityum iyon polimer (LiPo) bataryaların özellikleri lityum iyon batarya özelliklerini yaklaşık olarak taşımaktadır. İki batarya arasında bulunan tek fark elektrolit olarak polimer malzemesinin kullanılmasıdır. Polimer elektrolit meteryalin elektriksel iletkenliği diğer organik sıvı elektrolitlere göre daha yüksektir [59]. Lityum demir fosfat (LiFePO_4) bataryaların pozitif elektrot malzemesi lityum demir fosfat olan lityum bataryalardır. Lityum demir fosfat bataryaların enerji yoğunluğunun, çevrim ömrünün ve güvenilirliğinin yüksek olması nedeni ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu avantajların yanında diğer lityum iyon pillere göre performansı bir miktar düşüktür. Lityum sülfür (Li-S) bataryalarda katot malzemesi olarak sülfür kullanılmaktadır. Lityum sülfür bataryalar yüksek enerji yoğunluğu, yüksek şarj verimi, düşük hücre gerilimi ve ortalama bir çevrim ömrüne sahip lityum tabanlı bataryalardır [61].

4.6.1. Batarya soğutma sistemleri

Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan bataryaların bir diğer değinilmesi gereken noktada batarya sıcaklığının kontrolüdür. Batarya soğutma sisteminin amacı, bataryanın yüksek verimde ve güvenlikte çalışabilmesi için gerekli optimum sıcaklık aralığında tutmaktır. Elektrikli araçlarda batarya sıcaklık kontrol sistemleri hava ve sıvı ile soğutmalı ve ısıtmalı olmak üzere iki temel yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıvı ve hava soğutmalı sistemler kendi aralarında aktif ve pasif olmak üzere iki farklı grupta incelenmektedir [34].

Hava ile soğutmalı sistemlerde giriş havası atmosferden alınabileceği gibi araç kalorifer veya klima sistemindende alınabilmektedir. Şekil 4.18'de hava ile soğutmalı sistemlerin pasif ve aktif olarak iki tip görülmektedir. Hava ile aktif soğutmada maksimum 1 kW hava ile pasif soğutmada ise maksimum 100 W ısı enerjisi bataryadan uzaklaştırılabilmektedir. Elektrikli ve hibrit

araçlardaki pasif soğutma sistemleri hava sıcaklığından doğrudan etkilendiği ve etkili soğutma gerçekleştirememesi ile birlikte batarya performansının ve güvenliğinin azalması bakımından tercih edilmemektedir [34].



Şekil 4.18. Aktif ve pasif hava, pasif sıvı ve aktif sıvı ile batarya soğutma sistemleri [34]

Sıvı ile soğutmalı batarya sıcaklık kontrol sistemleri hava ile soğutmalı sistemlere göre daha etkili soğutma gerçekleştirmektedir. Soğutma sıvısının batarya modülleri ile direk temas ettiği veya koruyucu kılıfından temas ettiği çeşitleri bulunmaktadır. Batarya modülüne direk temas etmesi direkt temaslı sıvı soğutmalı, koruyucu kılıfı ile temas ettiği çeşidi ise endirekt temaslı sıvı soğutmalı olarak literatürde geçmektedir. Direkt temaslı sıvı ile soğutma sistemi daha etkili soğutma gerçekleştirmesine karşın endirekt sıvı ile soğutma gerçekleştiren sistem daha güvenli olup kullanımı daha fazla tercih edilmektedir. Sıvı ile soğutmalı sistemler aktif ve pasif olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Pasif sıvı ile soğutma sistemi sıvı akış pompası, radyatör ve bu radyatöre hava akımının geçmesini sağlayan fan ile oluşmaktadır, ısıtma kabiliyeti olmayıp, ortam sıcaklığından etkilenmektedir. Sıvı ile aktif soğutma sisteminde iki çevrim bulunmaktadır. Birinci çevrimde soğutma sıvısının dolaşımı sağlanır, ikinci çevrimde ise radyatör yerine evaporatör kullanılarak soğutma gerçekleştirilir. Sıvı ile aktif soğutmada sistem çevre sıcaklığından minimum düzeyde etkilenmektedir. Elektrikli ve hibrit araçlarda sıklıkla kullanımı tercih edilmektedir [34].

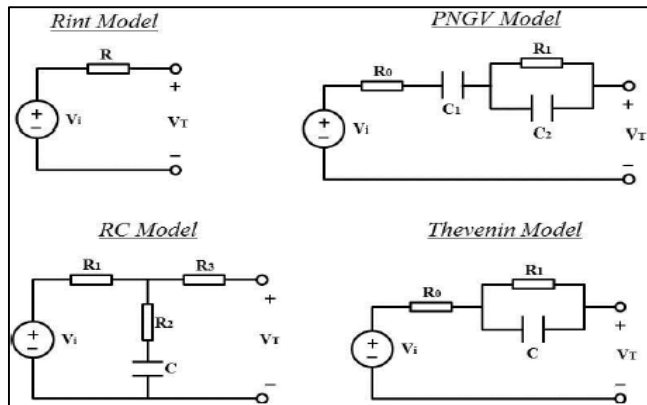
4.6.3. Batarya modelleme çeşitleri

Bataryalar hibrit ve elektrikli araçlar üzerinde araç tahrikini sağlayan elektrik motorunu ve elektrikli alıcıları beslemek üzere kullanılmaktadır. Teknik özellikleri, gerilim değişimi, çalışma sıcaklıkları ve modelleme şekline göre birçok batarya çeşidi bulunmaktadır. Bataryanın şarj durumunu kontrol etmek ve şarj durumuna göre hibrit sistemin kontrolünü yapabilmek için batarya şarj durumunun bilinmesi gerekmektedir [63].

Bataryaların sıcaklık, gerilim ve batarya şarj durumu (SOC) gibi olası çalışma koşullarında batarya karakteristiklerinin belirlenebilmesi amacı ile batarya modeli oluşturulmaktadır. Batarya modellemenin birçok farklı yöntemi vardır. Bu yöntemler arasında analitik (deneysel), istatistiksel, elektrokimyasal (fiziksel) ve elektriksel devre modelleri bulunmaktadır [64].

Analitik model, fiziksel model ve istatistiksel modellerin bir arada kullanılmasıdır. Fiziksel modeli fiziksel eşitlikler yardımı ile oluşturup, modelde yer alan parametre değerleri yapılan deneysel sonuçlar ile belirlenmektedir [65]. İstatistiksel modelleme, parametreleri fiziksel veriler veya matematiksel modeller ile türetmek yerine bilgilerden anlamlı yapılar çıkarmak temeline dayanır. Bu modelleme biçimi kolay ve hızlıdır fakat diğer yöntemlere göre doğruluk seviyesi düşüktür. Doğruluk seviyesinin düşük olmasından dolayı tercih edilmemektedir [61]. Elektrokimyasal devre modelleri bataryanın kimyasal yapısını temel alarak yapılan modelleme tipidir. Bu model en hassas modelleme tipi olup yapısı karmaşık ve zordur. Uygulama zorluğundan dolayı çok tercih edilmemektedir [64].

Elektriksel devre modeli eşdeğer devreler üzerinden oluşturulmaktadır. Eşdeğer devreler ile oluşturulan batarya modeli matematiksel işlemlere de olanak sağlayarak batarya modelinin doğruluk derecesini arttırmaktadır [61]. Araç üzerinde kullanılan güç sistemleri, bataryadan güç kaybı yaşanmaksızın beslenmek isterler. Batarya devre modeli oluşturularak batarya çalışma süresi, şarj durumu tahmini ve optimizasyonu rahatlıkla çözümlenebilmektedir. Elektriksel devre modelleri, batarya ve devre elemanlarının parametre değerleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu parametreler deneysel olarak elde edilebileceği gibi sabit değerlerde kullanılabilir [66]. Elektriksel devre modelinde birçok eşdeğer devre modeli kullanılmaktadır ve bu modeller Şekil 4.19’da verilmektedir.



Şekil 4.19. Eşdeğer devre modelleri [66]

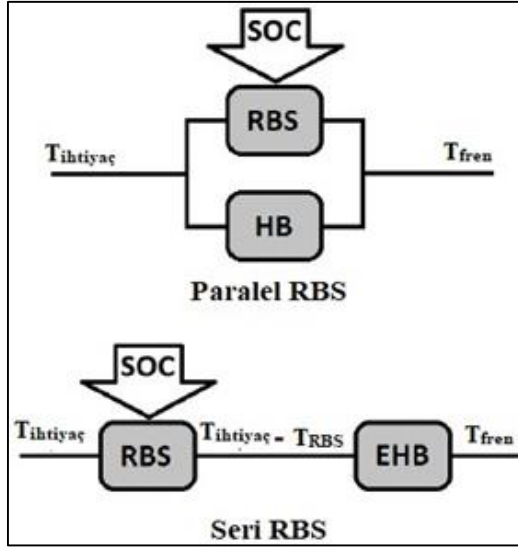
4.7. Rejeneratif Frenleme

Bir otomobilin en önemli kriterleri olan güvenlik faktörünün en etkili parametrelerinden birisi frenleme performansıdır. Frenlemenin, aracı istenilen sürede, aracın dinamik dengesini bozmadan durdurması veya yavaşlatması istenmektedir. Gelişen elektrikli ve hibrit araç teknolojisinde, güvenliğin yanında frenlemenin enerji verimliliğine etkisi de gündeme gelmiştir.

Rejeneratif frenleme, enerji kayıplarını en aza indirgeyerek enerji tüketimini önemsenecek seviyelerde azaltmaktadır. Hibrit araçlarda yakıt tüketimine ciddi tasarruflar sağlarken elektrikli araçlarda ise en büyük problem olan menzil değerlerini arttırmaktadır. Literatürde araç yapısı, sürüş çevrimi ve ortam farklılıklarına bağlı olarak rejeneratif frenlemenin %8 ile %25 değerleri arasında enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir. Aracın özellikle yokuş aşağı kullanımında yüksek enerji tasarrufları sağlanmakla beraber mekanik frenin ısınmasından dolayı oluşan güvenlik risklerinin de daha aza indirgenmektedir [19].

Bilindiği üzere araç hareketli durumda iken kütlesinden dolayı kinetik enerjiye sahiptir. Bu kinetik enerji konvansiyonel araçlarda mekanik fren sistemi üzerinden ısı enerjisine dönüştürülerek atmosfere atılmaktadır. Fakat elektrikli ve hibrit araç teknolojisinde rejeneratif fren kullanımı ile bu frenleme kayıpları en aza indirgenmektedir. Rejeneratif frenleme aracın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürülerek, araç üzerinde tekrar kullanılması veya bataryada depolanması sağlanmaktadır [17].

Araç üzerinde rejeneratif frenlemenin tek aksta kullanılması durumunda araç dinamik dengesinin bozulması, manevra kabiliyetinin azalması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle tek akstan tahrik edilen araçlarda rejeneratif fren sisteminin mekanik fren sistemi ile birlikte çalışması kaçınılmazdır. Mekanik ve rejeneratif frenin beraber çalışması durumu hibrit fren sistemi olarakta adlandırılmakta ve iki çeşiti bulunmaktadır. Paralel ve seri hibrit fren sistemi şeması Şekil 4.20’de görülmektedir [67].



Şekil 4.20. Hibrit (Rejeneratif + Mekanik) fren sistemi [67]

Paralel ve seri hibrit fren sisteminin ikisinde de rejeneratif fren sayesinde enerji kazanımı sağlanmaktadır. Paralel hibrit fren sistemi konvansiyonel fren sistemine benzemektedir. Bu fren sisteminin kontrolü kolay olup, enerji verimliliği açısından çok etkili değildir. Seri hibrit fren sisteminde ise rejeneratif frenlemenin maksimumu kullanılmakta, frenleme gücünün eksik kalan kısmı mekanik fren ile sağlanmaktadır [67].

Paralel hibrit araç üzerinde hibrit (rejeneratif ve mekanik) fren sistemi kullanılmaktadır. Hibrit fren sisteminin kontrol algoritması frenlemeden geri kazanılacak enerjinin verimliliği açısından önemli bir yer kaplamaktadır. Kontrol algoritmasında rejeneratif frenlemenin etkin şekilde kullanımı, araç güvenliğinin tehlikeye atılmaması koşulu ile maksimum seviyede kullanılması hedeflenmektedir. Rejeneratif fren kullanımının kontrolü 4 temel kurala dayanmaktadır. Rejeneratif fren kuralları Çizelge 4.5’de görülmektedir. Bu temel kurallar fren pedalına basılma ivmesi, fren pedalı konumu, Batarya doluluk durumu ve araç hızıdır.

Çizelge 4.5. Rejeneratif fren kontrol kuralları [68]

Rejeneratif frenleme modu
Güç girdisi < Maksimum İYM gücü
Hız girdisi < gerçek hız
Gaz kelebeği açıklığı = %0
Fren pedal konumu > %5
Araç hızı > 16 km/h

4.7.1. Fren pedalına basılma ivmesi

Fren pedalı ivmesi, sürücünün araçtan istediği frenleme ihtiyacının belirlenmesinin bir faktörüdür. Fren pedal ivmesinin büyük olması şoförün daha kısa sürede aracı durdurmak istemesi anlamına gelmektedir. Bu durumda rejeneratif frenlemeye mekanik fren ile destek verilmektedir. Pedal ivmesinin orta seviyelerde olması rejeneratif fren kullanımını bir miktar daha arttırmaktadır. Fren pedalı ivmesinin düşük olması ise bu parametre için frenlemenin tamamen rejeneratif olarak yapılması anlamına gelmektedir. Hibrit veya elektrikli araç kullanımında fren pedal ivmesinin mümkün olduğunda düşük seviyelerde tutulması enerji verimliliği açısından önemli bir parametredir [19].

4.7.2. Fren pedalı konumu

Fren pedal konumu frenleme kuvvetini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Fren pedal konumu rejeneratif fren ve mekanik fren ihtiyacının tümünün belirlenmesinde kullanılmaktadır. Fren konumunun düşük ve orta seviyelerde olması durumunda rejeneratif fren etkin seviyelerde kullanılmaktadır. Fren konumunun yüksek basılı olduğu durumlarda ise yüksek frenleme kuvvetine ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Elektrik motorunun müsaade ettiği maksimum fren kuvveti rejeneratif frenleme ile sağlanmakta, gerekli olan fazla kuvvet ise mekanik fren ile sağlanmaktadır.

4.7.3. Batarya doluluk oranı

Hibrit ve elektrikli araçlar üzerinde kullanılan ve aracın enerji ihtiyacını sağlayan bataryaların enerji doluluk oranına bağlı olarak iç dirençlerinde değişimler gözlemlenmektedir. Batarya şarj durumunun %10 oranından az ve %90 oranından fazla olduğu durumlarda batarya iç direncinde yüksek seviyelerde değişimler gözlemlenmektedir. Bu değişimler batarya verimini ve fazla ısınmadan dolayı güvenliği doğrudan etkilemektedir. Batarya şarj seviyesi bu oranlar dışında ise rejeneratif frenlemenin düşük tutulması istenmektedir. Batarya şarj durumunun %10 ile %90 oranları arasında olduğu durumda ise rejeneratif frenleme bu parametre için maksimumda tutulmaktadır [19].

4.7.4. Aracın anlık hızı

Aracın frenleme anında ki hız bilgisi de frenleme anında ki güvenliğin sağlanmasında önemli bir faktördür. Rejeneratif frenleme aracın yavaş olduğu durumlarda çok etkili bir fren kuvveti sağlayamamaktadır. Araç hızının düşük olduğu durumlarda rejeneratif frenleme, fren güvenliği açısından düşük tutulmaktadır. Araç hızının orta olduğu durumlarda rejeneratif frenleme orta seviyelerde tutulurken, araç hızının yüksek olduğu durumlarda ise rejeneratif frenleme bu parametre için maksimum seviyede tutulmaktadır [35].

4.7.5. Batarya şarj akımı

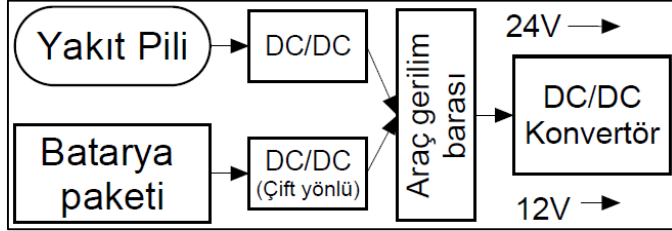
Rejeneratif frenleme esnasında tekerleklerden alınan tork elektrik motoruna iletilmektedir. Elektrik motoru rejeneratif fren tork kapasitesi kadar jeneratör olarak kullanılabilir. Fakat yüksek negatif ivmelenmelerde üretilen enerjinin akımı, batarya şarj akımını aşması durumları ortaya çıkabilmektedir. Oluşan yüksek akım batarya paketine zarar vererek tehlike oluşturabildiği gibi batarya ömrünü de azaltmaktadır [69]. Bu bağlamda rejeneratif frenleme esnasında akım kontrolü yapılması gerekmektedir. Yapılan akım kontrolünün rejeneratif frene etkisi bu çalışmaya dâhil edilmiştir.

Bilindiği üzere hibrit ve elektrikli araçlarda rejeneratif frenleme, araç üzerinde ekstra bir elektrik motoru kullanılmıyor ise çekiş sağlanan akslar üzerinden sağlanabilmektedir. Diğer aksta ise konvansiyonel yöntemler ile frenleme gerçekleşmektedir. Modeli oluşturulan paralel hibrit araç için rejeneratif frenleme ile elde edilen enerjinin belirlenebilmesi için rejeneratif frenleme katsayısı hesaplanmıştır. Rejeneratif fren katsayısı ön aks tarafından uygulanan frenleme gücü oranı ile rejeneratif fren kontrol kurallarını oluşturan 4 parametre esas alınarak hesaplanmaktadır.

4.8. Konvertörler ve Hibrit Araç Yardımcı Sistemleri

Hibrit ve elektrikli araçlarda motor tarafından üretilen veya bataryada bulunan enerji yalnızca aracın tahriki için değil, araç üzerinde kullanılan farklı gerilim ve güçlerde çeşitleri bulunan yardımcı sistemlerin çalıştırılması için de kullanılmaktadır. Hibrit ve elektrikli araçlarda farklı gerilim seviyelerinde (300-600V) bulunan enerji kaynakları ile farklı gerilimlerde çalışan yardımcı sistemlerin (12V, 24V) çalıştırılmasını sağlamak amacı ile

dönüştürücüler (konverter) kullanılmaktadır. Bir elektrikli veya hibrit araçlarda kullanılan konvertör kullanımının şematik gösterimi Şekil 4.21’de görülmektedir [70, 46].



Şekil 4.21. Hibrit ve yakıt pilli araç konvertör kullanımı şematik gösterimi [70]

Hibrit araç üzerinde enerji tüketimi sağlayan birçok yardımcı alt sistem bulunmaktadır. Hibrit araçta motorun ilk harekete geçmesi, aydınlatma grubu, ABS/ESP kontrolü, hidrolik/elektrikli direksiyon, müzik sistemi, korna, araç kontrol sistemleri, invertör, ısıtma ve iklimlendirme gibi sistemler de enerji tüketimine neden olmaktadır. Araç üzerinde kullanılan klima sistemi kullanıma ve hava şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmekle birlikte 2-3 kW civarı güç tüketebilmektedir. Araç elektrikli aksesuarlarına örnek verilecek olursa araç kontrol ünitesi yaklaşık 50 W, silecek 80 W, sis lambası 100 W, farlar 125 W, radyo 150 W ve cam ısıtıcısı yaklaşık 600W güce sahip olabilmektedir. Araç üzerinde bulunan yardımcı sistemlerin güçleri ve çalışma sürelerinin bilinmesi ile tükettiği enerji miktarları hesaplanabilmektedir. Eşitlik 4.17’de araç yardımcı sistemlerin tükettiği enerjinin hesaplanmasını sağlayan denklem bulunmaktadır [46].

$$E_{aux} = \int_t P_{aux} dt \quad (4.17)$$

Hibrit ve elektrikli araçlar üzerinde kullanılan yüksek gerilim bataryaları doğru akım enerjisi depolamaktadır. Araç üzerinde kullanılan yardımcı sistemlerin çoğu doğru akım ile çalışmakta olup nadirde olsa alternatif akım ile çalışan sistemlerde bulunmaktadır. Bu nedenle hibrit ve elektrikli araçlar üzerinde yüksek gerilimli doğru akımı, alçak yardımcı aksesuar gerilimlerine çevirebilmek için DA-DA (doğru akımdan doğru akıma çeviren) dönüştürücüler, alternatif akıma çevirebilmek için ise DA-AA (doğru akımdan alternatif akıma çeviren) dönüştürücüler kullanılmaktadır [14].

4.9. Sürüş Çevrimleri

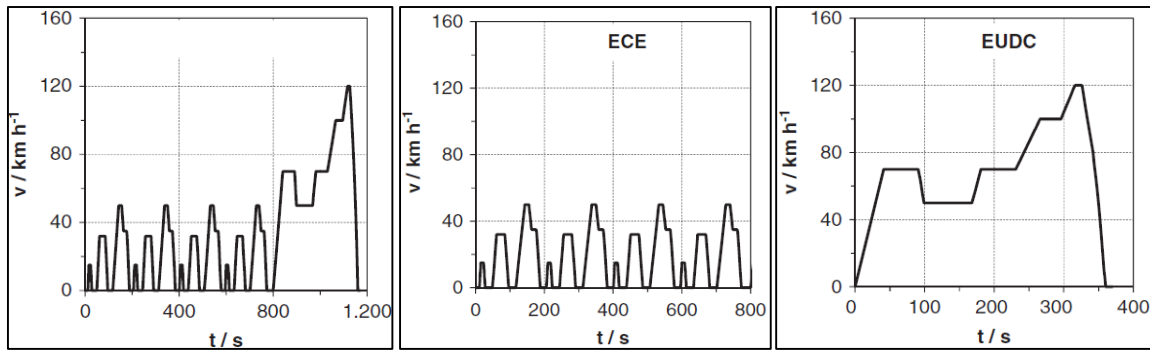
Bir araca ait yakıt tüketim ve emisyon değerlerinin belirlenebilmesi, değerlendirilebilmesi için oluşturulmuş ve standartlaştırılmış, zamana bağlı hız profillerine, sürüş çevrimi denmektedir. Dünya çapında standartlaştırılmış bir çok sürüş çevrim modeli bulunmaktadır. Genel olarak Japonya'da JC09, Avrupa'da şehir içi (ECE) ve şehir dışı (EUDC) sürüş profillerini kapsayan NEDC, Amerika'da Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından US06, FTP 75 gibi sürüş çevrimleri kullanılmaktadır [71]. Ülkemizde ise literatürde bulunan yüksek lisans tezi kapsamında İstanbul ve Konya sürüş çevrimlerinin çalışmaları yapılmıştır [72, 73].

Sürüş çevrimleri aracın kullanımının gerçekleşeceği trafik koşullarını temsil etmektedir. Sürüş çevrimlerin oluşturulması teorik veya deneysel yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. Sürüş çevrimlerinin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerde hız zaman grafiğinin ivmelenme, maksimum hız, sabit hızda sürüş ve ortalama sürüş hızı gibi parametreler dikkate alınmaktadır. Deneysel yollar ile oluşturulan sürüş çevrimlerinde sürüş verileri, araç içine yerleştirilen deney cihazlarından alınabildiği gibi, araç takip sistemlerinden de alınabilmektedir. Sürüş çevriminin doğruluğunun artırılabilmesi için aracın sürüşünü gerçekleştirildiği rota, sürüş günü ve sürüş saati ve alınan örnekleme miktarının yeterli olması önemli bir kriterdir. Elde edilen veriler analiz edilerek nihai sürüş çevrimi elde edilmektedir. NEDC sürüş çevrimi teorik yöntemler ile oluşturulmuş olup, FTP 75 sürüş çevrimi deneysel yollar ile oluşturulmuştur. Ülkemiz sınırlarında oluşturulan İstanbul ve Konya sürüş çevrimleri ise deneysel yöntemler ile oluşturulmuştur [72, 73]. Teorik ve deneysel yollar ile elde edilmiş farklı ülke ve kıtalara ait sürüş çevrimlerinin karakteristik özellikleri Çizelge 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.6. Farklı Sürüş çevrimlerinin karakteristik özellikleri [71, 72, 73]

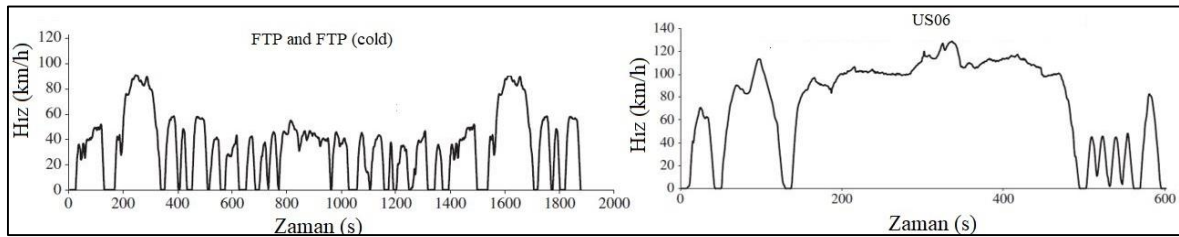
Sürüş çevrimi	Toplam mesafe (km)	Zaman (s)	Ortalama hız (km/h)	Maksimum hız (km/h)
US06	12,82	596	77,39	127
FTP	17,66	1874	33,76	90
NEDC	11,02	1180	33,6	120
EUDC	7,02	400	63,18	120
ECE-15	4	780	18,7	50
UDDS	11,92	1369	31,34	90
İstanbul	8	1003	30,09	78
Konya	18,13	2000	32064	82,9

Avrupa’da binek otomobillerin emisyon standartlarına uygunluğunun belirlenebilmesi için, araç NEDC sürüş çevrimi hızlarında sürüşünü sağlaması gerekmektedir. NEDC sürüş çevrimi ülkemizde binek araçların yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinin belirlenmesi amacı ile yaygın olarak kullanılmakta ve araç kataloglarında yer almaktadır. NEDC sürüş çevrimi ECE-15 ve şehir dışı EUDC sürüş çevrimi olmak üzere iki farklı çevrimin tekrarlanması ile oluşmaktadır [73] . ECE-15 sürüş çevrimi aracın şehir içi kullanımını, EUDC sürüş çevrimi ise aracın şehirler arası yolda kullanımını temsil etmektedir. NEDC, ECE-15 ve EUDC sürüş çevrimleri Şekil 4.22’de görülmektedir.



Şekil 4.22. NEDC, ECE ve EUDC sürüş çevrimi hız-zaman grafikleri [74]

US06 ve FTP 75 sürüş çevrimleri Amerika’da EPA tarafından hazırlanmış olup standartlaştırılmıştır. FTP 75 sürüş çevrimi binek bir otomobilin şehir içi ve orta hızlı sürüşleri temsil etmektedir. US06 sürüş çevrimi ise binek bir aracın yüksek hızlarda kullanımını temsil etmektedir. FTP 75 ve US 06 sürüş çevrimlerinin hız zaman grafikleri Şekil 4.23’de görülmektedir.



Şekil 4.23. FTP ve US06 sürüş çevrimi hız-zaman grafikleri [71]

5. PARALEL HİBRİT ARACIN MODELLEME AŞAMALARI

5.1. İçten Yanmalı Motor Modeli

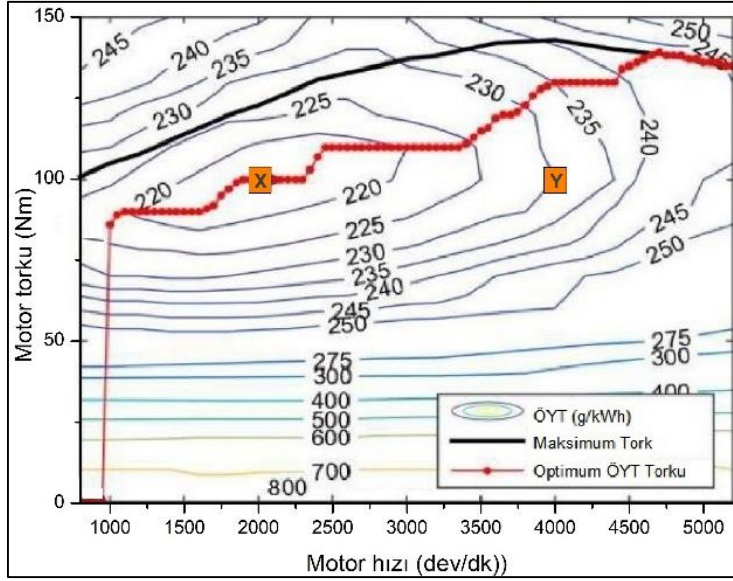
Bu çalışmada içten yanmalı motor olarak, “Toyota Prius” marka model hibrit araçta kullanılan, dört silindirli ve 1,8 litre hacme sahip bir benzinli tip motor kullanılmıştır. İçten yanmalı motora ait özellikler Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.1. “2ZR-FXE” İYM teknik özellikleri

Model	2ZR-FXE
Silindir çapı x strok (mm)	86 x 86
Silindir sayısı	4
Silindir hacmi (cc)	1798
Sıkıştırma oranı (mm)	13:1
Maksimum motor gücü (kW - 5200 d/d)	73
Maksimum motor torku (Nm - 4000 d/d)	142
Supap sistemi	16 Valf

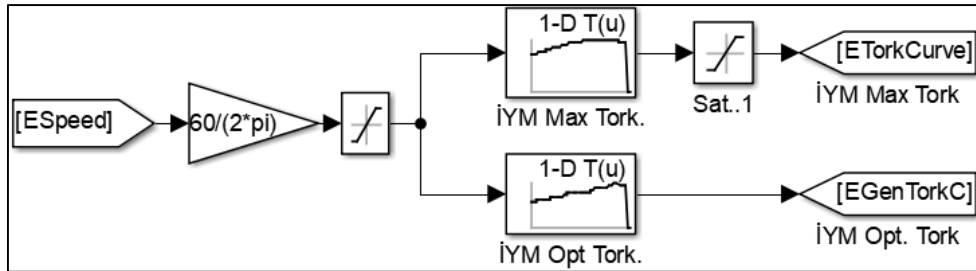
Model üzerinde kullanılan benzin motoru tork, devir ve ÖYT haritası ve elektrik motorunun jeneratör olarak çalıştırılması durumunda İYM’nin izleyeceği optimum ÖYT yörüngesi Şekil 5.1’de görülmektedir.

Seri hibrit araç üzerinde İYM sadece jeneratör olarak çalışan elektrik motoruna hareket sağlamaktadır. Seri hibrit aracın düşük jeneratör gücü ihtiyacı olduğu durumda İYM X noktasında (2000 dev/dk hız, 100 Nm tork, 205 g/kWh ÖYT), yüksek jeneratör gücü ihtiyacı olduğu durumda ise Y noktasında (4000 dev/dk hız, 100 Nm tork, 205 g/kWh ÖYT) çalıştırılmaktadır. İYM çalışma noktaları özgül yakıt tüketiminin düşük ve elektrik motor veriminin yüksek olduğu optimum noktalar seçilmiştir.



Şekil 5.1. Model üzerinde kullanılan İYM tork, devir ve ÖYT haritası ve optimum ÖYT hattı [75]

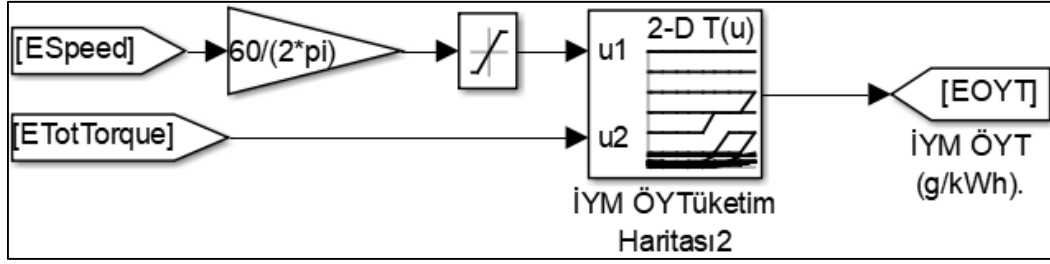
Motor hızı tekerleklerin dönüş hızına ve vites redüksiyon oranına bağlı olarak araç hızı ile eş zamanlı anlık değişmektedir. Motor hızının belli olması ile motorun o hızına karşılık gelen maksimum motor torku belirlenmekte olup güç sistemine tork bilgisi gönderilmektedir. Şekil 5.2’de içten yanmalı motorun, içten yanmalı motor hızına bağlı maksimum ve optimum çıkış torkunun belirlendiği model görülmektedir.



Şekil 5.2. İYM hız ve tork grafiği

İçten yanmalı motorun anlık motor hızı ve motor torkunun belirlenmesiyle birlikte motorun anlık ÖYT değeri belirlenmektedir. Belirlenen içten yanmalı motor ÖYT değeri, enerji hesabının yapıldığı modele aktarılarak İYM’nin sürüş boyunca tükettiği ortalama yakıt miktarı hesaplanmaktadır.

Şekil 5.3’de içten yanmalı motorun motor hızı ve torkuna bağlı anlık özgül yakıt tüketiminin belirlendiği model görülmektedir.



Şekil 5.3. İYM hız ve tork ve özgül yakıt tüketim grafiği

Belirlenen motor torku kavrama ile vites kutusuna iletilerek aracın tahrik etmesini veya elektrik motorunun jeneratör olarak çalışıp elektrik üretmesini sağlamaktadır.

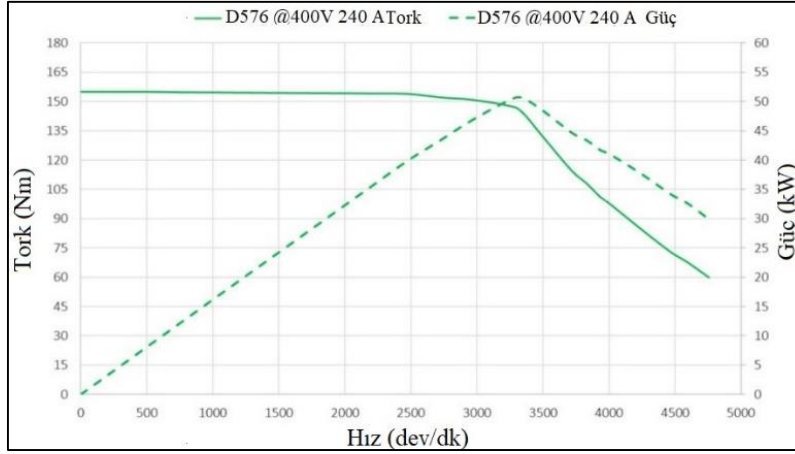
5.2. Elektrik Motor Modeli

Paralel hibrit elektrikli araç üzerinde, hem araç tahriki hemde jeneratör olarak kullanılan elektrik motorunun modeli oluşturulmuştur. Paralel hibrit araç üzerinde “Ashwoods” firmasına ait, “Elmo-D576” model, maksimum 155 Nm tork üretebilen, 5000 dev/dk hıza çıkabilen ve 50 kW güce sahip doğru akım motoru kullanılmıştır. “Elmo-D576” elektrik motoruna ait teknik veriler Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Ashwoods “Elmo-D576” elektrik motoru teknik özellikleri [76]

Maksimum Tork	155 Nm
Gerilim	400V
Maksimum Güç	50 kW
Maksimum Hız	5000 dev/dk
Maksimum Verim	>%90
Motor Ağırlığı	19

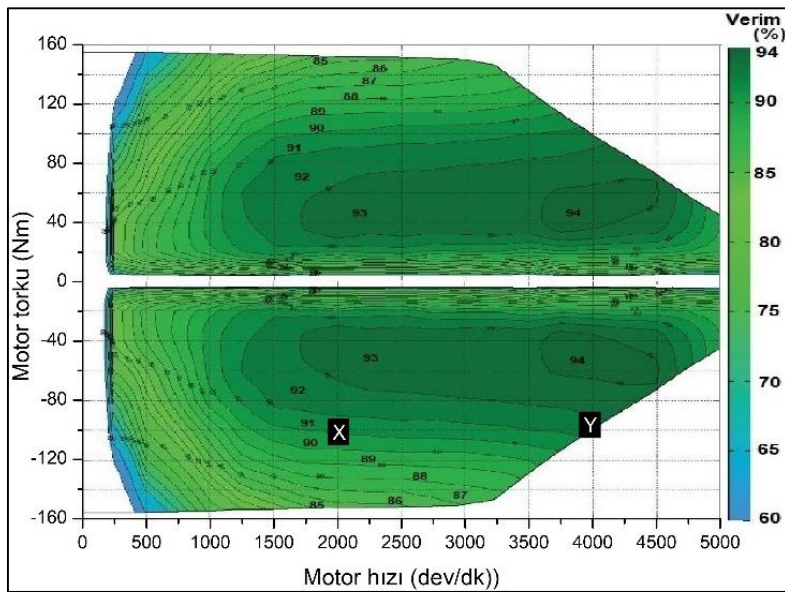
Elektrik motoru modelinde, motorun tüm devir noktalarında maksimum tork değerinin hesaplanması için firma ürün kataloğunda bulunan maksimum tork/devir haritası kullanılmıştır. Paralel hibrit araç üzerinde kullanılan elektrik motorunun tork/devir grafiği Şekil 5.4’de görülmektedir.



Şekil 5.4. “Elmo-D576” elektrik motoru tork/devir grafiği [76]

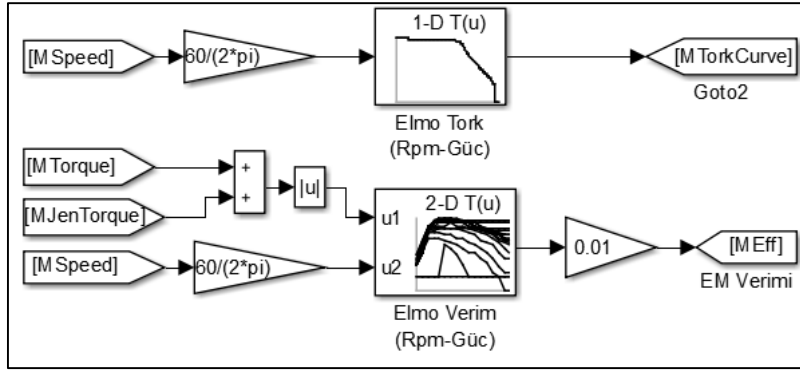
Elektrik motoru modelinde, motorun verim değerinin hesaplanması için firma ürün kataloğunda bulunan motorun tork/devir/verim haritası kullanılmıştır. Paralel hibrit araç üzerinde kullanılan elektrik motorunun tork/devir/verim haritası Şekil 5.5’de görülmektedir.

Seri hibrit araç üzerinde İYM sadece jeneratör olarak çalışan elektrik motoruna hareket sağlamaktadır. Seri hibrit aracın düşük jeneratör gücü ihtiyacı olduğu durumda EM X noktasında (2000 dev/dk hız, 100 Nm tork, %91 verim), yüksek jeneratör gücü ihtiyacı olduğunda ise Y noktasında (4000 dev/dk hız, 100 Nm tork, %92 verim) çalıştırılmaktadır. EM çalışma noktaları, İYM özgül yakıt tüketiminin düşük ve elektrik motor veriminin yüksek olduğu optimum noktalar seçilmiştir.



Şekil 5.5. “Elmo-D576” elektrik motoru tork/devir/verim haritası [76]

Elektrik motorunun paralel hibrit araçta kullanılabilmesi için, Matlab/Simulink üzerinde modeli oluşturulmuştur. Elektrik motoru modeli Şekil 5.6’da görülmektedir. Elektrik motoru maksimum tork/devir grafiği Simulink kütüphanesinde bulunan “look up table 1-D” bloğu ile girdisi sağlanmıştır. Bloğa elektrik motorunun anlık hız girdisi sağlanarak, motorun o hız durumunda verebileceği maksimum tork değeri belirlenmektedir.



Şekil 5.6. Elektrik motor Simulink modeli

Elektrik motoru maksimum tork/devir/verim grafiği Simulink kütüphanesinde bulunan “look up table 2-D” bloğuna girdisi sağlanmıştır. Elektrik motorunun anlık motor hızı ve tork bilgisi bu bloğa girdisi sağlanmaktadır. Blok çıktısı olarak ise elektrik motorunun o anki tork ve hız noktasına ait verimi belirlenmektedir.

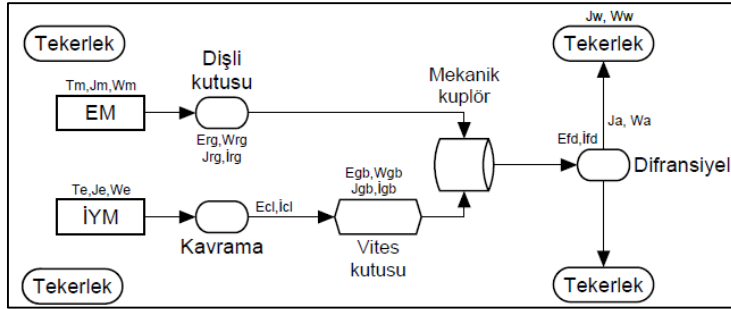
5.3. Araç Güç Aktarma Sistem Modeli ve Transfer Fonksiyonu

Güç aktarma sistemi, araç motoru tarafından üretilen tork üzerinde gerekli düzenlemelerin yapılması ve tekerlere iletilmesini sağlamaktadır. Piyasada çok farklı hibrit elektrikli araç yapıları bulunmakta ve bu yapıların güç aktarma sistemlerinde de birçok farklılık bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapıları için, güç aktarma sistemini temsil eden transfer fonksiyonları oluşturulmuştur.

5.3.1. Son iletimli paralel hibrit yapı (post) güç sistemi transfer fonksiyonu

Son iletimli hibrit araç güç sistemine EM ve İYM tarafından üretilen torkun girdisi yapılmaktadır. Elektrik motoru tarafından üretilen tork, redüksiyon dişli kutusu tarafından gerekli düzenlemeler yapılarak mekanik kuplöre iletilmektedir. İYM tarafından üretilen tork

ise vites kutusu üzerinde düzenlenmektedir. İçten yanmalı motor ile vites kutusu arasında ki hareketin kesilmesi ve birleştirilebilmesi amacı ile kavrama sistemi bulunmaktadır. Mekanik kuplör EM ve İYM tarafından üretilen ve gerekli düzenlemeleri yapılan torkun birleşimini sağlayıp diferansiyele, daha sonrasında da aks ve tekerlere iletmektedir. Post paralel hibrit araca ait güç sistemi şeması şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7. Son iletimli paralel hibrit araç (post) güç aktarma sistemi şematik gösterimi

Son iletimli paralel hibrit güç aktarma sisteminin modelini temsil eden transfer fonksiyon türetilmiştir. Transfer fonksiyonda elektrik motoru, redüksiyon kutusu, içten yanmalı motor, vites kutusu ve tekerlere ait atalet moment değerleri hesaba katılmıştır. Sisteme tork girdisi, elektrik motoru ve içten yanmalı motor tarafından sağlanmaktadır. Sistemde tork düzenlemeleri redüksiyon kutusu, şanzıman ve diferansiyelde yapılmaktadır. Otomatik şanzıman için tork konvertörü kullanılması durumunda oluşacak tork artırımını göz önünde bulundurularak kavrama için redüksiyon oranı eklenmiştir. Hibrit araç transfer fonksiyonunun çıkarılması, bir mile veya silindire etki eden toplam torkun (T_{net}), toplam atalet momentine ($J_{toplaml}$) bölünmesinin milin açısal ivmesini ($\dot{\omega}$) vermesi prensibine dayanmaktadır. Döner bir cismin açısal ivmesinin hesaplandığı formül, eşitlik 5.1’de verilmiştir.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{T_{net}}{J_{toplaml}} \quad (5.1)$$

Hibrit araç güç sisteminde elektrik ve benzin motorunda üretilen torklar gerekli redüksiyona uğrayarak, mekanik tork birleştirici girişinde toplanmaktadır.

Elektrik motorunda üretilen tork, dişli kutusundan geçerek mekanik tork birleştirici girişine gelmektedir. Tork iletimi sürecinde sistem elektrik motoru ve redüksiyon dişlisi atalet momentlerine maruz kalmaktadır.

$$T_{rg_g} = T_m - J_m \dot{\omega}_m \quad (5.2)$$

Motor tork değeri yalnız bırakıldığında,

$$T_m = T_{rg_g} + J_m \dot{\omega}_m \quad (5.3)$$

denklemini elde edilmektedir. EM torkuna, redüksiyon kutusu verimi, redüksiyon oranı ve atalet moment değerinin dahil edilmesi ile redüksiyon çıkış torku,

$$T_{rg_c} = (T_{rg_g} - J_{rg} \dot{\omega}_{rg}) i_{rg} \eta_{rg} \quad (5.4)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitlik 5.4’de bulunan denkleme redüksiyon kutusu giriş tork değerinin eklenmesi, redüksiyon çıkış torkunu veren,

$$T_{rg_c} = (T_m - J_m \dot{\omega}_m - J_{rg} \dot{\omega}_{rg}) i_{rg} \eta_{rg} \quad (5.5)$$

denklemini elde edilmektedir. İçten yanmalı motorda üretilen tork ise ilk olarak kavramadan geçerek şanzımana ulaşmaktadır. Hareket iletimini sağlayan kavramada kaymalar gerçekleşerek verim kaybı oluşmaktadır. Hibrit araç üzerinde otomatik şanzıman kullanılacağı için kavrama olarak tork konvertör kullanımı sağlanabileceği ön görülerek denkleme redüksiyon oranı eklenmiştir. İYM tarafından üretilen tork değerinden, İYM atalet moment kuvvetinin çıkarılması ile, kavrama girişine iletilen torkun değerini veren,

$$T_{cl_g} = T_e - J_e \dot{\omega}_e \quad (5.6)$$

denklem elde edilmiştir. Kavrama üzerinde tork konvertörü kullanılması durumunda kavrama çıkışındaki tork değeri, kavrama redüksiyon oranı ve veriminin dahil edildiği,

$$T_{cl_\zeta} = T_{cl_g} i_{cl} \eta_{cl} \quad (5.7)$$

eşitliği ile elde edilmektedir. Eşitlik 5.7'ye kavrama giriş tork denkleminin eklenmesi ile birlikte,

$$T_{cl_g} = \frac{T_{cl_\zeta}}{i_{cl} \eta_{cl}} = T_e - J_e \dot{\omega}_e \quad (5.8)$$

eşitliği elde edilmektedir. Eşitlik 5.7'ye kavrama giriş tork değerinin yazılması ile,

$$T_{cl_\zeta} = (T_e - J_e \dot{\omega}_e) i_{cl} \eta_{cl} \quad (5.9)$$

eşitliği elde edilmiştir. Güç aktarma sistemi üzerinde tork konventörü kullanılmaması durumunda kavrama redüksiyon oranı 1 olarak alınarak, sadece kavrama verimi sisteme dahil edilmektedir. Kavrama çıkışında bulunan tork değeri, vites kutusu girişinde bulunan tork değerine eşittir.

$$T_{gb_g} = T_{cl_\zeta} \quad (5.10)$$

Vites kutusu giriş torkunun, vites kutusunda redüksiyona, verim kaybına ve atalet momenti etkisine uğraması ile vites kutusu çıkış torku,

$$T_{gb_\zeta} = (T_{cl_\zeta} - J_{gb} \dot{\omega}_{gb}) i_{gb} \eta_{gb} \quad (5.11)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır. Eşitlik 5.11'de bulunan denkleme, kavrama çıkış torkunun eklenmesi ile,

$$T_{gb_\zeta} = \left[(T_e - J_e \dot{\omega}_e) i_{cl} \eta_{cl} - J_{gb} \dot{\omega}_{gb} \right] i_{gb} \eta_{gb} \quad (5.12)$$

eşitliği elde edilmektedir. İYM tarafından üretilen tork, kavrama ve vites kutusundan, EM tarafından üretilen tork ise sabit dişli kutusundan geçerek mekanik kuplöre ulaşmaktadır. Mekanik tork kuplörü ise bu iki tork girişini,

$$T_{mc} = T_{rg_{\zeta}} + T_{gb_{\zeta}} \quad (5.13)$$

eşitliği ile birleştirmektedir. Mekanik tork kuplöründe elde edilen birleştirilmiş tork çıkışı, diferansiyelde redüksiyona uğrayarak akslara iletilmektedir. Diferansiyel çıkış torku,

$$T_{fd} = T_{mc} i_{fd} \eta_{fd} \quad (5.14)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Güç sisteminin tekerleklere ilettiği tork değeri ise,

$$T_w = T_{fd} - (4J_w + 2J_a) \dot{\omega}_w \quad (5.15)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitlik 5.15'in düzenlenmesi ile,

$$T_w = T_{mc} i_{fd} \eta_{fd} - (4J_w + 2J_a) \dot{\omega}_w \quad (5.16)$$

eşitliği elde edilmiştir. EM açısal ivmesinin, tekerlek açısal ivmesi ile olan ilişkisi,

$$\dot{\omega}_m = \dot{\omega}_w i_{rg} i_{fd} \quad (5.17)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. İYM açısal ivmesinin, tekerlek açısal ivmesi ile olan ilişkisini,

$$\dot{\omega}_e = \dot{\omega}_w i_{gb} i_{fd} \quad (5.18)$$

eşitliği vermektedir. Tork kuplörü, tekerlek, redüksiyon ve vites kutusu açısal ivmelerinin birbirleri ile olan ilişkisi,

$$\dot{\omega}_{mc} = \dot{\omega}_{rg} = \dot{\omega}_{gb} = \dot{\omega}_w i_{fd} \quad (5.19)$$

eşitliğinde verilmiştir. Elde edilen denklemlerin model üzerinde kullanılabilirliği için düzenlemeler yapılmıştır. Eşitlik 5.5'de EM açısal ivmesi yerine ve redüksiyon kutusu çıkışı açısal ivmesi yerine tekerlek açısal ivmesinin konulması ile,

$$T_{rg_\zeta} = (T_m - J_m \dot{\omega}_w i_{rg} i_{fd} - J_{rg} \dot{\omega}_w i_{fd}) i_{rg} \eta_{rg} \quad (5.20)$$

eşitliği elde edilmiştir. Eşitlik 5.20’de bulunan EM torku yerine, Eşitlik 5.4’de bulunan EM tork değerinin konulması ile,

$$T_{gb_\zeta} = (T_e - J_e \dot{\omega}_w i_{gb} i_{fd}) i_{cl} \eta_{cl} i_{gb} \eta_{gb} - J_{gb} \dot{\omega}_w i_{fd} i_{gb} \eta_{gb} \quad (5.21)$$

eşitliği elde edilmiştir. Eşitlik 5.20’nin parantez dağılımının yapılması ile,

$$T_{rg_\zeta} = T_m i_{rg} \eta_{rg} - J_m \dot{\omega}_w i_{rg}^2 i_{fd} \eta_{rg} - J_{rg} \dot{\omega}_w i_{fd} i_{rg} \eta_{rg} \quad (5.22)$$

eşitliği elde edilmiştir. Eşitlik 5.21’in parantez dağılımının yapılması ile ise,

$$T_{gb_\zeta} = T_e i_{cl} \eta_{cl} i_{gb} \eta_{gb} - J_e \dot{\omega}_w i_{gb}^2 i_{fd} i_{cl} \eta_{cl} \eta_{gb} - J_{gb} \dot{\omega}_w i_{fd} i_{gb} \eta_{gb} \quad (5.23)$$

eşitliği elde edilmiştir. Eşitlik 5.16’da bulunan mekanik tork kuplörü torkunun yalnız bırakılması ile,

$$\frac{T_w}{i_{fd} \eta_{fd}} = T_{mc} - \frac{(4J_w + 2J_a)}{i_{fd} \eta_{fd}} \dot{\omega}_w \quad (5.24)$$

eşitliği elde edilmiştir. Eşitlik 5.24’de bulunan mekanik kuplör torku yerine, Eşitlik 5.22 ve Eşitlik 5.23 değerlerinin yazılması ve tekerlek açısal ivmesi parantezine alınması ile birlikte,

$$\frac{T_w}{i_{fd} \eta_{fd}} = T_m i_{rg} \eta_{rg} + T_e i_{cl} \eta_{cl} i_{gb} \eta_{gb} - \dot{\omega}_w i_{fd} \left(J_m i_{rg}^2 \eta_{rg} + J_{rg} i_{rg} \eta_{rg} + J_e i_{gb}^2 i_{cl} \eta_{cl} \eta_{gb} + J_{gb} i_{gb} \eta_{gb} + \frac{(4J_w + 2J_a)}{i_{fd} \eta_{fd}} \right) \quad (5.25)$$

eşitliği elde edilmiştir. Eşitlik 5.25’in düzenlenmesi ile, son iletimli paralel hibrit aracın, tekerlerinde oluşan ivme değerinin hesaplandığı,

$$\dot{\omega}_w = \frac{T_m i_{rg} \eta_{rg} + T_e i_{cl} \eta_{cl} i_{gb} \eta_{gb} - \frac{T_w}{i_{fd} \eta_{fd}}}{J_m i_{rg}^2 i_{fd} \eta_{rg} + J_{rg} i_{fd} i_{rg} \eta_{rg} + J_e i_{gb}^2 i_{fd} i_{cl} \eta_{cl} \eta_{gb} + J_{gb} i_{fd} i_{gb} \eta_{gb} + \frac{(4J_w + 2J_a)}{i_{fd} \eta_{fd}}} \quad (5.26)$$

eşitliği elde edilmiştir. Eşitlik 5.27'nin zamana bağlı integralinin alındığı,

$$\omega_w = \int_t \frac{T_m i_{rg} \eta_{rg} i_{fd} \eta_{fd} + T_e i_{cl} \eta_{cl} i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - T_w}{\eta_{fd}^2 i_{fd}^2 (J_m i_{rg}^2 \eta_{rg} + J_{rg} i_{rg} \eta_{rg} + J_e i_{gb}^2 i_{cl} \eta_{cl} \eta_{gb} + J_{gb} i_{gb} \eta_{gb}) + (4J_w + 2J_a)} dt \quad (5.27)$$

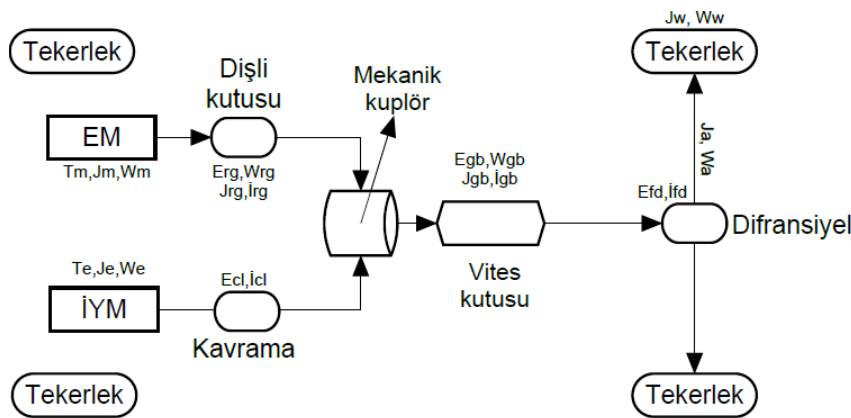
eşitlik ise son iletimli paralel hibrit araç tekerlerinin açısal hızını vermektedir. Mekanik tork kuplörü çıkışının açısal hızı,

$$\omega_{mc} = \int_t \frac{T_m i_{rg} i_{fd} \eta_{rg} \eta_{fd} + T_e i_{cl} i_{gb} i_{fd} \eta_{cl} \eta_{gb} \eta_{fd} - T_{yük}}{i_{fd} \eta_{fd} (j_{rg} i_{rg} \eta_{rg} + j_m i_{rg}^2 \eta_{rg} + j_e i_{gb}^2 i_{cl} \eta_{gb} \eta_{cl} + j_{gb} i_{gb} \eta_{gb} + (4j_t + 2j_a) / (\eta_{fd}^2 i_{fd}^2))} dt \quad (5.28)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitlik 5.29, son iletimli paralel hibrit aracın güç aktarma sistemini temsilen MATLAB/Simulink simülasyon programı üzerine girdisi sağlanmıştır.

5.3.2. Ön iletimli paralel hibrit yapı (pre) güç sistemi transfer fonksiyonu

EM ve İYM tarafından üretilen tork mekanik kuplör üzerinde direk olarak birleşmektedir. EM ile İYM arasındaki bağlantı, kavrama yardımı ile kesilip birleştirilebilmektedir. Mekanik tork kuplöründe birleşen tork, vites kutusu tarafından gerekli redüksiyona uğratarak, diferansiyele, daha sonrasında da aks ve tekerleklere iletmektedir. Ön iletimli paralel hibrit araca ait güç sistemi şeması Şekil 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.8. Paralel hibrit araç (pre) güç aktarma sistemi şematik gösterimi

Elektrik motorunda üretilen tork, sabit redüksiyon dişli kutusundan geçerek mekanik tork birleştirici girişine gelmektedir. Tork iletimi sürecinde sistem elektrik motoru ve redüksiyon dişlisi atalet momentlerine maruz kalmaktadır. İYM çıkış torku,

$$T_{e_c} = (T_e - J_e \dot{\omega}_e) \eta_{cl} \quad (5.29)$$

eşitliği ile, mekanik kuplör çıkış torku ise,

$$T_{mc} = T_{e_c} + T_{rg_c} \quad (5.30)$$

eşitliği ile elde edilmektedir. Tork kuplörü çıkışı ile vites kutusu giriş tork değerleri eşit olmaktadır.

$$T_{gb_g} = T_{mc} \quad (5.31)$$

Tork kuplöründe birleşen torkun, vites kutusuna girmesi ile uğrayacağı redüksiyon ve verimin etkisi sonucu oluşan tork değeri,

$$T_{gb_g} = (T_{e_c} + T_{rg_c} - J_{gb} \dot{\omega}_{gb}) i_{gb} \eta_{gb} \quad (5.32)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Vites kutusu çıkışında oluşan tork değerine, diferansiyel redüksiyonu ve veriminin etkisinin hesaba katılması sonucu oluşan tork değeri,

$$T_{fd} = T_{gb_g} i_{fd} \eta_{fd} \quad (5.33)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Diferansiyel çıkış torkuna tekerlek atalet kuvvetlerinin etkisinin dahil edilmesi sonucunda tekerlek torku,

$$T_w = T_{fd} - (4J_w + 2J_a) \dot{\omega}_w \quad (5.34)$$

eşitliği ile elde edilmektedir. Eşitlik 5.35'e Eşitlik 5.34'te bulunan diferansiyel torkunun girdisi sağlanarak,

$$T_w = T_{g_b} i_{fd} \eta_{fd} - (4J_w + 2J_a) \dot{\omega}_w \quad (5.35)$$

eşitliği elde edilmektedir. EM açısal ivmesi ile tekerleklerin açısal ivmesinin ilişkisi,

$$\dot{\omega}_m = \dot{\omega}_w i_{rg} i_{gb} i_{fd} \quad (5.36)$$

eşitliği ile verilmektedir. İYM açısal ivmesi ile tekerleklerin açısal ivmesinin ilişkisi,

$$\dot{\omega}_e = \dot{\omega}_w i_{gb} i_{fd} \quad (5.37)$$

eşitliği ile verilmektedir. Vites kutusu çıkış açısal ivmesi ile tekerleklerin açısal ivmesinin ilişkisi,

$$\dot{\omega}_{gb} = \dot{\omega}_w i_{fd} \quad (5.38)$$

eşitliği ile verilmektedir. Mekanik tork kuplörü ve redüksiyon kutusu açısal ivmelerinin tekerlek açısal ivmeleri ile ilişkisi ise,

$$\dot{\omega}_{mc} = \dot{\omega}_{rg} = \dot{\omega}_w i_{gb} i_{fd} \quad (5.39)$$

eşitliği ile verilmektedir. Eşitlik 5.33'e, redüksiyon kutusu ve İYM çıkış torkunun girdisi sağlanması ile vites kutusu çıkış torkunu veren,

$$T_{g_b} = (T_e - J_e \dot{\omega}_w i_{gb} i_{fd}) i_{gb} \eta_{gb} \eta_{cl} + (T_m - J_m \dot{\omega}_w i_{rg} i_{gb} i_{fd} - J_{rg} \dot{\omega}_w i_{gb} i_{fd}) i_{rg} \eta_{rg} i_{gb} \eta_{gb} - J_{gb} \dot{\omega}_w i_{fd} i_{gb} \eta_{gb} \quad (5.40)$$

eşitlik elde edilmiştir. Eşitlik 5.41 üzerinde bulunan tekerlek açısal ivmesinin yalnız bırakılması ile birlikte,

$$\dot{\omega}_w = \frac{T_e i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} \eta_{cl} + T_m i_{rg} \eta_{rg} i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - T_w}{(J_e i_{gb}^2 i_{fd}^2 \eta_{gb} \eta_{cl} + J_{rg} i_{gb}^2 i_{fd}^2 i_{rg} \eta_{rg} \eta_{gb} + J_m i_{rg}^2 i_{gb}^2 i_{fd}^2 \eta_{rg} \eta_{gb} + J_{gb} i_{fd}^2 i_{gb} \eta_{gb} + (4J_w + 2J_a))} \quad (5.41)$$

eşitliği elde edilmiştir. Tekerlek açısal ivmesini veren Eşitlik 5.42'nin zamana bağlı integralinin alınması ile, tekerlek açısal hızını veren,

$$\omega_w = \int_t \frac{T_e i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} \eta_{cl} + T_m i_{rg} \eta_{rg} i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - T_w}{\eta_{fd} i_{fd}^2 (J_e i_{gb}^2 \eta_{gb} \eta_{cl} + J_{rg} i_{gb}^2 i_{rg} \eta_{rg} \eta_{gb} + J_m i_{rg}^2 i_{gb}^2 \eta_{rg} \eta_{gb} + J_{gb} i_{gb} \eta_{gb}) + (4J_w + 2J_a)} dt \quad (5.42)$$

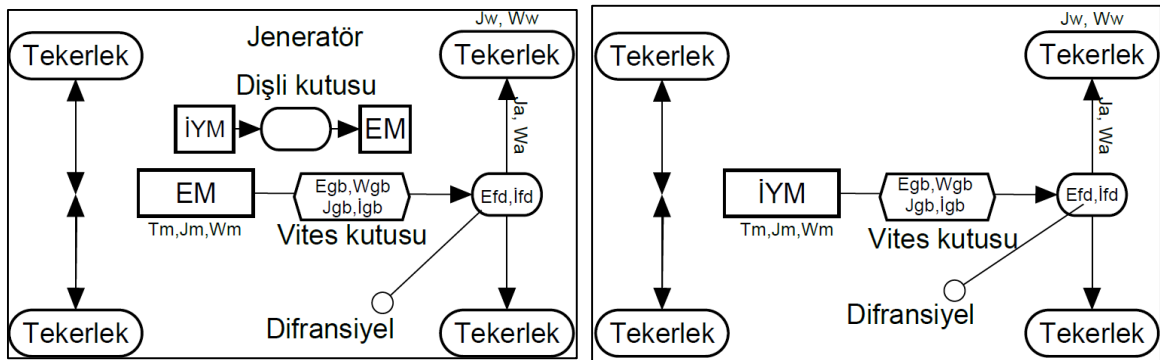
eşitlik elde edilmiştir. Eşitlik 5.43'nin diferansiyel redüksiyon oranına bölünmesi ile vites kutusu çıkış hızını veren,

$$\omega_{gb} = \int_t \frac{T_e i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} \eta_{cl} + T_m i_{rg} \eta_{rg} i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - T_w}{i_{fd} \eta_{gb} (J_e i_{gb}^2 \eta_{cl} + J_{rg} i_{gb}^2 i_{rg} \eta_{rg} + J_m i_{rg}^2 i_{gb}^2 \eta_{rg} + J_{gb} i_{gb} + (4J_w + 2J_a) / (\eta_{gb} i_{fd}^2))} dt \quad (5.43)$$

eşitlik türetilmiştir. Eşitlik 5.44, ön iletimli paralel hibrit aracın güç aktarma sistemini temsilen MATLAB/Simulink simülasyon programı üzerine girdisi sağlanmıştır.

5.3.3. Seri hibrit ve konvansiyonel araç güç sistemi transfer fonksiyonu

Seri hibrit elektrikli ve konvansiyonel aracın güç aktarma sistemi vites kutusu, diferansiyel, akslar ve tekerleklerden oluşmaktadır. MATLAB/Simulink ortamında modeli oluşturulan seri hibrit elektrikli aracın güç aktarma sistemi şematik gösterimi Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Seri hibrit ve konvansiyonel araç güç aktarma sistemleri şematik gösterimi

Tahrik motorunda üretilen tork, motor atalet momentinin etkisini dahil edilmesi ile vites kutusu giriş tork değerini veren,

$$T_{gbg} = T_m - J_m \dot{\omega}_m \quad (5.44)$$

eşitlik elde edilmektedir. Vites kutusu giriş torkunun, vites kutusu redüksiyon oranının ve veriminin etkisine uğraması ile vites kutusu çıkış torku,

$$T_{gb\zeta} = (T_m - J_m \dot{\omega}_m) i_{gb} \eta_{gb} \quad (5.45)$$

eşitliği elde edilmiştir. Vites kutusunda redüksiyona uğrayan tork difransiyele iletilmektedir. Diferansiyel çıkış torku,

$$T_{fd} = T_{gb\zeta} i_{fd} \eta_{fd} \quad (5.46)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Eşitlik 5.47'ye, vites kutusu çıkış torkunu veren Eşitlik 5.46'nın eklenmesi ile,

$$T_{fd} = (T_m - J_m \dot{\omega}_m) i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} \quad (5.47)$$

eşitliği elde edilmektedir. Diferansiyel çıkışında tork, akslara iletilmekte ve oradan da tekerlekler tahrik edilmektedir. Akslarda oluşan atalet momentinin etkisi ile aks momenti,

$$T_a = (T_m - J_m \dot{\omega}_m) i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - 2J_a \dot{\omega}_a \quad (5.48)$$

eşitliği ile, tekerlek atalet momentlerinin sisteme dahil edilmesi ile birlikte tekerleklerde oluşan tork değeri,

$$T_w = T_a - 4J_w \dot{\omega}_w \quad (5.49)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitlik 5.50'de bulunan aks torku yerine, Eşitlik 5.49'da bulunan denklemin konulması ile birlikte,

$$T_w = (T_m - J_m \dot{\omega}_m) i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - 2J_a \dot{\omega}_a - 4J_w \dot{\omega}_w \quad (5.50)$$

denklemleri elde edilmektedir. Seri hibrit araç güç aktarma organları arasında bulunan açısal ivme ilişkisi,

$$\dot{\omega}_w i_{fd} i_{gb} = \dot{\omega}_a i_{fd} i_{gb} = \dot{\omega}_t i_{fd} i_{gb} = \dot{\omega}_m \quad (5.51)$$

eşitliği ile verilmektedir. Eşitlik 5.51’de bulunan motor açısal ivmesi yerine tekerlek ivmesinin yazılması ile,

$$T_w = (T_m - J_m \dot{\omega}_w i_{fd} i_{gb}) i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - 2J_a \dot{\omega}_w - 4J_w \dot{\omega}_w \quad (5.52)$$

eşitliği elde edilmektedir. Eşitlik 5.53’ün parantez işlemleri yapılması ve tekerlek açısal ivmesinin yalnız bırakılması ile,

$$T_w = T_m i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - \dot{\omega}_w (J_m i_{fd} i_{gb} i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} + 2J_a + 4J_w) \quad (5.53)$$

eşitliği elde edilmektedir. Seri hibrit ve konvansiyonel aracın tekerleklerinde oluşan açısal ivmesini,

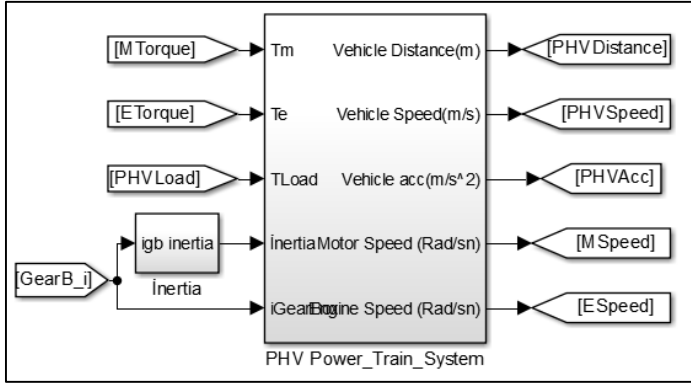
$$\dot{\omega}_w = \frac{T_m i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - T_w}{J_m i_{fd} i_{gb} i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} + 2J_a + 4J_w} \quad (5.54)$$

eşitliği vermektedir. Tekerlek açısal ivmesinin zamana bağlı integralinin alınması ile,

$$\omega_w = \int_t \frac{T_m i_{gb} i_{fd} \eta_{fd} \eta_{gb} - T_w}{J_m i_{fd}^2 i_{gb}^2 \eta_{gb} \eta_{fd} + 2J_a + 4J_w} dt \quad (5.55)$$

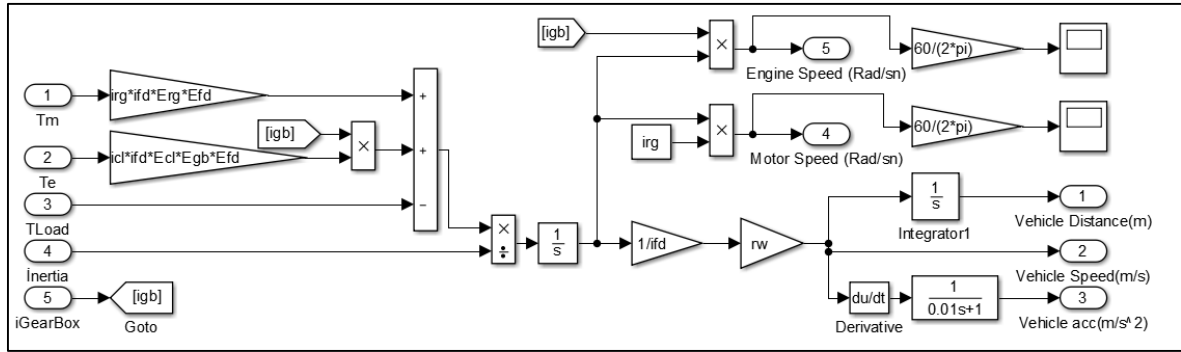
eşitliği elde edilmektedir. Eşitlik 5.56, seri hibrit ve konvansiyonel aracın güç aktarma sistemini temsilen MATLAB/Simulink simülasyon programı üzerine girdisi sağlanmıştır.

Paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç güç sistemleri modellerini temsil eden güç sistemi transfer fonksiyonlarının, Simulink simülasyon programı üzerinde girdisi yapılmıştır. Paralel hibrit güç sisteminin Simulink modeli Şekil 5.10’da görülmektedir.



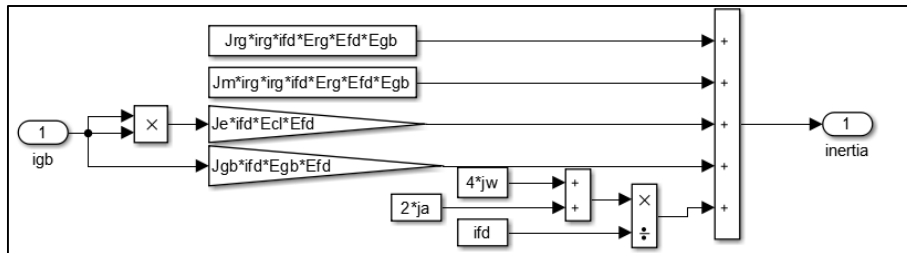
Şekil 5.10. Son iletimli paralel hibrit araç güç sistemi Simulink modeli

Paralel hibrit araç güç aktarma sistemi modelinde araç ivmesi, hızı, aldığı yol, İYM hızı ve EM hızı gibi parametreler anlık olarak hesaplanmaktadır. Paralel hibrit araç güç aktarma sistemi modelini oluşturan Simulink blokları Şekil 5.11’de görülmektedir.



Şekil 5.11. Son iletimli paralel hibrit araç güç sistemi Simulink modeli blok gösterimi

Paralel hibrit araç güç aktarma sistemi transfer fonksiyonunun sabit terimlerini (redüksiyon oranı ve atalet momenti) içeren bölüm kısmının Simulink görüntüsü Şekil 5.12’de verilmiştir. Bu bölümde simülasyona eş zamanlı değişen tek parametre vites kutusu redüksiyon oranıdır.

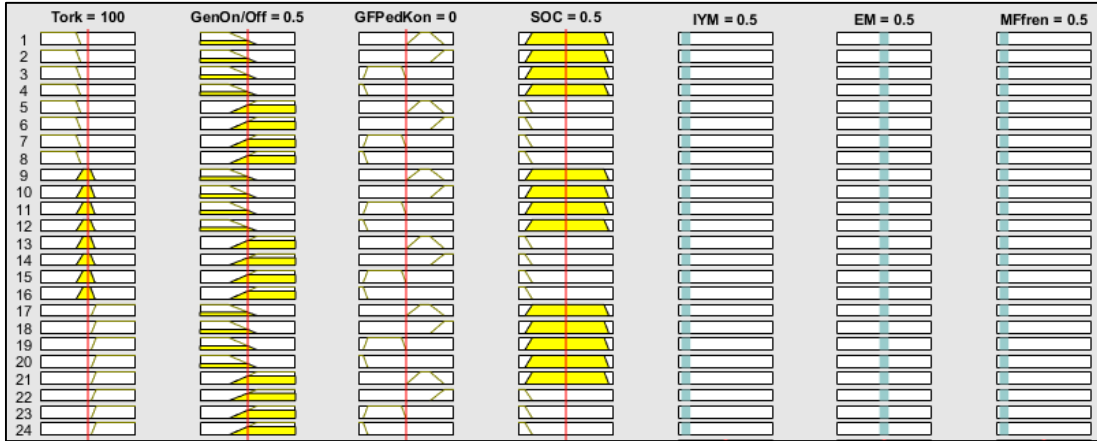


Şekil 5.12. Son iletimli paralel hibrit araç güç sistemi Simulink modeli redüksiyon oranı ve atalet momentlerinin gösterimi

5.4. Güç Yönetim Sistemi Modeli

Paralel hibrit araçlarda güç ve enerji kontrol stratejisi, enerji verimliliği ve araç performansı için en önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmada paralel hibrit aracın güç ve enerji kontrolü, kural tabanlı kontrol yöntemi olan bulanık mantık yöntemi ile geliştirilmiştir.

Bulanık mantık kontrolcüsüne aracın teorik tork ihtiyacı, gaz/fren pedal konumu, jeneratör modu açık/kapalı konumu ve SOC değerlerinin girdisi sağlanmıştır. Bu girdi değerleri anlık olarak hesaplanıp, değişkenlik göstermektedir. Aracın hedeflenen sürüş şartlarında seyrini devam ettirebilmesi ve bu süreçte minimum yakıt tüketiminin sağlanabilmesi için en uygun kuralların belirlenmesi gerekmektedir. Girdisi sağlanan ve kuralları belirlenen bulanık mantık kontrolcüsünden, aracın sadece EM, Sadece İYM, EM ve İYM birlikte, rejeneratif fren modu, jeneratör modu veya sadece mekanik fren ile negatif ivmelenme gibi aracın çalışma modları belirlenmektedir. Bulanık mantık kontrolcüsü girdisi yapılan bu parametreleri girdisi yapılan kurallar doğrultusunda çözümleyip, EM ve İYM kontrolünü optimum şekilde yapmaktadır. Paralel hibrit araç güç kontrol sisteminin şematik gösterimi Şekil 5.13’de görülmektedir.

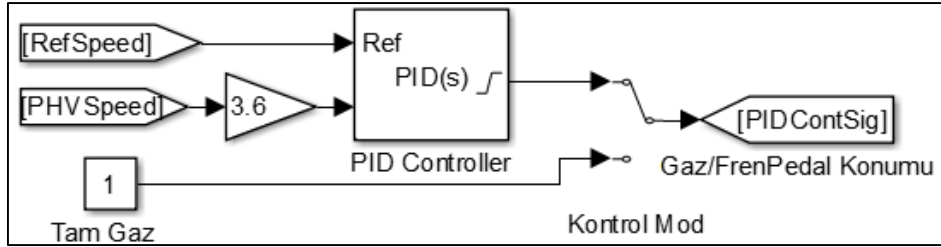


Şekil 5.13. Bulanık mantık güç kontrol sistemi şematik girdi ve çıktı parametreleri gösterimi

Kural tabanlı kontrolde, elektrik motoru içten yanmalı motorun düşük verim ile çalıştığı yüklerde ve yüksek tork ihtiyaçlarında devreye girmektedir. Bu bağlamda paralel hibrit aracın optimum yakıt tüketim değerleri ile seyirinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda aracın kontrolünü sağlayan PID kontrolcüler ve bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen kontrol yöntemi kullanılmıştır.

5.4.1. Gaz/fren pedal kontrolü

Paralel hibrit araç güç sistemi kontrolü, gaz/fren pedalı konum kontrolü ve bulanık mantık yöntemi ile EM/İYM tork kontrolü olmak üzere iki aşamalı sağlanmaktadır. Birinci aşamada referans hız ile araç hızının dengelenebilmesi için gaz ve fren pedal konumu kontrolü PID kontrolcü tarafından yapılmaktadır. PID kontrolcü, araç hızını referans hıza eşitlemek için gaz pedal konumunu (0 ile 1 arasında bir değer) ve fren pedal konumunu (-1 ile 0 arasında bir değer) belirlemektedir. Paralel hibrit araç gaz ve fren pedalı kontrolü, Simulink modeli Şekil 5.14'de görülmektedir.



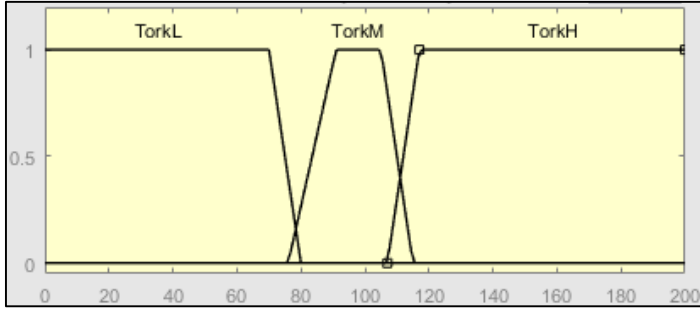
Şekil 5.14. Paralel hibrit araç gaz ve fren pedal kontrol modeli (araç kontrolü birinci aşaması)

5.4.2. Bulanık mantık kontrol stratejisi modeli

Bulanık mantık kontrol yönteminin araç teorik tork ihtiyacı, gaz/fren pedal konumu ve batarya şarj oranı olmak üzere üç üyelik fonksiyonu bulunmaktadır.

Araç tork ihtiyacı

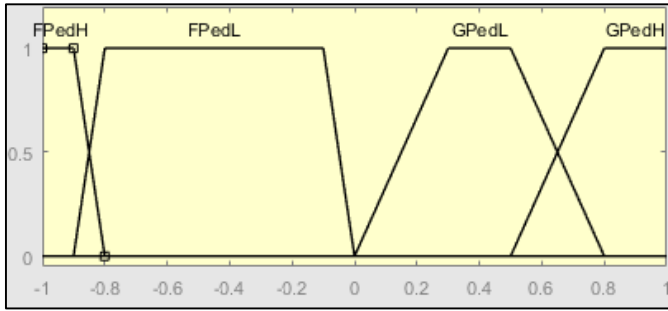
Paralel hibrit araç düşük tork ihtiyaçlarında sadece elektrik motoru ile orta seviyeli tork ihtiyaçlarında sadece İYM ile ve yüksek tork ihtiyaçlarında ise hem elektrik hem de İYM ile tahrik edilmektedir. Böylece İYM çalışma çevrimini ÖYT değerlerinin en düşük olduğu seviyelerde tutmaya çalışmaktadır. Bulanık mantık kontrol stratejisi araç teorik tork ihtiyacı üyelik fonksiyonu Şekil 5.15'de görülmektedir.



Şekil 5.15. Bulanık mantık kontrol stratejisi araç teorik tork ihtiyacı üyelik fonksiyonu

Gaz ve fren pedal konumu

PID kontroller tarafından belirlenen gaz ve pedal konumu bilgisinin, bulanık mantık kontrolcüsüne girdisi sağlanmaktadır. Bulanık mantık kontrol stratejisi gaz ve fren pedalı üyelik fonksiyonu Şekil 5.16'da görülmektedir.



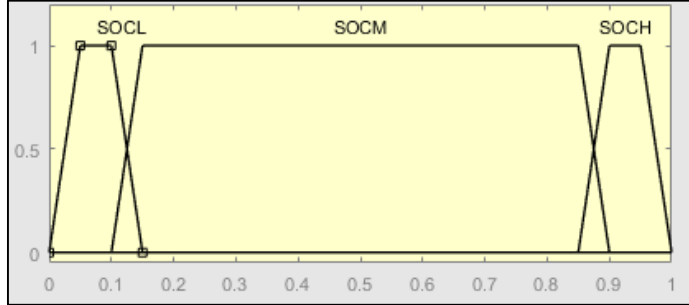
Şekil 5.16. Bulanık mantık kontrol stratejisi gaz/fren pedalı üyelik fonksiyonu

Fren pedalı konumu yüksek seviyelere ulaştığında bulanık mantık kontrolcü diğer parametrelere bakmaksızın mekanik freni devreye almaya başlamaktadır. Araç elektrik motoru, jeneratör modunda değil ve fren pedal konumu düşük seviyede ise araç rejeneratif fren ile yavaşlatılmaktadır. Gaz pedal konumu düşük seviyede ise kontrolcü, araç o an hangi motor ile tahrik ediliyorsa o motorla devam etmektedir. Gaz pedalı konumu yüksek seviyede ise elektrik motoru ve içten yanmalı motor araç tahrikini birlikte sağlamaktadır.

Batarya şarj oranı

Paralel hibrit elektrikli araçlarda en önemli hususlardan biri de bataryanın şarj yönetimidir. Bulanık mantık kontrol stratejisi batarya şarj oranı üyelik fonksiyonu Şekil 5.17'de görülmektedir. SOC seviyesi orta olduğu durumlarda şarj süresince içten yanmalı motor en

verimli noktalarda çalıştırılmaktadır. SOC seviyesi düşük seviyeye geldiğinde ise İYM maksimum tork seviyesinde çalıştırılmaktadır.

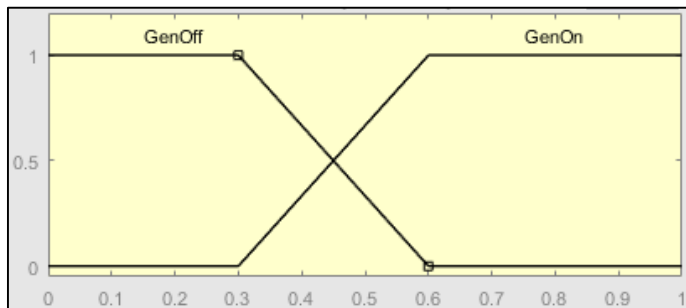


Şekil 5.17. Bulanık mantık kontrol stratejisi batarya şarj oranı üyelik fonksiyonu

Batarya şarj seviyesi %90 seviyesine geldiği durumda ise elektrik motoru jeneratör modundan çıkıp, araç kontrolünü sağlayan algoritma üzerinden aracın tahriki için tork üretmektedir.

Jeneratör açık/kapalı bilgisi

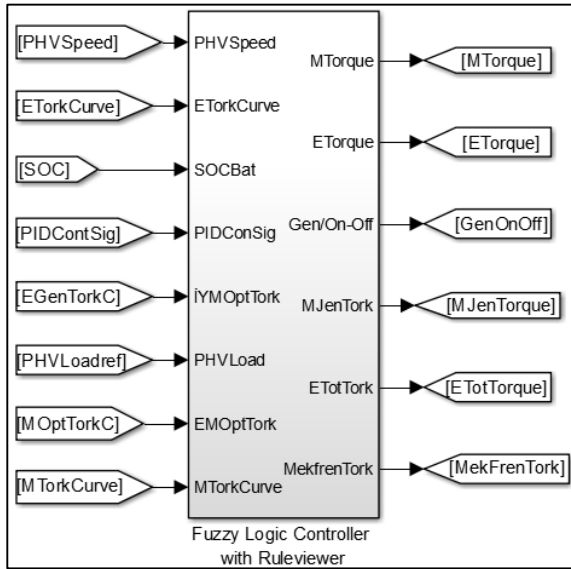
Batarya şarj kontrolü termostat adı da verilen aç-kapa yönetim stratejisi ile kontrol edilmektedir. Batarya şarj seviyesi %30'un altına düştüğü zaman, diğer kontrol üyelik fonksiyonları değerlerinin de sağlanması ile birlikte, içten yanmalı motor elektrik motoruna tahrik vererek, elektrik motorunun jeneratör olarak çalıştırılıp, elektrik üretmesi sağlanmaktadır. Bulanık mantık kontrol stratejisi jeneratörün açık/kapalı bilgisi üyelik fonksiyonu Şekil 5.18'de görülmektedir.



Şekil 5.18. Bulanık mantık kontrol stratejisi jeneratör açık/kapalı bilgisi üyelik fonksiyonu

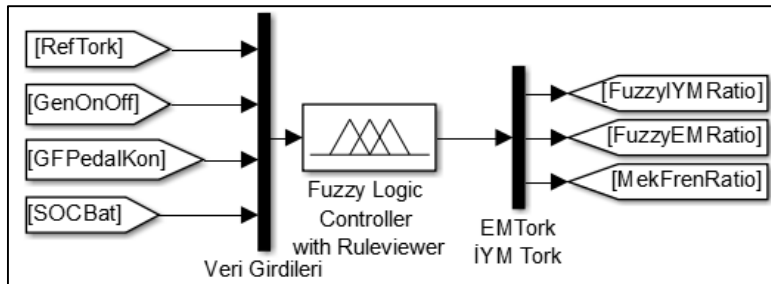
Bulanık mantık kontrol stratejisinin uygulaması

Hibrit araç kontrolünün ikinci aşaması ise, bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen paralel hibrit güç kontrol stratejisinden oluşmaktadır. Paralel hibrit araç, bulanık mantık kontrol alt sistemi Simulink modeli Şekil 5.19’da görülmektedir. Bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen kontrol stratejisinde araç hızı, batarya doluluk oranı ve gaz/fren pedal konumları temel alınmıştır. Alınan bu temel bilgilerin yanında, bulanık mantık kontrol sistemine içten yanmalı motor torku, elektrik motor torku ve vites kademesi girdisi sağlanmaktadır. Bulanık mantık kontrol sistemine girdisi sağlanan bu veriler, araç için geliştirilen kontrol stratejisi üzerinde değerlendirilip, aracın sürülmesi için gerekli optimum İYM ve EM tork dağılımlarını yapmaktadır.



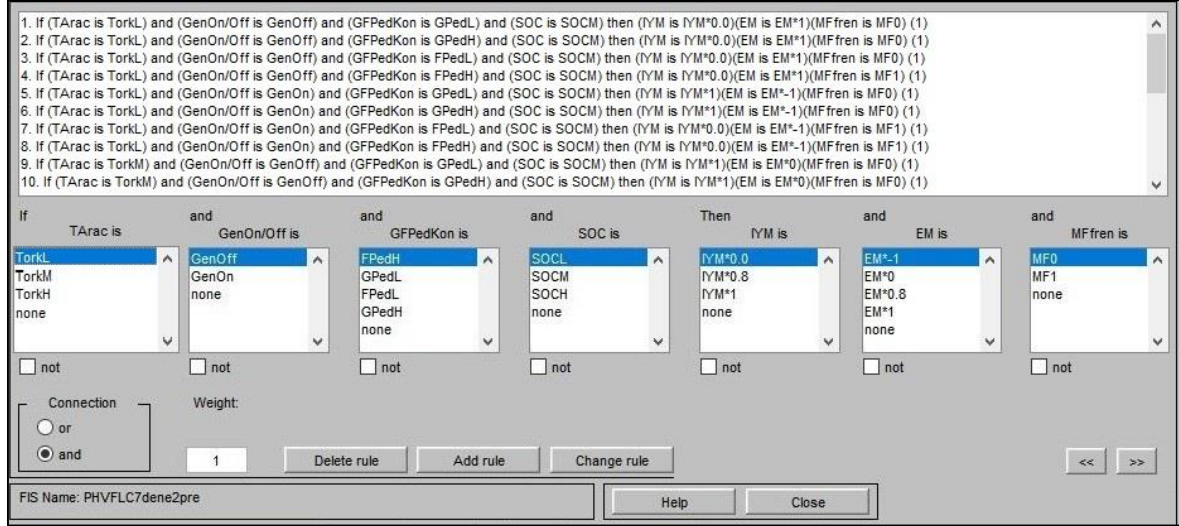
Şekil 5.19. Paralel hibrit araç bulanık mantık kontrol sistemi modeli (araç kontrolü ikinci aşaması)

Paralel hibrit aracın güç yönetiminde EM ve İYM torklarının optimum şekilde dağılımlarının kontrolü Şekil 5.20’de görülen bulanık mantık yöntemi ile sağlanmaktadır.



Şekil 5.20. Paralel hibrit araç bulanık mantık kontrolcüsü

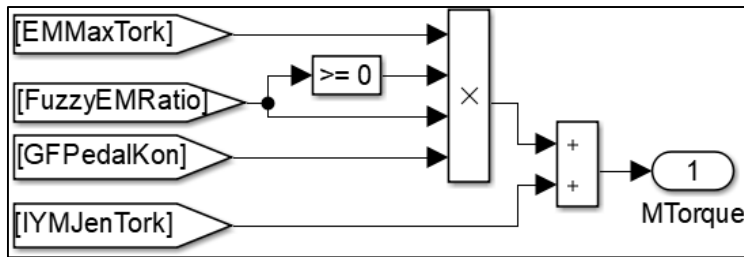
Paralel hibrit aracın bulanık mantık yöntemi girdi parametreleri, kuralları ve kontrol sonucunda elde edilen değerleri içeren Şekil 5.21’de görülmektedir. Bulanık mantık kontrolcüsü, araç girdileri oluşturulmuş kural algoritmaları üzerinde yorumlayarak, en uygun çıktı parametrelerini üretmektedir. Bulanık mantık kontrol yönteminde oluşturulan kurallar ek 2’de verilmiştir.



Şekil 5.21. Bulanık mantık stratejisi girdi/çıkı parametreleri ve kuralları

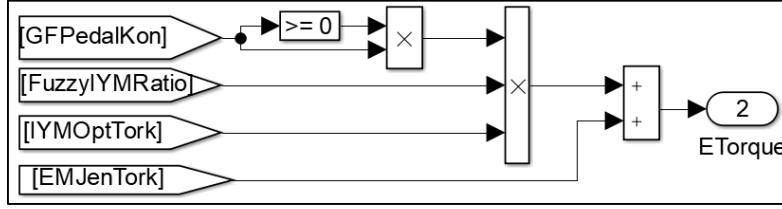
5.4.3. İYM ve EM tork değerlerinin belirlenmesi

Bulanık mantık kontrol sistemine bazı noktaların aşılabilmesi ve netleşebilmesi için bazı alt sistemler ile destek verilmiştir. Güç aktarma sistemine girdisi sağlanan EM tork değeri Şekil 5.22’de görülen alt Simulink modelinde hesaplanmaktadır. Gaz/fren pedal konumu, EM tork oranı, anlık devire bağlı maksimum motor torku gibi parametrelerin anlık girdisi sağlanarak, güç aktarma sistemine uygulanan tork değeri belirlenmektedir.



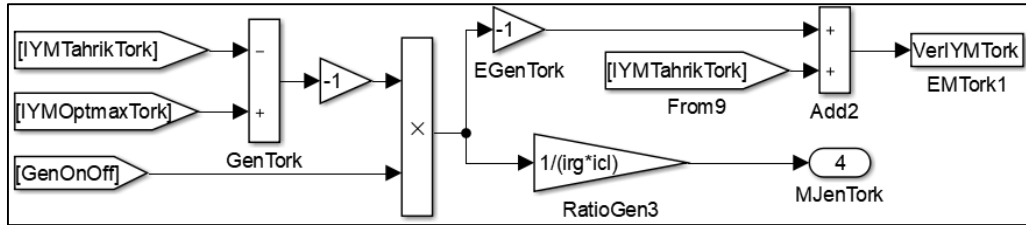
Şekil 5.22. Paralel hibrit araç EM Tork değerinin hesaplandığı Simulink alt sistem modeli

İYM tarafından üretilen torkun güç aktarma sistemine sağladığı tork değeri Şekil 5.23’de görülmektedir.



Şekil 5.23. Paralel hibrit araç İYM tork değerinin hesaplandığı Simulink alt sistem modeli

İYM tarafından üretilen tork, araç tahrikini sağladığı gibi elektrik motorunun jeneratör olarak çalışması durumlarında, elektrik motoruna gerekli tork üretimini de sağlamaktadır. İYM, jeneratöre tahrik sağlayacağı durumda maksimum tork değerleri ve optimum yakıt tüketimi bölgelerinde çalıştırılarak, aracın tahrikinden arda kalan tork üretimini jeneratör sistemi için kullanmaktadır. Böylece İYM en verimli bölgede her iki görevi birden gerçekleştirebilmektedir. İYM ile araç tahrikinin ve jeneratör sisteminin beslendiği Simulink alt modeli Şekil 5.24’de görülmektedir.



Şekil 5.24. Paralel hibrit araç İYM ile EM (jeneratör modunda) tork değerinin hesaplandığı Simulink alt sistem modeli

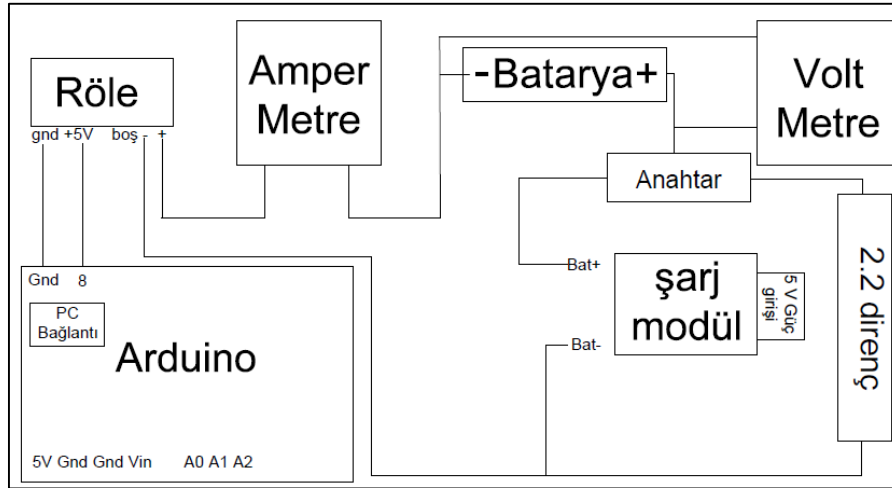
5.5. Batarya Modeli ve Pil Hücre Testi

Paralel hibrit araç üzerinde kullanılacak olan batarya modeli eşdeğer devre yöntemi ile modellenmektedir. Bu batarya paketinin en iyi şekilde simüle edilebilmesi ve tasarımında kullanılan batarya hücresine ait bazı karakteristik özelliklerin belirlenebilmesi için test düzeneği kurulup test işlemi yapılmıştır.

5.5.1. Pil hücresi açık devre gerilimi ve iç direnç testi

Batarya hücresi üreticileri, ortam sıcaklığı, batarya şarj çevrim ömrü gibi etkenler bataryanın iç direncini sürekli değiştirdiği için teknik bilgi sayfası ve kataloglarında ortalama bir iç direnç vermekte olup batarya doluluk oranına bağlı iç direnç grafiği paylaşamamaktadır. Bu çalışma kapsamında test düzeneği oluşturulmuş ve batarya paketi tasarımında kullanılacak olan pil hücresinin şarj ve deşarj süresince “batarya doluluk oranına” bağlı “iç direnç” verileri elde edilmiştir.

Pil hücresi testi için hazırlanmış olan test düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 5.25’de görülmektedir. Test senaryosu, pil hücresini belirli süre şarj/deşarj işlemine tabi tutup 30 saniyelik aralıklar ile devrenin kapalı ve açık olduğu durumlar için veri alımı sağlanması şeklindedir. Test düzeneğinde bu işlem arduino mega kontrolünde bulunan röle ile sağlanmıştır. Şarj ve deşarj testi yapılması durumunda şarj cihazı veya direnç, anahtar sayesinde sisteme alınmaktadır. Ampermetrenin devreye seri bağlanması ile akım değeri, voltmetrenin devreye paralel bağlanması ile de sistem ve batarya gerilimi ölçülmüştür.



Şekil 5.25. Pil hücresi test düzeneği şematik gösterimi

Batarya testinin yapılacağı düzeneğin kurulmasında, Çizelge 5.3’de bulunan cihaz ve ekipmalar kullanılmıştır.

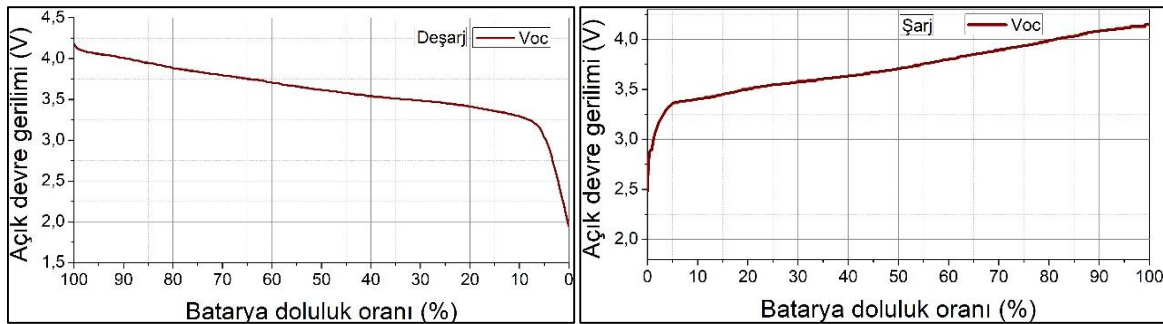
Çizelge 5.3. Test düzeneği materyelleri

Adı	Açıklama
Pil hücresi	Sony 18650 VTC5
Röle	Finder 5 V (maksimum 250 A)
Direnç	ARCOL 2,2 ohm 100 W
Kontrolcü	Arduino Mega
Ölçüm cihazı	UNI-T UT58D
Şarj cihazı	TP4056 Lityum batarya şarj modülü (1A)
Kablo	AWG 6 standartlarında

Pil hücresinin, deşarj testi öncesinde şarj cihazı ile tam doluluğu sağlanmıştır. Deşarj testi süresince pil hücreesine 30 saniye boyunca deşarj işlemi uygulanmış ve devre kesilmeden önce devre gerilimi ve akım ölçümü, devre kesildikten sonra ise açık devre geriliminin ölçümü yapılmıştır. Bu işlem 205 defa tekrarlanmış ve her bir veri kayıt altına alınmıştır.

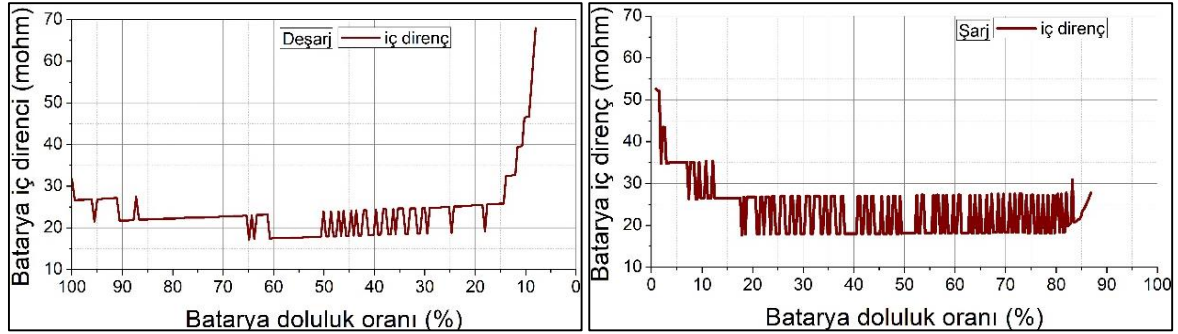
Pil hücresinin, şarj testi öncesinde maksimum deşarj durumu sağlanmıştır. Şarj testi süresince pil hücreesine 30 saniye boyunca şarj işlemi uygulanmış ve devre kesilmeden önce devre gerilimi ve akım ölçümü, devre kesildikten sonra ise açık devre geriliminin ölçümü yapılmıştır. Bu işlem 437 defa tekrarlanmış ve her bir veri kayıt altına alınmıştır.

Test sonucunda elde edilen, deşarj ve şarj süresince pil hücresi doluluk oranına bağlı açık devre gerilimi grafiği Şekil 5.26'da görülmektedir. Elde edilen batarya açık devre gerilim grafiği, pil hücresi datasheetinde bulunan değerler ile karşılaştırılmış olup doğruluğu teyit edilmiştir. Şarj modülünün akım kesmesi sonucunda pil hücre geriliminin maksimum 4,15 V değerlerine ulaştığı görülmüştür. Deşarj testi sürecinde, pil hücresinin %7 seviyesinde açık devre geriliminin 3,2 V olduğu, bu seviyenin altına düşmesi durumunda ise açık devre gerilimi düşümünün ivmelendiği görülmüştür.



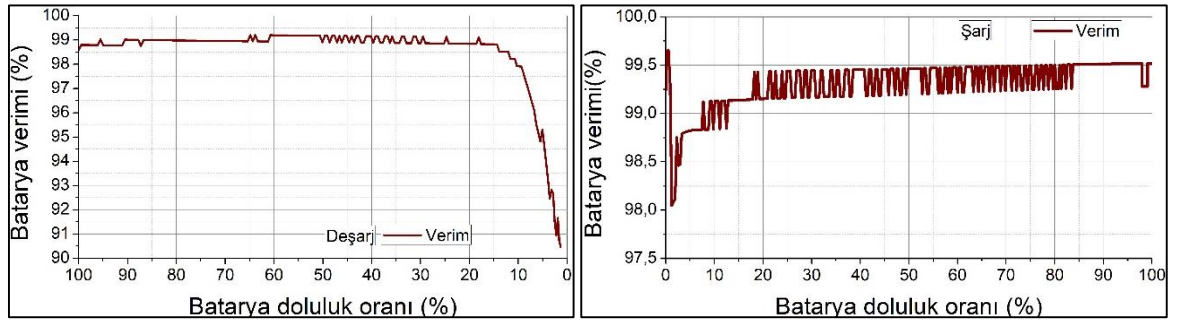
Şekil 5.26. Deşarj ve şarj süresince batarya doluluk oranına bağlı açık devre gerilim grafiği

Pil hücresinin, deşarj ve şarj süresince, pil hücresi doluluk oranına bağlı iç direnç grafiği Şekil 5.27’de görülmektedir. Test sonucunda pil hücresi doluluk oranının %15 seviyesinin altına düşmesi durumunda yükselmeye başladığı görülmüştür. Pil hücresi doluluk oranının %15 seviyesinin üzerinde olması durumunda, deşarj sürecinde ortalama iç direnci 22,36 mohm, şarj sürecinde ise 21,88 mohm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.27. Deşarj ve şarj süresince batarya doluluk oranına bağlı iç direnç grafiği

Pil hücresinin deşarj ve şarj süresince, pil hücresi doluluk oranına bağlı verim grafiği Şekil 5.28’de görülmektedir. Pil hücresi doluluk oranının %15 seviyesinin üzerinde olması durumunda, deşarj sürecinde ortalama verimin %98,987, şarj sürecinde ise %98,892 değerlerinde olduğu tespit edilmiştir.

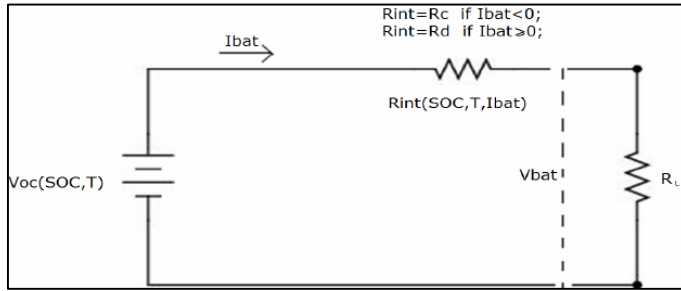


Şekil 5.28. Deşarj ve şarj süresince batarya doluluk oranına bağlı verim grafiği

Test yöntemi ile elde edilen açık devre gerilimi (V_{oc}), devre gerilimi (V_{bat}) ve devreden geçen akım (I_{bat}) verileri eşdeğer devre yöntemi Rint modeline girdi olarak sağlanmıştır.

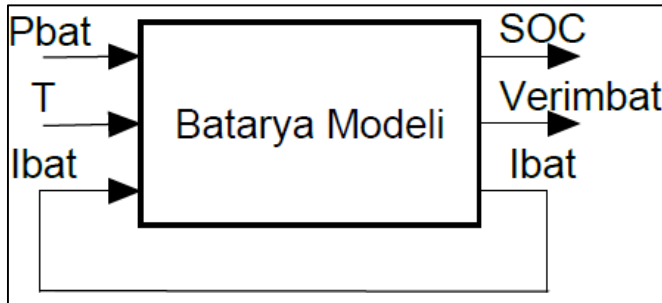
5.5.2. Batarya modeli

Paralel hibrit araç üzerinde kullanılacak olan batarya modeli eşdeğer devre yöntemi ile modellenmektedir. Eşdeğer devre yöntemi kendi içinde R_{int} , PNGV, RC ve Thevenin modeli olmak üzere dörde ayrılmaktadır. Bu çalışmada eşdeğer devre yöntemi, R_{int} devre modeli üzerinde modellenmiştir. Şekil 5.29’da R_{int} devre şeması görülmektedir.



Şekil 5.29. Rint batarya devre şeması

Hibrit elektrikli araçta üzerinde araca tahrik sağlayan elektrik motoru ve yüksek gerilim ile çalışan alıcılar kullanıldığı süreçte bataryadan enerji çekilmektedir. P_{bat} alıcıların bataryadan çekmek istediği gücü, SOC (Batarya Şarj Durumu) ise bataryanın şarj oranını göstermektedir. Batarya şarj durumunun hesaplanabilmesi için bataryadan çekilen akımın (I_{bat}) hesaplanması gerekmektedir. Batarya sıcaklığının batarya iç direncine etkisi de değerlendirilmektedir. Batarya modelinden çıktı olarak batarya şarj durumu ve batarya verimi alınmaktadır. Bataryaya girdisi yapılan ve çıktı olarak alınan parametreler Şekil 5.30’da görülmektedir.



Şekil 5.30. Batarya modeli girdi ve çıktı parametreleri

Batarya SOC ve verim değerlerinin hesaplanabilmesi için batarya R_{int} devre modelinin matematiksel denklemleri kullanılmıştır [77].

$$R_{ic} = \begin{cases} I_{bat} < 0 & \text{ise } R_{charge}(SOC, T) \\ I_{bat} > 0 & \text{ise } R_{discharge}(SOC, T) \end{cases} \quad (5.56)$$

$$V_{bat} = V_{oc}(SOC, T) + I_{bat} R_{ic} \quad (5.57)$$

$$I_{bat} = \frac{P_{bat}}{V_{bat}} \quad (5.58)$$

$$\Delta SOC = \frac{\int_{t_0}^t V_{bat} I_{bat} dt}{Bat_{TopEn}} \quad (5.59)$$

$$\Delta SOC = SOC_i + \Delta SOC \quad (5.60)$$

Eşitliklerde kullanılan R_{ic} (ohm) batarya iç direncini, R_{charge} (ohm) şarj esnasında iç direncini, $R_{discharge}$ (ohm) ise deşarj boyunca batarya iç direncini vermektedir. V_{bat} (V) batarya gerilimini, V_{oc} (V) ise açık devre gerilimini temsil etmektedir. Bataryanın toplam enerjisini ise Bat_{topen} terimi ifade etmektedir.

Eşitlik 5.57, 5.58 ve 5.59'da verilen denklemler ile bataryadan çekilen akım, amper cinsinden hesaplanmaktadır. Eşitlik 5.60'da ise batarya şarj durumunun değişimi hesaplanmış olup eşitlik 5.61'de batarya şarj durumu anlık olarak hesaplanmaktadır [77].

Hibrit ve elektrikli araçların enerji verimliliği etkisi incelendiğinde batarya verimi önemli bir yer almaktadır. Batarya verimini matematiksel eşitlikler ile hesaplamak mümkündür. Şarj ve deşarj sırasında batarya şarj durumuna bağlı iç dirençlerin bilinmesi ile iç dirençlerden kaynaklı güç kaybı hesaplanıp daha sonra verim eşitliği türetilebilmektedir. Eşitlik 5.62'de batarya veriminin hesaplanmasında kullanılan eşitlik verilmiştir [78].

$$\eta_{bat} = \begin{cases} I_{bat} < 0 & \text{ise } \frac{V_{oc} I_{bat}}{V_{oc} I_{bat} - I_{bat}^2 R_{ic}} \\ I_{bat} > 0 & \text{ise } \frac{V_{oc} I_{bat}}{V_{oc} I_{bat} + I_{bat}^2 R_{ic}} \end{cases} \quad (5.61)$$

Paralel hibrit araç üzerinde lityum demir fosfat batarya kullanılmıştır. Kullanılan bataryanın karakteristik özellikleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Lityum iyon batarya karakteristik özellikleri [79]

Nominal Kapasite	Minimum Gerilim	Nominal Gerilim	Maksimum Gerilim	Maksimum Deşarj Akımı	Minimum Deşarj Akımı
2600 mAh	2,5 V	3,6 V	4,2 V	30 A	12 A

Lityum bataryanın deneysel olarak şarj ve deşarj süresince batarya şarj durumuna bağlı, iç direnç ve açık devre gerilim grafikleri bulunmaktadır. Ayrıca lityum iyon bataryaya ait, batarya şarj durumuna bağlı direnç katsayısı değişim grafiği de bulunmaktadır. Hibrit araç bataryasının şarj ve deşarj süresince, batarya doluluk oranına bağlı iç direnç ve açık devre gerilimi belirlenmektedir.

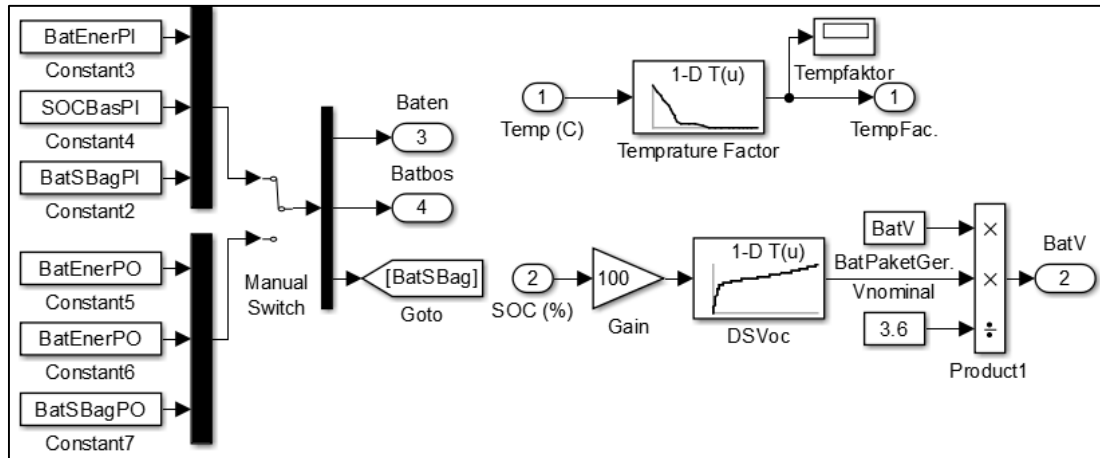
Hibrit araç için optimum batarya paketi oluşturulmuştur. Batarya paketinin oluşturulması, lityum iyon batarya hücresinin seri ve paralel bağlanması ile elde edilmektedir. Hibrit elektrikli araç için optimum batarya gerilimi, akımı ve enerjisi belirlenecektir. Batarya paketinin oluşturulması için gereken Eşitlikler 5.63, 5.64 ve 5.65’de verilmektedir.

$$V_{bat} = V_{nom} \cdot Bağlantı_{paralel} \quad (5.62)$$

$$I_{max} = I_{nom} \cdot Bağlantı_{seri} \quad (5.63)$$

$$Bat_{Enerji}(kWh) = \frac{(Bat_{kap(Ah)} Bağlantı_{seri}) \cdot V_{nom}}{1000} \quad (5.64)$$

Hibrit araç üzerinde kullanılacak motor 400 V ile çalışmakta olup, batarya paketinin nominal çalışma gerilimi 400 V olması, sistemin sağlıklı çalışması açısından uygun görülmüştür. Testi yapılan lityum iyon batarya hücresinin nominal gerilimi 3,6 V olup, 110 batarya hücresi seri olarak bağlanarak 400 V gerilim elde edilmektedir. Elektrik motoru maksimum 50 kW güç üretebilmekte olup bu batarya paketi üzerinden maksimum 125 A akım çekebilmektedir. Batarya paketi geriliminin minimum değere (330 V) düştüğü durumda ise maksimum 150 A akım çekebilmektedir. Bataryanın bu değeri sağlayabilmesi için 5 adet batarya hücresinin paralel bağlanması gerekmektedir. Batarya paketi üzerinde toplam 34,1



Şekil 5.32. Lityum iyon batarya açık devre gerilim grafiği ve sıcaklık katsayısı Simulink modeli

5.6. Vites Kutusu ve Tork Birleştirici Modelleri

Paralel hibrit araç modelinde “Hyundai Transys” marka, “D022S7” model 7 ileri DCT şanzıman kullanılmıştır. Şanzıman maksimum 215 Nm tork iletimine müsaade etmektedir. Şanzımanın 7 ileri, geri ve boş vites olmak üzere 3 konumu bulunmakta olup, kontrolü elektronik olarak sağlanmaktadır. Çizelge 5.5’de şanzıman redüksiyon oranları ve teknik veriler, şekil 5.33’de ise şanzımana ait görsel bulunmaktadır.

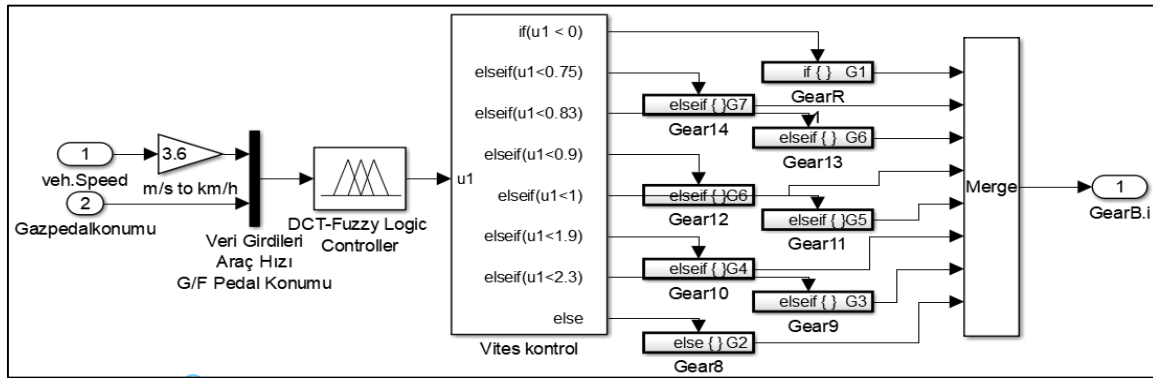
Çizelge 5.5. Hyundai Transy marka “D022S7” model DCT şanzıman redüksiyon oranları

Vites	Redüksiyon Oranı	Vites	Redüksiyon Oranı
1.	3,813	5.	0,837
2.	2,261	6.	0,902
3.	1,957	7.	0,756
4.	1,073	R	5.101



Şekil 5.33. “Hyundai Transy” marka “D022S7” model DCT şanzıman

Paralel hibrit araç üzerinde kullanılan 7 ileri bir DCT şanzıman modeli Matlab/Simulink üzerinde oluşturulmuş olup Şekil 5.34’de görülmektedir. Ürün kataloğundan alınan veriler doğrultusunda şanzıman redüksiyon oranları Simulink bloklarına girilmiştir. Aracın hangi hızda hangi viteste olması gerektiğini seçen kontrolcü oluşturulmuştur. Oluşturulan şanzıman modelinde aracın anlık hız girdisine göre vites geçişleri sağlanmaktadır. İçten yanmalı motorun en verimli noktalarında çalışması ve aracın gerekli tork ihtiyaçlarını sağlayabilmesi için optimum hız-vites oranı belirlenerek, vites geçiş hızları optimize edilmiştir.



Şekil 5.34. DCT şanzıman Matlab/Simulink modeli

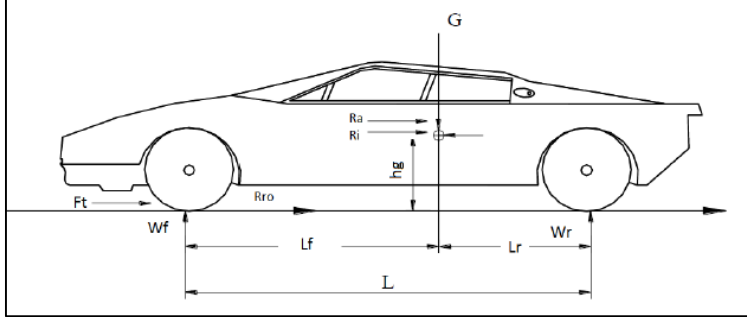
Paralel hibrit araç şanzıman redüksiyon oranı bu model üzerinde belirlenmiş olup, belirlenen redüksiyon oranı güç aktarma sistemi modeline gönderilmektedir. Güç aktarma sistemi modelinde redüksiyon oranına göre dişli atalet momenti değeri belirlenerek transfer fonksiyonunda kullanılmaktadır.

Hibrit araç üzerinde kullanılan tork birleştirici, İYM ile elektrik motorunda üretilen torku birleştirerek difransiyele daha sonra tekerleklerle iletmektedir. İçten yanmalı motorda üretilen tork DCT şanzıman vasıtası ile gerekli redüksiyona uğrayarak tork birleştiricinin girişine iletilmektedir. Elektrik motorunda üretilen tork ise elektrik motoru çıkışında bulunan sabit dişli kutusunda redüksiyona uğrayarak tork birleştiricinin girişine iletilmektedir.

5.7. Araç Dinamiği Modeli

Araç üzerinde kullanılan rejeneratif frenleme ile geri kazanılan enerji miktarının en büyük parametresi, tahrik sağlanan akslara düşen frenleme gücüdür. Oluşturulan paralel hibrit araç modeli önden çekişli olup toplam frenlemenin ön ve arka akslara düşen yük dağılımının hesabı

yapılmıştır. Araca etki eden direnç kuvvetleri ve araç dinamiği parametreleri Şekil 5.35’de görülmektedir.



Şekil 5.35. Düz zeminde araç dinamik modeli [80]

Araç fren mesafesinin en aza indirgenebilmesi için en etkili frenlemenin yapılması, en etkili frenleme için ise fren kuvveti ile aks yük dağılımlarının orantılı olarak dağıtılması gerekmektedir. Araç frenleme sırasında negatif ivmelenmeye sahip olmakta ve aracın ağırlık merkezi öne doğru hareket etmektedir. Bu durum frenleme anında ön ve arka akslara düşen yük dağılımlarının orantısız olmasına neden olmaktadır. Aracın ivmelenme anında yük dağılımları aşağıda türetilen eşitliklerde gösterilmektedir.

$$F_{zF} = \frac{mg}{L} \left(L_R + h_{cog} \frac{a_x}{g} \right) \quad (5.65)$$

$$F_{zR} = \frac{mg}{L} \left(L_F - h_{cog} \frac{a_x}{g} \right) \quad (5.66)$$

$$\frac{F_{zF}}{mg} = \frac{1}{L} \left(L_R + h_{cog} \frac{a_x}{g} \right) \quad (5.67)$$

$$\frac{F_{zR}}{mg} = \frac{1}{L} \left(L_F - h_{cog} \frac{a_x}{g} \right) \quad (5.68)$$

$$F_{toplaml} = F_f + F_r \quad (5.69)$$

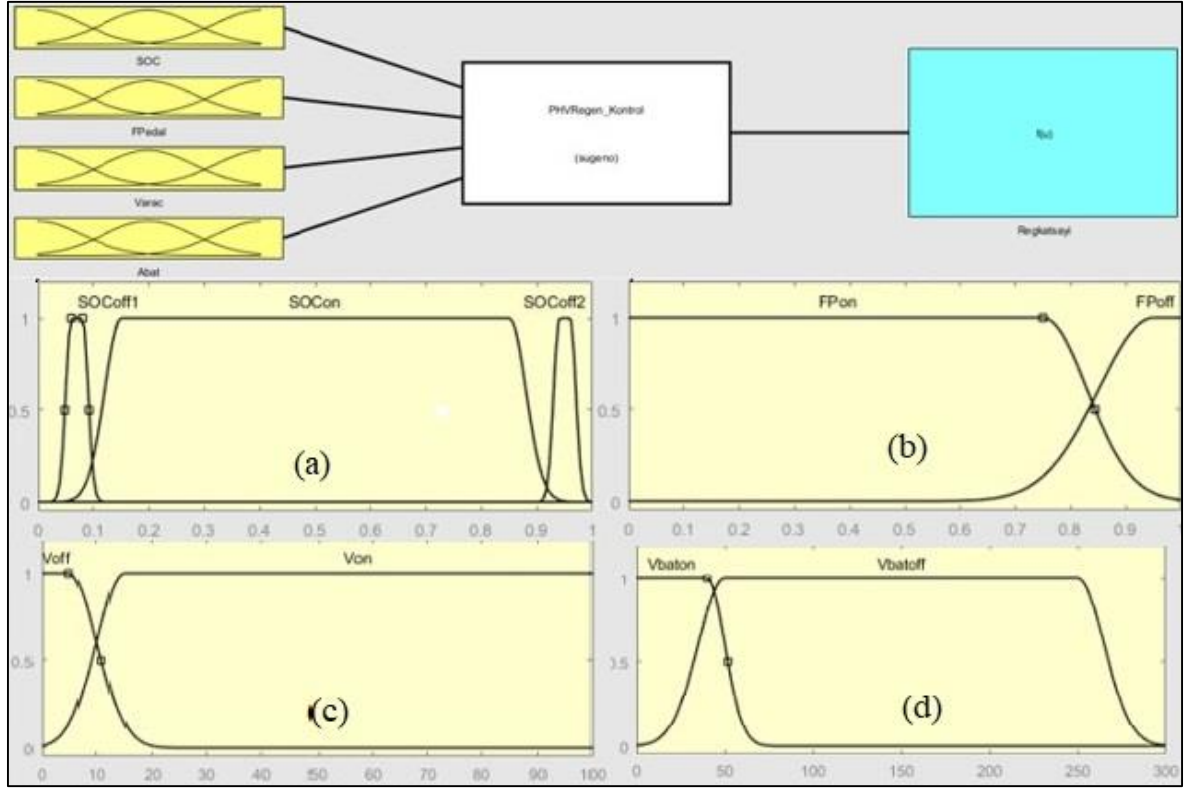
$$\text{Ön Fren Etkinlik Katsayısı} = \frac{F_f}{F_{\text{toplam}}} \quad (5.70)$$

$$\text{Arka Fren Etkinlik Katsayısı} = \frac{F_r}{F_{\text{toplam}}} \quad (5.71)$$

5.8. Rejeneratif ve Mekanik Fren Modeli

Hibrit ve elektrikli araçların tek akstan tahrik edilmesi durumu, rejeneratif fren sistemi kontrolünün karmaşık bir yapı olmasına neden olmaktadır. Elektrik motor tarafından tahrikin sağlandığı aks üzerinde, rejeneratif frenleme gücünden en iyi şekilde faydalanılmak istenmektedir. Araç dinamik dengesinin bozulmaması ve güvenlik faktörünün önde tutulması amacı ile rejeneratif frenlemenin yanında hidrolik frenler ile frenlemeye destek çıkılmaktadır. Ön ve arka akslarda sağlanan frenleme kuvvet dağılımlarının bir çok parametreye de etkisi bulunmaktadır [67].

Frenlemeden istenen en büyük özelliklerden birisi de aracın en kısa mesafede güvenli bir şekilde durdurulabilmesi veya istenilen sürede istenilen hıza düşürülebilmesidir. Rejeneratif frenleme katsayısı bulanık mantık yöntemi ile hesaplanacak olup, bu yöntemde aks yük dağılımları, batarya şarj durumu, araç hızı, fren konumu ve maksimum şarj akımı faktörleri dahil edilmiştir. Rejeneratif fren sistemi, bulanık mantık kontrol giriş parametreleri olan, batarya şarj durumu (a), fren konumu (b), araç hızı (c), maksimum şarj akımı (d) üyelik fonksiyonlarını içeren arayüz şekil 5.36 'da verilmiştir.

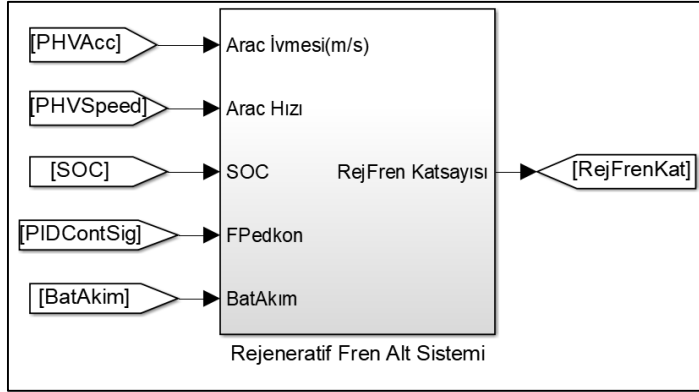


Şekil 5.36. Batarya şarj oranı (a), araç hızı (b), fren pedal konumu (c), maksimum şarj akımı (d) bulanık mantık üyelik fonksiyonu

Paralel hibrit araç üzerinde geri kazanılan toplam rejeneratif fren enerjisinin hesaplanması, toplam fren enerjisinin rejeneratif fren katsayısı ile çarpılması ile elde edilmektedir. Rejeneratif fren katsayısı ise ön fren etkinlik katsayısı ve açıklaması yapılan diğer dört maddenin etkisi ile hesaplanmaktadır.

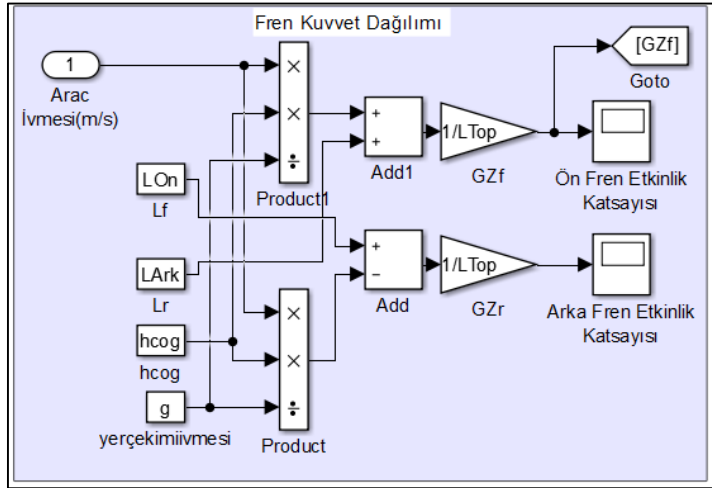
$$Rejeneratif\ Fren\ Etkinlik\ Katsayısı = \frac{F_f}{F_{toplaml}} \cdot (\varphi_{Maxşarjakımı} \cdot \varphi_{FPkonumu} \cdot \varphi_{SOC} \cdot \varphi_{Araçhızı}) \quad (5.72)$$

Paralel hibrit elektrikli araç rejeneratif fren sisteminin kontrol edilebilmesi için Şekil 5.36’da görüldüğü gibi ayrı bir alt Simulink modeli oluşturulmuştur. Sisteme batarya şarj akımı, araç hızı, araç ivmesi, batarya doluluk oranı, fren pedalı parametrelerinin girdisi sağlanmış olup sonuç olarak ise rejeneratif fren katsayısı elde edilmektedir. Şekil 5.37’de rejeneratif fren sistemine ait girdi ve çıktılarının belirtildiği Simulink modeli görülmektedir.



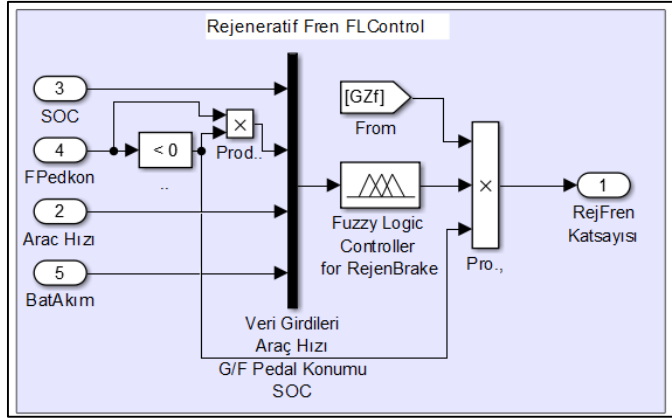
Şekil 5.37. Rejeneratif fren sistemi Simulink modeli

Rejeneratif fren sistemi modelinde, araç fren kuvvetlerinin dağılımı ve rejeneratif fren sisteminin etkinlik katsayısının hesaplanabilmesi için ayrı iki Simulink alanı oluşturulmuştur. Araç fren kuvvet dağılımı modelinde aracın ön ve arka tekerlerde oluşan fren kuvvet dağılımları elde edilmektedir. Elde edilen değer, rejeneratif fren katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Araç fren dağılımının hesaplanmasını sağlayan Simulink alt modeli Şekil 5.38’de görülmektedir



Şekil 5.38. Ön ve arka fren kuvveti dağılımının hesaplanmasını sağlayan Simulink modeli

Rejeneratif fren sisteminin batarya doluluk oranı, araç hızı, fren pedal konumu ve batarya şarj akımına bağlı kontrolü, bulanık mantık yöntemi ile yapılmıştır. Rejeneratif fren sistemi bulanık mantık ile kontrolünü sağlayan Simulink alt modeli Şekil 5.39’da görülmektedir.



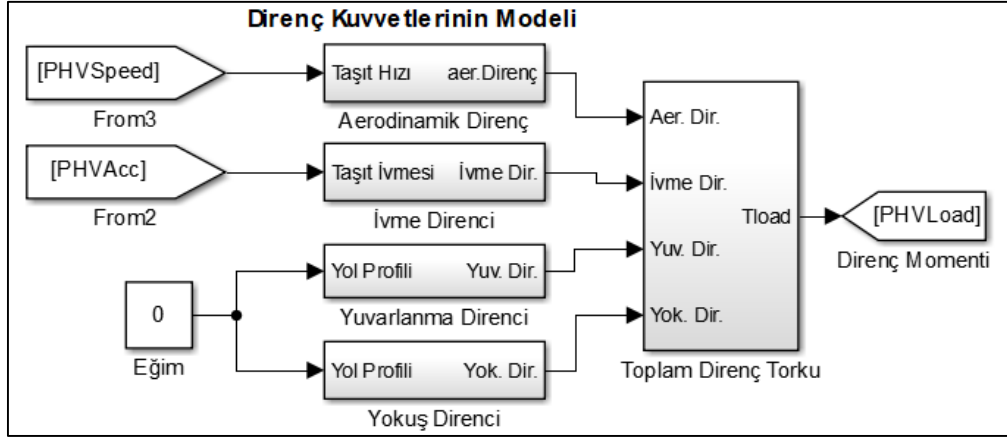
Şekil 5.39. Rejeneratif fren sisteminin bulanık mantık yöntemi ile kontrolü Simulink modeli

Arka aksa aşırı fren kuvvetinin uygulanması ise aracın denge kaybına uğramasına yol açabilmektedir.

5.9. Direnç Kuvvetleri Modeli

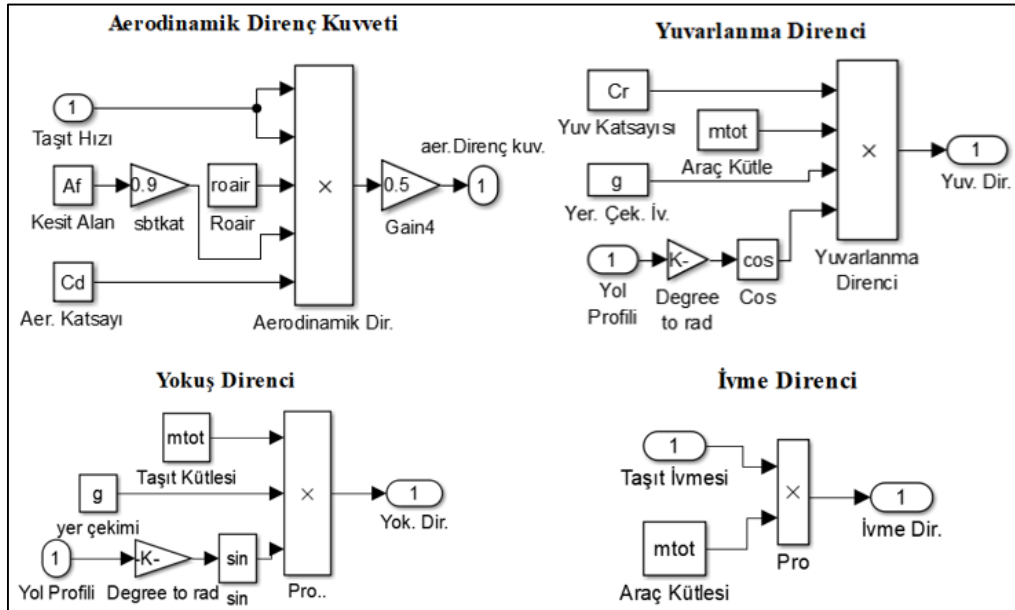
Paralel hibrit araca etki eden direnç kuvvetlerin tekerleklerde oluşturduğu direnç torkunun, güç aktarma sistemi transfer fonksiyonuna girdisi sağlanması gerektiği için direnç kuvvetlerinin modeli oluşturulmuştur. Araca etki eden direnç kuvveti olarak aerodinamik, yuvarlanma, ivme ve yokuş direnç kuvvetleri ele alınmıştır. Toplam direnç momentinin hesaplandığı Simulink alt sistem modeli Şekil 5.40’da görülmektedir.

Araç direnç kuvvetleri modeli veri girişi, direnç kuvvetleri matematiksel denklemleri ile direnç kuvvetlerinin direnç torkuna dönüştürülmesi ve direnç moment çıktısının elde edilmesi şeklinde oluşturulmuştur. Direnç kuvveti modeline araç hızı, araç ivmesi ve yol eğiminin anlık girişleri sağlanmaktadır. Diğer araç ve yol parametrelerinin girdisi ise sabit veri olarak Matlab üzerinden yapılmıştır. Tüm veri girişlerinin sağlanması ile aerodinamik, yuvarlanma, ivme ve yokuş direnç kuvvetlerinin hesabı matematiksel denklemler üzerinden yapılmakta olup toplam direnç kuvveti hesaplanmaktadır. Araca etki eden toplam direnç kuvveti tekerlek yarıçapı ile çarpılıp, güç sistemine etki eden direnç tork kuvvetinin hesabı yapılmaktadır.



Şekil 5.40. Paralel hibrit araç direnç kuvvetleri Simulink modeli

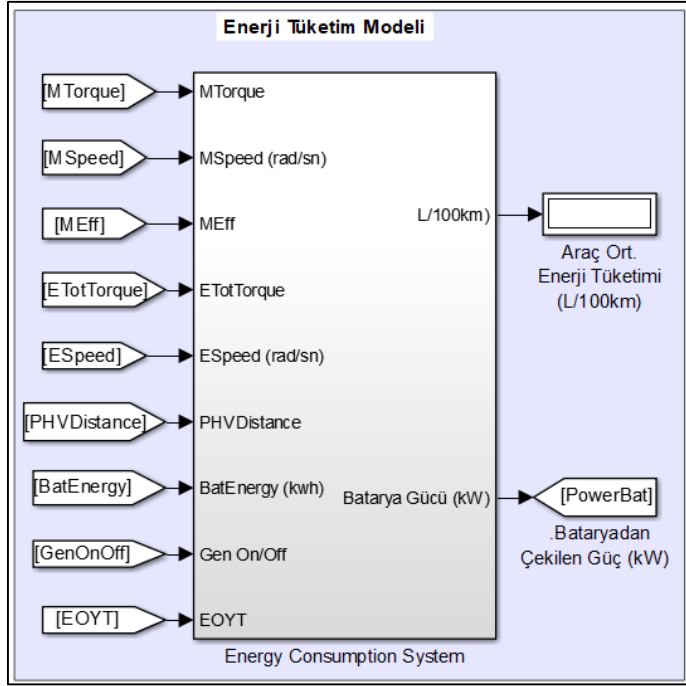
Paralel hibrit araca etki eden direnç kuvvetlerinin matematiksel denklemlerinin Simulink ortamına aktarılmış hali Şekil 5.41’de görülmektedir.



Şekil 5.41. Paralel hibrit araç direnç kuvvetleri Simulink modeli

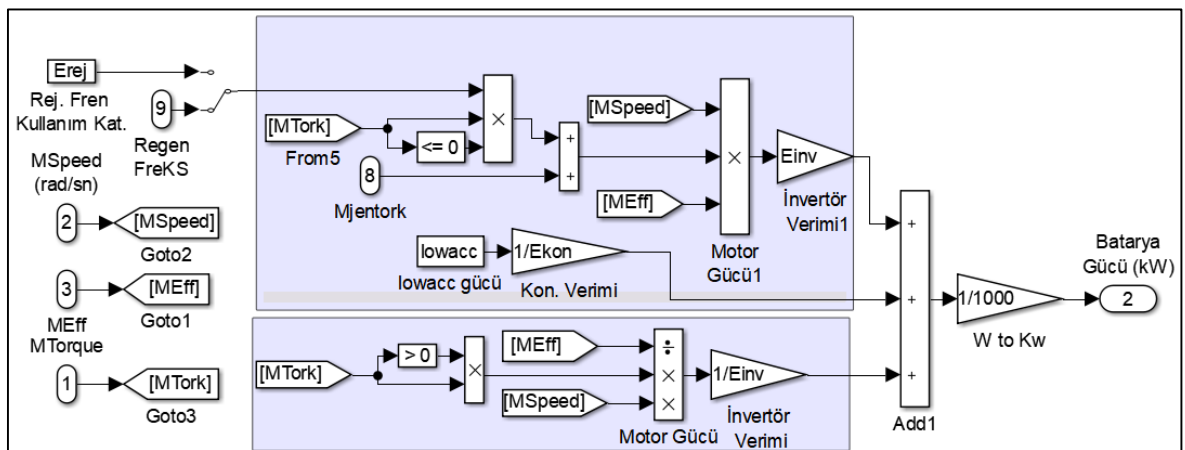
5.10. Elektrik Enerji ve Yakıt Tüketim Modeli

Elektrik enerjisi ve yakıt tüketim alt sistem modelinde paralel hibrit aracın elektrik sistemi (tahrik+ aksesuarlar) gücü ve aracın ortalama yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Alt sistem modeline girdisi sağlanan ve model üzerinde hesaplanan parametreler Şekil 5.42’de araç enerji tüketim Simulink modelinde görülmektedir.



Şekil 5.42. Araç enerji tüketim modeli

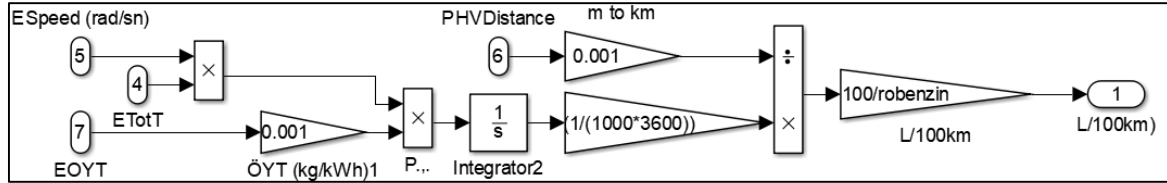
Araç enerji tüketim modeli, elektrik enerji ve yakıt tüketiminin hesaplandığı iki alt modelden oluşmaktadır. Elektrik enerjisi tüketim modelinde, aracın tahriki ve yardımcı aksesuarlarının tükettiği elektrik gücü hesaplanarak, Rint yöntemi ile oluşturulan batarya modeline gönderilmektedir. Elektrik tahrik ve aksesuar sistemlerinin tükettiği gücün hesaplandığı model Şekil 5.43’de görülmektedir.



Şekil 5.43. Araç elektrik (tahrik + aksesuar) gücü hesabı modeli

Paralel hibrit araç İYM’nin tork ve devire bağlı ÖYT değeri, İYM modelinde anlık olarak belirlenmektedir. Aracın aldığı yol ise araç güç aktarma sistemi modelinde anlık olarak

hesaplanmaktadır. İYM tarafından üretilen tork ve devir değerlerinde, motor gücü hesaplanmadır. Motor gücü ve ÖYT değerinin çarpımı ile motor yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Toplam tüketilen yakıtın, toplam alınan yola bölümüyle ise araç ortalama yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Paralel hibrit aracın ortalama yakıt tüketim değerinin hesaplandığı Simulink modeli Şekil 5.43’de görülmektedir.



Şekil 5.44. Araç ortalama yakıt tüketimi hesabı modeli

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapılarının Matlab/SİMULİNK simülasyon programı üzerinde modellenmesi yapılmıştır. Farklı yapılarda oluşturulan modeller üzerinde yakıt tüketimi karşılaştırmasının doğru bir şekilde yapılabilmesi için araç modelleri üzerinde kullanılan batarya, EM, İYM, vites kutusu, rejeneratif fren kontrol stratejisi gibi alt sistemler ve araç parametreleri, tüm modellerde aynı alınmıştır.

Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapılarının FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında kullanımında EM ve İYM'nin, çevrim boyunca çalışma noktaları çıkarılmış ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit yapının US 06 sürüş çevrimi koşullarında, EM ve İYM haritaları üzerinde çalışma noktaları çıkarılmış ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

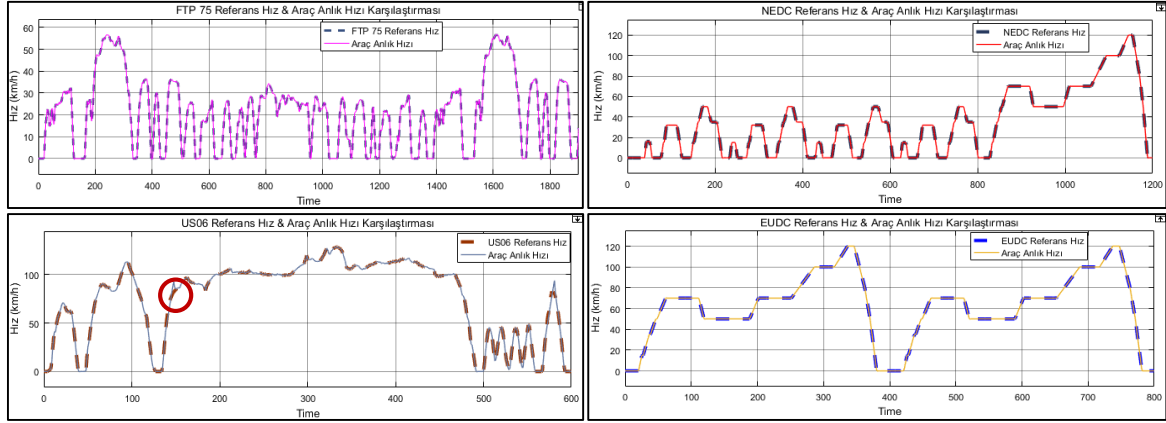
Modeli oluşturulan farklı yapılara sahip araçların NEDC, ECE 15, EUDC, US06 ve FTP 75 sürüş çevrimi şartlarında kullanılması durumunda yakıt tüketim değerleri model üzerinden belirlenmiştir.

Rejenratif frenlemenin farklı araç yapıları üzerinde ve farklı sürüş çevrim koşullarında yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir. Hesaplanan enerji tüketim değerlerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

6.1. Simülasyon Sistem ve Alt Sistem Sonuçlarının İncelenmesi

Çalışma kapsamında dört farklı araç yapısı modellenmiş olup, ön iletimli paralel hibrit araç modelinin farklı sürüş çevrimi koşullarında sistem ve alt sistem sonuçları incelenmiştir.

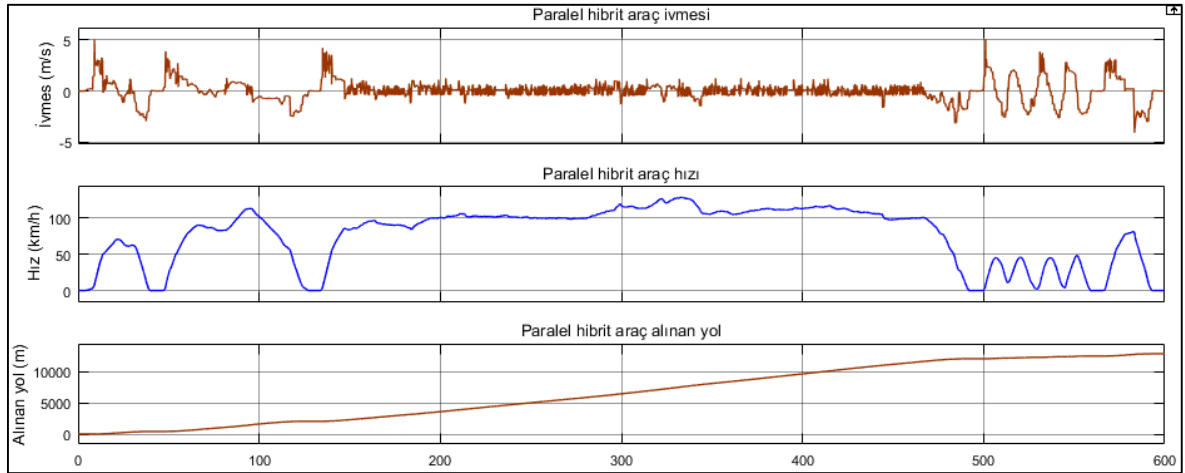
Ön iletimli paralel hibrit aracın farklı sürüş koşullarında kullanılması durumunda, oluşturulan model üzerinde araç hızının referans hız değerlerinde seyir ettiği Şekil 6.1'de görülmektedir. Son iletimli araç modelinde elde edilen sonuçlar da bu şekilde olup, bazı yüksek ivme noktalarında kabul edebilir sapmalar olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.1. Ön iletimli paralel hibrit araç hızının FTP 75, NEDC, US06 ve EUDC referans hız girdilerini takibi

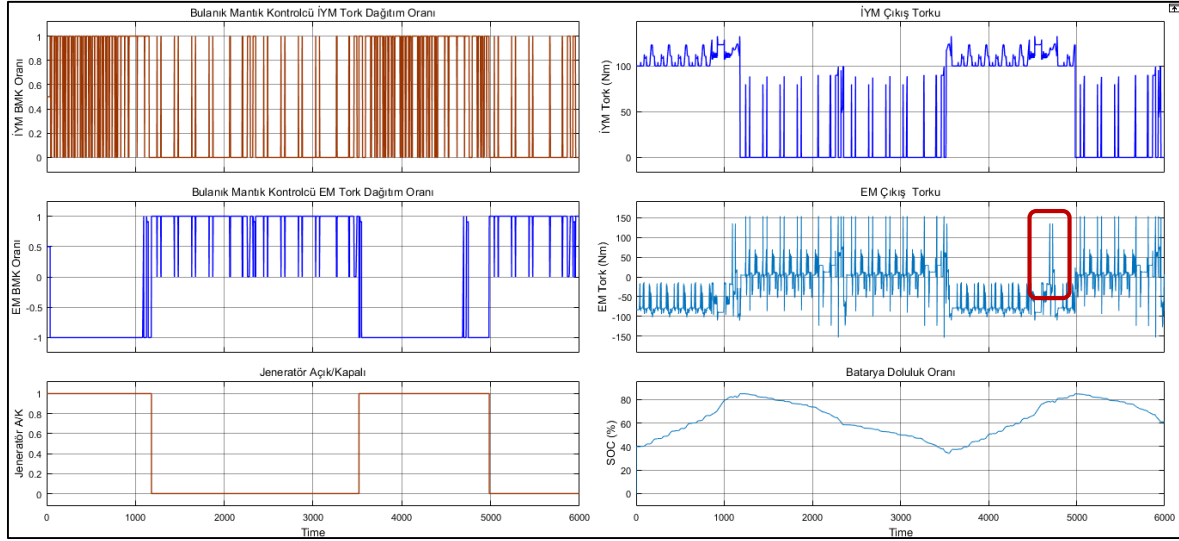
Seri hibrit ve konvensiyonel araç yapıları FTP 75, NEDC ve EUDC referans sürüş çevrimleri ile seyir edebilirken, US 06 sürüş çevriminin yüksek hız ihtiacını karşılayamayarak, referans hızı takip edemediği saptanmış ve ortalama yakıt tüketim değerlerinin hesabına dahil edilememiştir.

Ön iletimli paralel hibrit aracın US 06 sürüş koşullarında seyiri süresince ivmesi, hızı ve alınan yol değerini içeren grafik Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2. Aracın US06sürüş çevrimi şartlarında ivme, hız ve alınan yol bilgileri

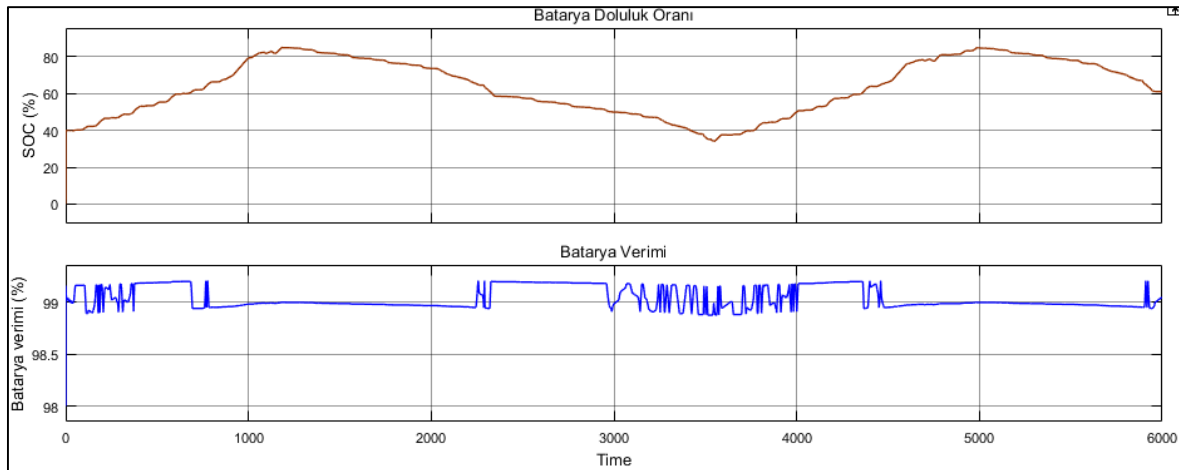
Ön iletimli paralel hibrit aracın, NEDC sürüş çevrimi şartlarında, bulanık mantık kontrolcüsü tarafından, SOC değerine bağlı EM ve İYM tahrik dağılım oranlarını ve tork değerlerini içeren simülasyon çıktısı Şekil 6.3’te görülmektedir. Paralel hibrit aracın bu süreçte sadece EM, sadece İYM, jeneratör modu ve rejeneratif fren modunda çalıştığı görülmektedir.



Şekil 6.3. Ön iletimli paralel hibrit araç bulanık mantık kontrolcü EM ile İYM çıkış dağıtım oranı ve torku (NEDC sürüş çevrimi şartlarında)

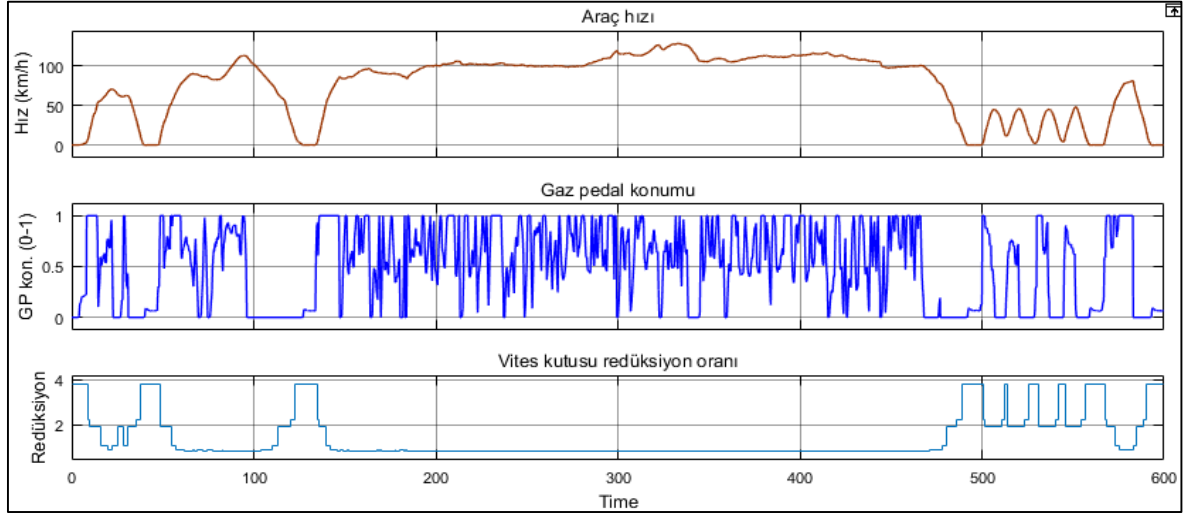
Paralel hibrit araç jeneratör modunda iken, İYM tam torkta çalışıp hem elektrik motoruna hem de aracın ihtiyacı olan tahrik torkunu vermekte olup yüksek tork ihtiyacı doğduğunda EM jeneratör modundan çıkıp, İYM ile birlikte çalışarak aracın tahrikini desteklemektedir. NEDC sürüş çevrimi boyunca aracın yüksek tork ihtiyacı çok olmamakla beraber, bu durum Şekil 6.3'te görülen kırmızı işaretli bölgede gerçekleşmiştir.

Ön iletimli paralel hibrit aracın NEDC sürüş çevrimi koşullarında seyri süresince batarya doluluk oranına bağlı verim grafiği Şekil 6.4'te görülmektedir. Batarya doluluk oranı %35 ile %80 seviyeleri arasında bulunduğu için verim düşmesi yaşamadan genellikle %99 seviyelerinde seyrettiği görülmüştür.



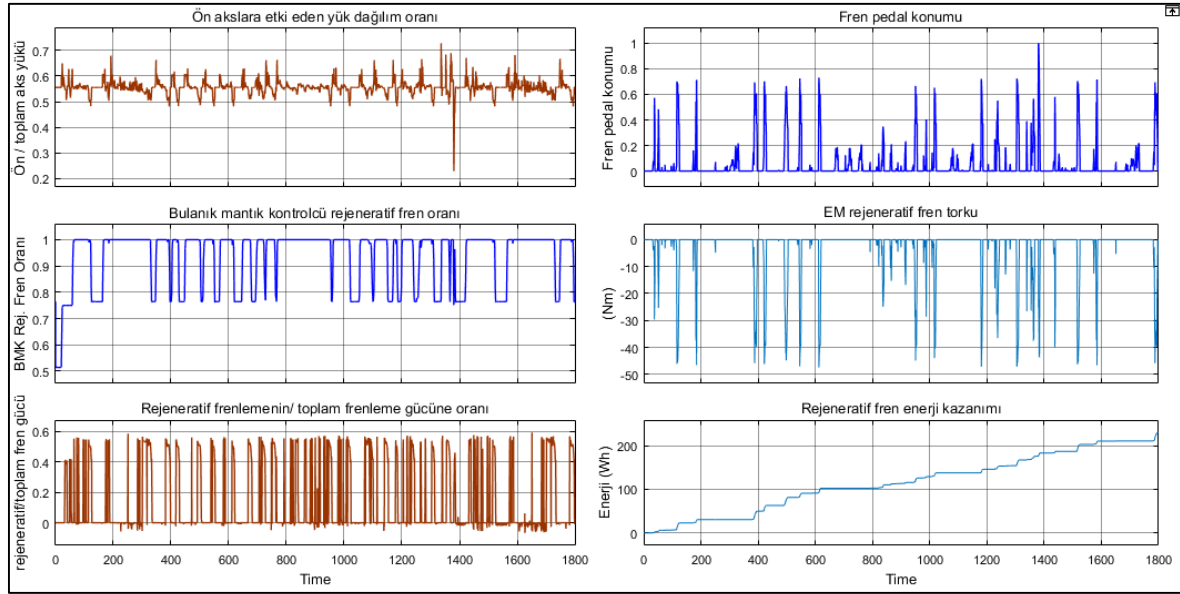
Şekil 6.4. Batarya doluluk oranına bağlı batarya verimi

Tüm araç yapılarının vites kademeleri model üzerinde, bulanık mantık yöntemi ile kontrol edilmektedir. Şekil 6.5’de ön iletimli paralel hibrit aracın, US 06 sürüş çevrimi boyunca, gaz pedal konumu ve araç hızına bağlı vites kademe değişimi görülmektedir.



Şekil 6.5. Araç hızı ve gaz pedal konumuna bağlı vites kademe değişimi

Bulanık mantık kontrolü ile geliştirilen rejeneratif fren kontrol stratejisi paralel ve seri hibrit yapılarında kullanılmıştır. Şekil 6.6’da ön iletimli paralel hibrit aracın FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında rejeneratif fren kullanım parametrelerini görülmektedir. Rejeneratif fren kullanımını kısıtlayan en büyük parametre, rejeneratif frenlemenin sadece tahrik tekerinde yapılabilmesi olduğu sonucuna varılmıştır. Rejeneratif fren bulanık mantık kontrolcüsüne girdi olarak alınan batarya şarj oranı, fren pedak konumu, araç hızı ve batarya akımı parametrelerinin değerlerini kullanarak, elde edilen bulanık mantık kontrolcü rejeneratif fren oranı değeri Şekil 6.6’da görülmektedir. Ön iletimli paralel hibrit aracın FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında kullanımında 230 Wh enerji geri kazanımı sağlandığı sonucuna varılmıştır.

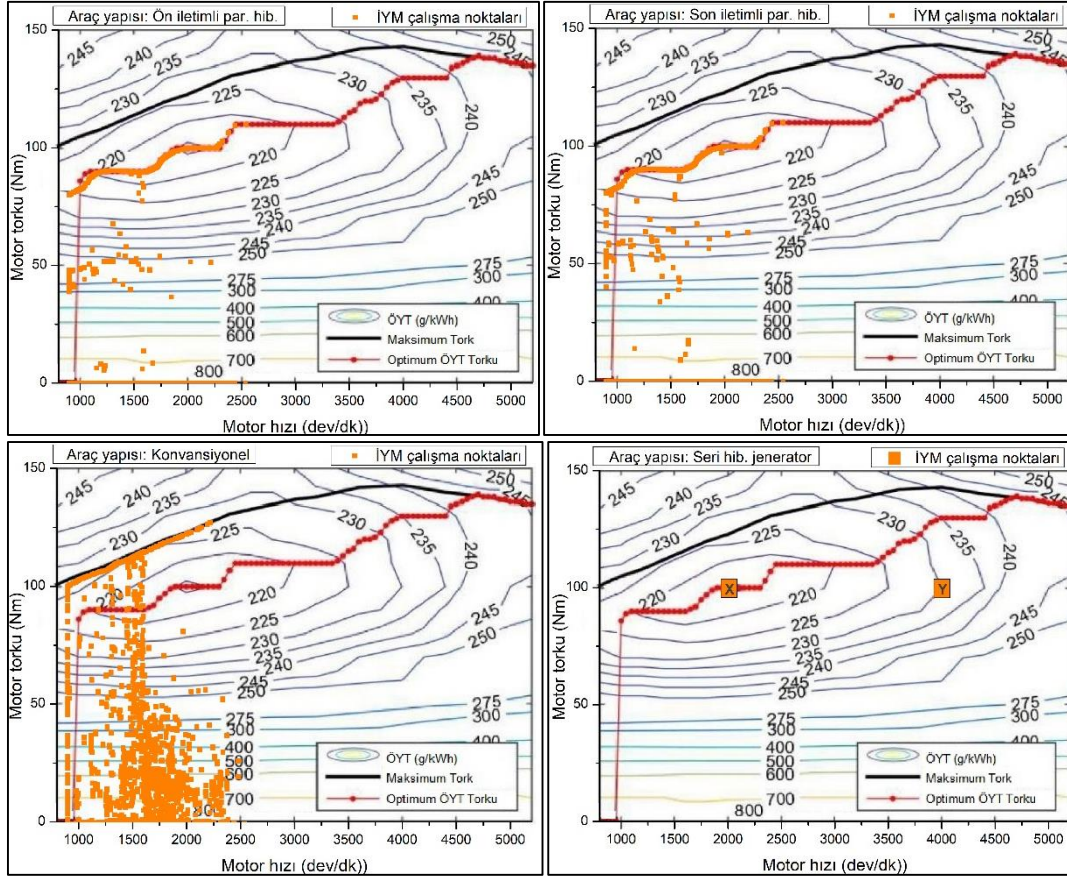


Şekil 6.6. Ön iletimli paralel hibrit aracın FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında rejeneratif fren performans grafikleri

6.2. Farklı Araç Yapılarının İYM ve EM Çalışma Noktaları

Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit ve seri hibrit araç yapılarının elektrik motoru ve içten yanmalı motor çalışma noktaları, konvansiyonel araçta ise sadece İYM çalışma noktaları belirlenmiştir. Motor çalışma noktaları belirlenirken, araçların FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında seyir ettiği referans hız çevrimi kullanılmıştır. Şekil 6.7’de farklı yapıya sahip araçların, İYM çalışma noktaları görülmektedir. İYM haritası üzerinde görülen kırmızı işaretli çizgi, motorun devrine bağlı optimum ÖYT değerlerindeki tork noktalarını vermektedir.

Seri hibrit aracın düşük jeneratör gücü ihtiyacı olduğu durumda İYM X noktasında (2000 dev/dk hız, 100 Nm tork, 205 g/kWh ÖYT), yüksek jeneratör gücü ihtiyacı olduğunda ise Y noktasında (4000 dev/dk hız, 100 Nm tork, 205 g/kWh ÖYT) çalıştırılmaktadır.



Şekil 6.7. Farklı araç yapılarının FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında İYM çalışma noktaları

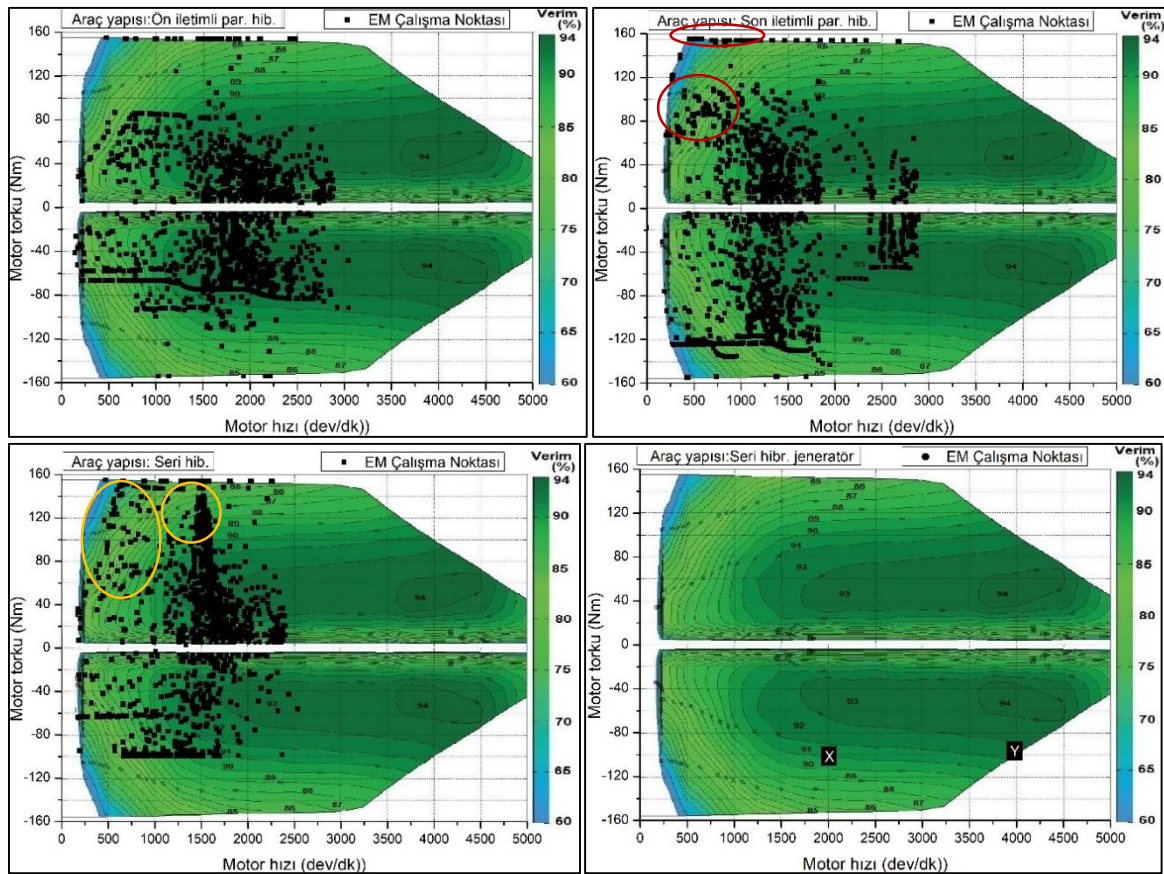
Ön iletimli paralel hibrit aracın FTP sürüş çevrimi koşullarında kullanımında, çoğunlukla İYM optimum ÖYT hattında çalıştığı görülmektedir. Aracın yüksek tork ihtiyacı olduğu durumda ÖYT değeri ikinci planda bırakılmaktadır. Aracın EM ve İYM ile tahrik edildiği durumda ise ÖYT değerleri 300 g/kWh noktalarına yükselmektedir. Çevrim boyunca aracın yüksek jeneratör torklarına ihtiyacı olmadığı için İYM çalışma noktasının maksimum sınır çizgisine ulaşmadığı görülmüştür. Aracın sürüşü boyunca İYM optimum tork değerleri ile çalıştırılıp düşük tork ihtiyaçları elektrik motoru ile sağlanmış olup İYM çalışma noktalarının neredeyse 300 g/kWh değerinin üstüne çıkmadığı gözlemlenmiştir. Son ilemlili paralel hibrit elektrikli aracın vites kutusu ve araç kontrolü de aynı strateji ile sağlandığı için ön iletimli paralel hibrit araç ile yaklaşık olarak aynı İYM çalışma noktalarına sahiptir.

Konvansiyonel araca tahrik sadece İYM ile yapılmaktadır. Bu durumda İYM minimum ile maksimum tork değerleri arasında, aracın ihtiyacı olan tork değerinde ve araç vites kademesine bağlı olarak çalışmaktadır. Şekil 6.7’de görüldüğü gibi konvansiyonel araç üzerindeki İYM

düşük ve çok yüksek ÖYT değeri seviyelerinde kontrolsüz ve verimsiz bir şekilde çalıştığı saptanmıştır.

Şekil 6.8’de farklı yapılara sahip araçların, EM çalışma noktaları görülmektedir. EM haritası üzerinde görülen siyah noktalar EM tork ve devrine bağlı o anki çalışma noktalarıdır. Konvansiyonel araç üzerinde EM olmadığı için Şekil 6.8’de yer almamaktadır.

Seri hibrit aracın jeneratör sisteminde bulunan, EM ve İYM için optimum çalışma noktaları belirlenmiştir. Seri hibrit aracın jeneratör güç ihtiyacının düşük olduğu durumda İYM çalışma noktasına bağlı, EM X noktasında (2000 dev/dk hız, 100 Nm tork, %91 verim), yüksek jeneratör gücü ihtiyacı olduğunda ise Y noktasında (4000 dev/dk hız, 100 Nm tork, %92) çalıştırılmaktadır.



Şekil 6.8. Farklı araç yapılarının FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında EM çalışma noktaları

Ön iletimli paralel hibrit aracın FTP sürüş çevrimi koşullarındaki kullanımında, elektrik motoru vites kutusu redüksiyon kontrolüne dahil olduğu için daha toplu noktalarda çalıştığı ve maksimum tork hattı üzerindeki verimsiz bölgeden uzaklaştığı görülmektedir. Rejeneratif

fren ve jeneratör olarak çalıştığı durumlarda ise yüksek verim değerlerine sahip noktalarında çalıştığı görülmektedir. Son iletimli paralel hibrit aracın elektrik motoru doğrudan tahrik olduğu için vites kutusunda redüksiyona uğramamaktadır. Bununla birlikte Şekil 6.8 üzerinde, elektrik motorunun yüksek tork seviyelerinde, düşük verimlerde (kırmızı işaretli) çalıştığı görülmektedir. Seri hibrit aracın sadece EM ile tahrik edilmesinden dolayı, aracın yüksek tork ihtiyaçlarında düşük verimli noktalarda (sarı işaretli) çalıştığı saptanmıştır.

Ön iletimli paralel, son iletimli paralel ve seri hibrit araç yapılarının EM hiçbir yapıda en verimli nokta (%94) civarında çalıştırılamamış olmasının nedeni, FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında o güce ulaşabilecek şartların oluşmaması olarak belirlenmiştir.

6.3. Farklı Araç Yapılarının Yakıt Tüketim Sonuçları ve Değerlendirmesi

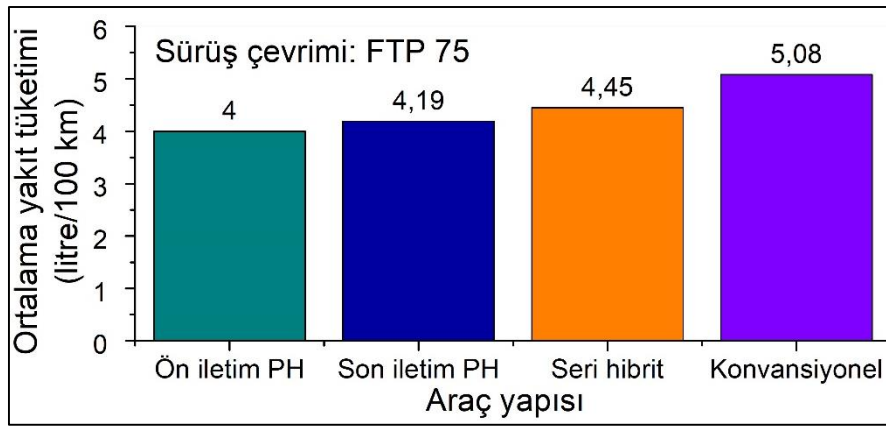
Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit ve seri hibrit araç yapılarının US06, FTP 75, NEDC, ECE15 ve EUDC sürüş çevrimleri koşullarında, ortalama yakıt tüketim hesabı, oluşturulan Simulink modeli üzerinden belirlenmiştir. Çizelge 6.1’de dört farklı araç yapısının farklı sürüş çevrimi koşullarında tükettiği ortalama yakıt tüketim değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.1. Farklı araç yapılarının farklı sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri

Sürüş çevrimi	Ön iletimli paralel hibrit	Son iletimli paralel hibrit	Seri hibrit	Konvansiyonel
US06	5,73	6,44	-	-
FTP75	4	4,19	4,45	5,08
NEDC	3,96	4,15	4,27	4,64
ECE15	3,69	3,98	3,62	4,61
EUDC	4,18	4,24	4,75	4,68

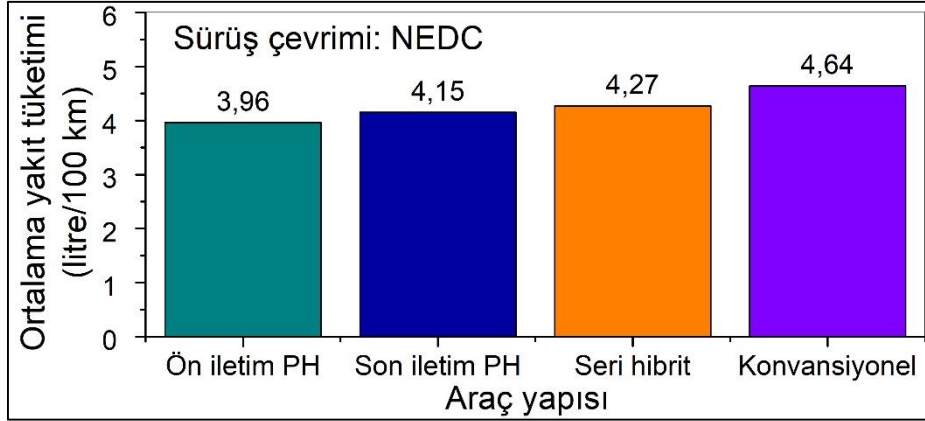
Seri hibrit ve konvansiyonel araç, US06 sürüş çevriminin yüksek tork ihtiyaçlarını karşılayamadığı için o sürüş çevrimlerinde seyir sağlayamamış olup ortalama yakıt tüketim değeri hesaplanamamıştır. Ortalama yakıt tüketimi hesabında sürüş çevrimleri tekrarlı şekilde çalıştırılmıştır. Çizelge 6.1’de görülen farklı yapılardaki araçların ortalama yakıt tüketim değerleri her sürüş çevrimi için ayrı ayrı incelenmiş ve sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapıları FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında, oluşturulan model üzerinden seyiri sağlanarak Şekil 6.9'da bulunan yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. FTP 75 sürüş çevrimi şartlarında konvansiyonel araç en en yüksek (5,08 L/100 km), ön iletimli paralel hibrit araç ise en düşük (4 L/100 km) ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında, konvansiyonel araç yapısı yerine, ön iletimli paralel hibrit %21,2, son iletimli paralel hibrit %17,5 ve seri hibrit araç yapısı kullanılmasının %12,4 oranında yakıt tasarrufu sağladığı belirlenmiştir.



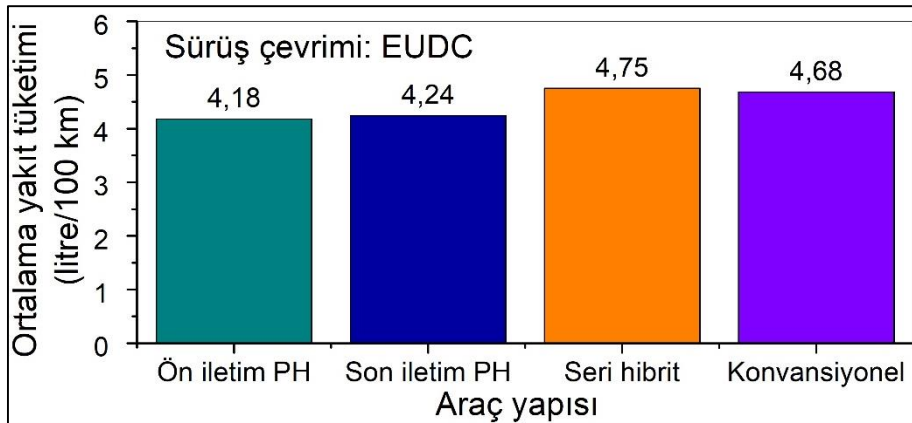
Şekil 6.9. Farklı araç yapılarının FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri

Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapıları karma (şehir içi ve şehir dışı) hızları temsil eden NEDC sürüş çevrimi koşullarında, oluşturulan model üzerinden seyiri sağlanarak Şekil 6.10'da bulunan yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. NEDC sürüş çevrimi şartlarında konvansiyonel araç en yüksek (4,64 L/100 km), ön iletimli paralel hibrit araç ise en düşük (3,96 L/100 km) ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. NEDC sürüş çevrimi koşullarında, konvansiyonel araç yapısı yerine ön iletimli paralel hibrit araç yapısı %14,6, son iletimli paralel hibrit %10,5, seri hibrit araç kullanımının ise %7,9 oranında yakıt tasarrufu sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 6.10. Farklı araç yapılarının NEDC sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri

Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapıları yüksek hızları (şehir dışı) temsil eden EUDC sürüş çevrimi koşullarında, oluşturulan model üzerinden seyiri sağlanarak Şekil 6.11’de bulunan yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. EUDC sürüş çevrimi şartlarında seri hibrit araç en yüksek (4,75 L/100 km), ön iletimli paralel hibrit araç ise en düşük (4,18 L/100 km) ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. EUDC sürüş çevrimi koşullarında, konvansiyonel araç yapısı yerine ön iletimli paralel hibrit %10,6, son iletimli paralel hibrit araç yapısı kullanılması ise %9,4 oranında yakıt tasarrufu sağlamıştır.



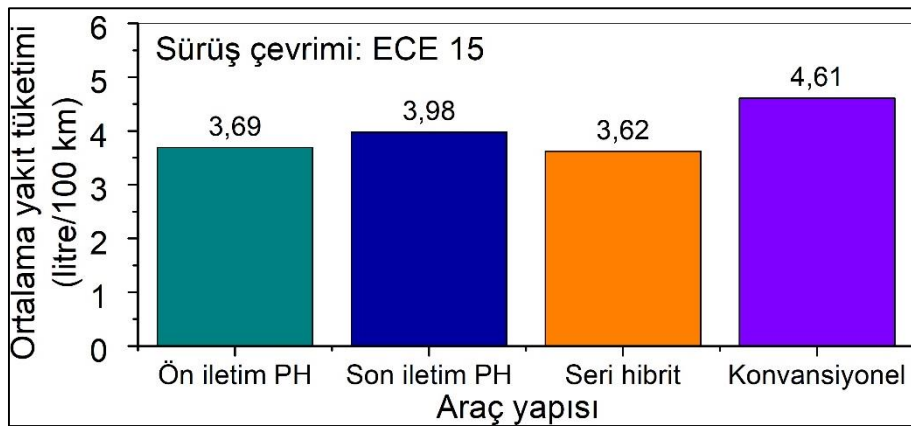
Şekil 6.11. Farklı araç yapılarının EUDC sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri

Seri hibrit aracın konvansiyonel araca göre %1,5 oranında yakıt sarfiyatı oluşturduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni içten yanmalı motorun, EUDC sürüş çevrimi koşullarında ÖYT

değerinin düşük olduğu noktalarda çalışması ve seri hibrit araçta karşılaşılan EM, invertör, jeneratör gibi sistemlerde verim kaybına uğramamasıdır.

EUDC sürüş çevrimi kullanım şartlarında ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit araç yapıları ortalama yakıt tüketim değerlerinde %1,41 oranında (diğer çevrimlere göre daha az) fark olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucu vermesinin nedeni, EUDC sürüş çevrimi boyunca çok düşük ve çok yüksek tork ihtiyaçlarının bulunmaması nedeni ile araç tahrikinin büyük bir kısmı İYM ile sağlandığı ve EM az çalıştığı için olduğu saptanmıştır.

Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapıları düşük hızları (şehir içi) temsil eden ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında, oluşturulan model üzerinden seyiri sağlanarak Şekil 6.12’de bulunan yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. ECE 15 sürüş çevrimi şartlarında konvansiyonel araç en yüksek (4,61 L/100 km), seri hibrit araç ise en düşük (3,62 L/100 km) ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında, konvansiyonel araç yapısı yerine ön iletimli paralel hibrit araç yapısı %19,9, son iletimli paralel hibrit %13,6, seri hibrit araç yapısında ise 21,5 oranında yakıt tasarrufu sağlamıştır. ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında en düşük yakıt tüketim değerinin seri hibrit araç yapısında elde edilmesinin nedeni, düşük hız (şehir içi) koşullarında seri hibrit yapının rejeneratif fren sistemini daha etkili kullanması olarak belirlenmiştir.

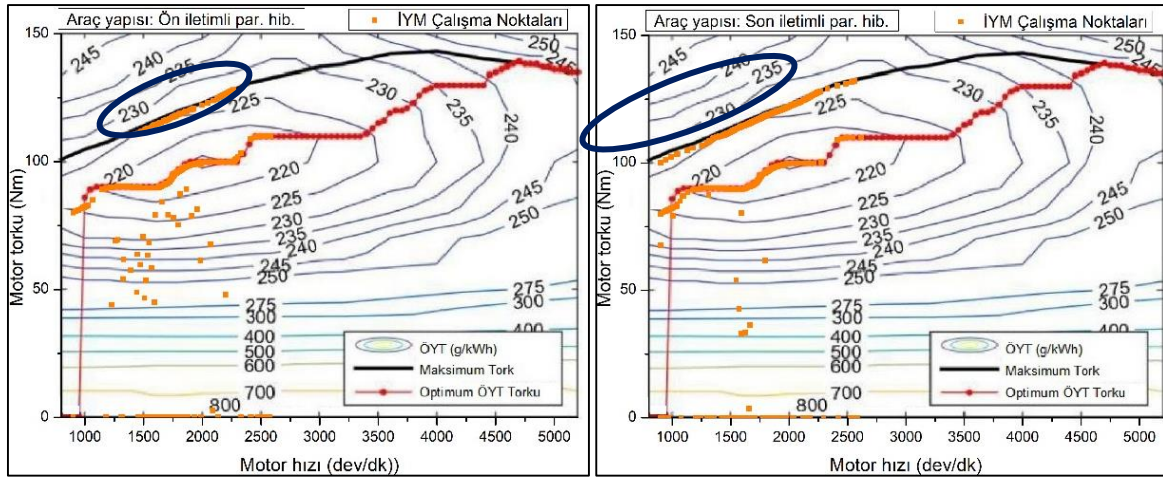


Şekil 6.12. Farklı araç yapılarının ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri

ECE 15 sürüş çevrimi kullanım şartlarında ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit araç yapıları ortalama yakıt tüketim değerlerinde %7,2 oranında (diğer çevrimlere göre daha fazla) fark olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucu vermesinin nedeni, ECE 15 sürüş çevrimi boyunca çok düşük

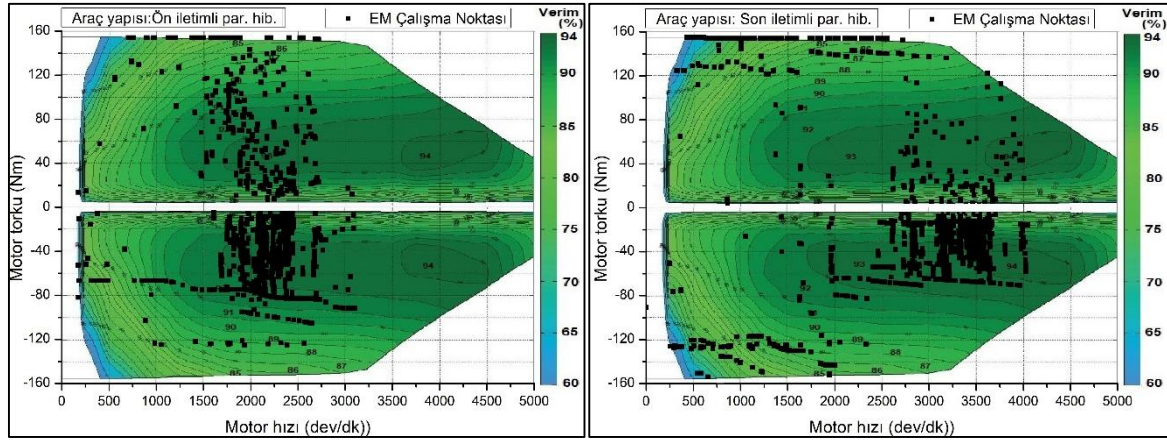
tork ihtiyaçlarının bulunmaması nedeni ile araç tahrikinin büyük bir kısmı EM ile sağlandığı ve vites kutusunun olmayışının oluşturduğu verim kaybından fazla etkilenmesidir.

 n iletimli ve son iletimli paralel hibrit aracın yüksek hızları temsil eden US06 sürüş çevrimi boyunca İYM alışma noktaları şekil 6.13’de g r ld ğu gibi elde edilmiştir. Bilindiği üzere son iletimli hibrit araçlarda EM’nin vites kutusuna bağlantısı bulunmamaktadır. Bu durumda EM tarafından üretilen tork, vites kutusu redüksiyon oranından faydalanamadığı için tork arttırımı gerçekleştirememektedir. Bu durumda İYM’nin daha yüksek torklarda çalışması gerektiği sonucu elde edilmiştir.



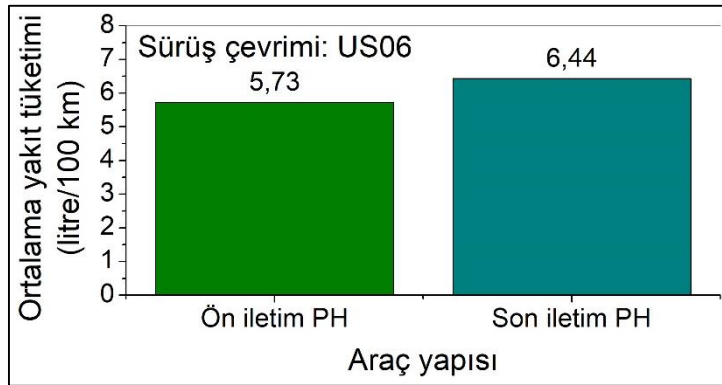
şekil 6.13.  n iletimli ve son iletimli hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında İYM alışma noktaları

 n iletimli ve son iletimli paralel hibrit aracın yüksek hızları temsil eden US06 sürüş çevrimi boyunca EM alışma noktaları şekil 6.14’de g r ld ğu gibi elde edilmiştir.  n iletimli paralel hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında kullanımında, maksimum tork hattı üzerindeki verimsiz bölgelere son iletimli paralel hibrit yapıya göre daha az yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 6.14. Ön iletimli ve son iletimli hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında İYM çalışma noktaları

Ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında kullanılması ile elde edilen yakıt tüketim değerleri Şekil 6.15’de görülmektedir. Ön iletimli paralel hibrit yapı, son iletimli hibrit yapıya göre US 06 sürüş çevrimi koşullarında %11,02 değerinde yakıt tasarrufu sağladığı sonucu elde edilmiştir.



Şekil 6.15. Ön iletimli ve son iletimli hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri

Ön iletimli paralel, son iletimli paralel ve seri hibrit elektrikli araçlar üzerinde rejeneratif fren kullanılmaktadır. Tez kapsamında araç yapılarının ortalama yakıt tüketim değerleri, rejeneratif frenlemenin kullanıldığı simülasyon sonuçlarıdır. Rejeneratif üç farklı yapı üzerinde etkisi oluşturulan Simulink modelleri üzerinden hesaplanmış ve çizelge 6.2’de görülmektedir.

Çizelge 6.2. Farklı araç yapılarının farklı sürüş çevrimi koşullarında rejeneratif frenlemenin yakıt tüketimine etkisi

Ortalama yakıt tüketimi (L/100 km)					Tasarruf oranı (%)		
Sürüş Çevrimi	Rej. Fren (Açık/Kapalı)	Ön iletimli paralel	Son iletimli paralel	Seri hibrit	Ön iletimli paralel	Son iletimli paralel	Seri hibrit
US06	Rej. Fren açık	5,73	6,44	-	3,21	2,72	-
	Rej. Fren kapalı	5,92	6,62	-			
FTP 75	Rej. Fren açık	4	4,19	4,45	9,91	6,05	12,75
	Rej. Fren kapalı	4,44	4,46	5,1			
NEDC	Rej. Fren açık	3,96	4,15	4,27	5,49	5,47	9,34
	Rej. Fren kapalı	4,19	4,39	4,71			
ECE 15	Rej. Fren açık	3,69	3,98	3,62	11,51	9,95	14,22
	Rej. Fren kapalı	4,17	4,42	4,22			
EUDC	Rej. Fren açık	4,18	4,24	4,75	3,24	2,35	6,50
	Rej. Fren kapalı	4,32	4,38	5,08			

Çizelge 6.2 üzerinde görülen yakıt tasarruf oranlarına göre, FTP 75, NEDC, ECE 15 ve EUDC sürüş çevrimi koşullarında seri hibrit araç üzerinde rejeneratif frenlemenin daha etkili kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Seri hibrit elektrikli araç üzerinde rejeneratif frenlemenin en etkili kullanılmasının nedeni, araç tahrikinin sadece elektrik motoru ile yapıyor olması ile birlikte elektrik motorunun sürekli güç sistemi ile hareket aktarımı olmasıdır.

Paralel hibrit araç yapılarında, elektrik motorunun jeneratör modunda çalıştığı durumda, İYM elektrik motoruna tork sağlamakta olup bu süreçte, bulanık mantık kontrolcüsü rejeneratif frenlemeye müsaade etmeyerek, frenlemeyi mekanik olarak sağlamaktadır. Bu durumun hem ön iletimli hemde son iletimli paralel hibrit araç yapısının rejeneratif frenlemeyi etkili kullanamamasına neden olduğu saptanmıştır.

Ön iletimli paralel, son iletimli paralel ve seri hibrit araç yapılarının rejeneratif frenlemeyi en etkili düşük hız çevrimi (şehir içi) olan ECE 15 koşulunda elde ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tüm araç yapıları üzerinde 40 litre hacme sahip yakıt deposu kullanıldığı kabulü yapılarak, araç menzilleri hesaplanmıştır. ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında seri hibrit araç, FTP 75, NEDC ve EUDC sürüş çevrimleri koşulunda ise ön iletimli paralel hibrit araç en yüksek menzile sahip olduğu sonucu elde edilmiştir. Farklı araç yapılarının, farklı sürüş çevrimi koşullarında kullanımlarında araç menzili Çizelge 6.3'te görülmektedir.

Çizelge 6.3. Farklı araç yapılarının, farklı sürüş çevrimi koşullarında araç menzıl değerleri

Sürüş Çevrimi	Birim	Ön iletimli paralel hibrit	Son iletimli paralel hibrit	seri hibrit	Konvansiyonel
US06	km	698,1	621,1	-	-
FTP75	km	1000,0	954,7	898,9	787,4
NEDC	km	1010,1	963,9	936,8	862,1
ECE15	km	1084,0	1005,0	1105,0	867,7
EUDC	km	956,9	943,4	842,1	854,7

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ön iletimli paralel, son iletimli paralel, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapılarının Matlab/Simulink simülasyon programı üzerinde modellenmesi yapılmıştır. Yapılan modeller üzerinde araç yapılarının US 06, FTP 75, NEDC, ECE 15 ve EUDC sürüş çevrimi koşullarında kullanımı incelenmiştir. Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit araç yapısı tüm sürüş çevrimi koşullarında referans hız değerlerine ulaşabilirken, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapısı yüksek tork ihtiyacını karşılayamama nedeni ile US 06 sürüş çevrimi referans hız seviyelerine ulaşamamıştır.

Bulanık mantık yöntemi ile kontrol edilen ön iletimli paralel hibrit araç yapısının US 06 sürüş çevriminde 5,73, FTP 75 sürüş çevriminde 4, NEDC sürüş çevriminde 3,96 ve EUDC sürüş çevriminde 4,18 L/100 km değerleri ile en düşük ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında ise 3,62 L/100 km değeri ile seri hibrit araç yapısı en düşük ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

Ön iletimli paralel, son iletimli paralel ve seri hibrit araç yapısının rejeneratif fren kullanımı incelenmiştir. Seri hibrit araç yapısının FTP 75 sürüş çevriminde %12,75, NEDC sürüş çevriminde %9,34, ECE sürüş çevriminde %14,22 ve EUDC sürüş çevriminde %6,5 oranında yakıt tasarrufu sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Rejeneratif frenlemenin en etkili, düşük hızları (şehir içi) temsil eden ECE 15 sürüş çevrimi üzerinde kullanıldığı saptanmıştır.

Tüm araç yapıları üzerinde 40 litre hacme sahip yakıt deposu kullanıldığı kabulü yapılarak, araç menzilleri hesaplanmıştır. ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında seri hibrit araç, FTP 75, NEDC ve EUDC sürüş çevrimleri koşulunda ise ön iletimli paralel hibrit araç en yüksek menzile sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Çiçek, A. ve Erdiñ, O. (2019). PV-Batarya hibrit sistemi içeren elektrikli araç otoparkının şarj yönetimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 466-474.
2. Erdem, Y. ve Taci, S. (2018). Effect of regenerative braking and power analysis in electric vehicles. *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology*, 4(2), 75-88.
3. Rende, H., Karaman, E. ve Altındal, E. (2017). Hurdaya ayrılmış bir aracın elektrikli araca dönüştürülmesi. *Mühendis ve Makine*, 58(688), 79-94.
4. Arabacı, E. (2019). Seri-paralel hibrit elektrikli taşıtlardaki güç dağıtıcı (power split) mekanizmasının motor hızı. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 394-404.
5. Köklükaya, M. ve Yıldız-Bağcı, S. (2011). Hibrit araçlarda güç elektroniği sistemlerinin geliştirilmiş durum uzay ortalama yöntemiyle modellenmesi. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu Kitapçığı*, 36-41.
6. Kerem, A. (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.
7. Sezen, B. ve İşler, A. U. (2017). Elektrikli araçların mevcut durumu, tercih edilme ve edilmeme sebepleri. *Turkish Journal of Marketing*, 2(2), 82-103.
8. Keskin, A. (2009). Hibrid taşıt teknolojileri ve uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 50(597), 12-20.
9. Öz, A. (2019). Car parking regulations intended for hybrid and electric vehicles. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 505-510.
10. Shafiei, G., Carli, G. and Williamson, S. S. (2014). Electric and plug-in hybrid electric vehicles. In: *Power electronics for renewable energy systems, transportation and industrial applications*, 387-421.
11. Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S. and Ebrahimi, K. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. (3rd Ed.). Florida: CRC Press.
12. Bayındırlı, C., Akansu, Y. E., Salman, M. S. ve Çolak, D. (2015). The numerical investigation of aerodynamic structures of truck and trailer combinations. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 4(3), 139-145.
13. Çağatay-Bayındır, K., Gözükcük, M. A. ve Teke, A. (2011). A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: Powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1305-1313.
14. Khajepour, A., Fallah, M. S. and Goodarzi, A. (2014). *Electric and hybrid vehicles: Technologies, modeling and control-A mechatronic approach*. New Jersey: John Wiley & Sons.

15. Miller, J. M. (2004). *Propulsion systems for hybrid vehicles (energy engineering)*. (2nd Ed.). Stevenage: The Institution of Engineering and Technology.
16. Arsie, I., Graziosi, M., Pianese, C., Rizzo, G. and Sorrentino, M. (2004). *Optimization of supervisory control strategy for parallel hybrid vehicle with provisional load estimate*. Proceedings of AVEC'04, 483-488.
17. Malode, S. K. and Adware, R. H. (2016). Regenerative braking system in electric vehicles. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(3), 294-400.
18. Yi, Z., Heping, L., and Huabin, W. (2011). Torque control strategy for parallel hybrid electric vehicles using fuzzy logic. *WSEAS Transactions on Systems*, 10, 116-125.
19. Xu, G., Li, W., Xu, K. and Song, Z. (2011). An intelligent regenerative braking strategy for electric vehicles. *Energies*, 4(9), 1461-1477.
20. Hofman, T. and Dai, C. H. (2010). Energy efficiency analysis and comparison of transmission technologies for an electric vehicle. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference Paper*.
21. Gökçe, C. ve Üstün, Ö. (2015). Elektrikli araçlarda tam elektrikli frenleme için bulanık mantık tabanlı yeni bir yöntemin geliştirilmesi ve uygulaması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19(3), 339-352.
22. İnternet: Amini, Ç., Başlamışlı ve İnce, B. C. (2017). Elektrikli/hibrit otobüslerin enerji yöntemi algoritmalarının optimal kontrol yöntemleriyle tasarlanması: Ankara Şehri için bir örnek durum incelemesi ve maliyet analizi. Web: https://www.researchgate.net/profile/Selahattin_Baslamisli/publication/321170615_Design_of_Energy_Management_Systems_for_ElectricHybrid_Buses_with_Optimal_Control_Methods_Case_Study_for_the_City_of_Ankara_and_Cost_Analysis/links/5a1315c70f7e9b1e572c9080/Design-of-Energy-Management-Systems-for-Electric-Hybrid-Buses-with-Optimal-Control-Methods-Case-Study-for-the-City-of-Ankara-and-Cost-Analysis.pdf, Son Erişim Tarihi: 14.08.2019.
23. Kural, E. and Guvenc, B. A. (2015). Predictive-equivalent consumption minimization strategy for energy management of a parallel hybrid vehicle for optimal recuperation. *Journal of Polytechnic*, 18(3), 113-124.
24. Amini, A., Önder, E. T., Başlamışlı, S. C. ve Köprübaşı, K. (2016). *Paralel hibrit bir araç için eşdeğer enerji minimizasyonu yöntemi ile yakıt tüketimi optimizasyonu*. OTEKON 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 23-24 Mayıs, Bursa, 1-7.
25. Karaoğlu, M. U., Kuralay, N. S., and Colpan, C. (2019). The effect of gear ratios on the exhaust emissions and fuel consumption of a parallel hybrid vehicle powertrain. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1033-1041.
26. Ming, L. (2017). Energy management strategy of a plug-in parallel hybrid electric vehicle using fuzzy control. *Energy Procedia*, 105, 2660-2665.

27. Ma, K., Wang, Z., Liu, H., Yu, H. and Wei, C. (2019). Numerical investigation on fuzzy logic control energy management strategy of parallel hybrid electric vehicle. *Energy Procedia*, 158, 2643-2648.
28. Finesso, R., Spessa, E. and Venditti, M. (2014). Layout design and energetic analysis of a complex diesel parallel hybrid electric vehicle. *Applied Energy*, 134, 573-588.
29. Dawei, M., Yu, Z., Meilan, Z. and Risha, N. (2017). Intelligent fuzzy energy management research for a uniaxial parallel hybrid electric vehicle. *Computers and Electrical Engineering*, 58, 447-464.
30. Vijay, B. and Shanmughasundaram, R. (2018). Control strategy for parallel hybrid electric vehicles. *Procedia Computer Science*, 143, 678-685.
31. Tribioli, L. and Bella, G. (2018). Reduction of particulate emissions in diesel hybrid electric vehicles with a PMP-based control strategy. *Energy Procedia*, 148, 994-1001.
32. Bin, G., Hong, C. and Dafeng, S. (2018). Research on fast matching method of power system parameters of parallel hybrid electric vehicles. *IFAC-PapersOnLine*, 51(31), 11-14.
33. Köylü, H. (2017). Vites geçişlerine göre yakıt tüketiminin modellenmesi ve vites geçişlerine göre yakıt tüketiminin modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 627-643.
34. Yenigün, M. ve Utlü, Z. (2018). Elektrikli araçlarda kullanılan batarya soğutma sistemlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(692), 35-47.
35. Şahin, Y., Güneş, U., Umman, F., Ceceloğlu, A. C., Güner, H. E. ve Ertunç, H. M. (2015). *Bulanık mantık kontrollü rejeneratif frenleme sistemi*. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'2015, 10-12 Eylül, Denizli, 741-745.
36. Fırat, V., Tokmak, O. ve İşler, V. (2012). Araç dinamiği modellenmesi, simülasyonu ve görselleştirilmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 11(1), 133-146.
37. Boyalı, A. ve Güvenç, L. (2010). Hibrid elektrikli araçların modellenmesi ve kural tabanlı kontrolü. *İTÜ Dergisi*, 9(2), 83-94.
38. Williamson, S., Lukic, M. and Emadi, A. (2006). Comprehensive drive train efficiency analysis of hybrid electric and fuel cell vehicles based on motor-controller efficiency modeling. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 3(21), 730-740.
39. Hashemnia, N. and Asaei, B. (2008). *Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles*. 18th International Conference on Electrical Machines, 1-5.
40. Demir, U. ve Aküner, M. C. (2018). Elektrikli bir araç için tekerlek içi asenkron motorun tasarım ve optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4(33), 1517-1530.

41. İnternet: Stevic, Z. (2012). *New generation of electric vehicles*. Croatia: InTech, Web: <https://pdfs.semanticscholar.org/a024/f928557747c04d95a68773d402cc65ca1b0e.pdf>, Son Erişim Tarihi: 19.09.2019.
42. Liu, W. (2013). *Introduction to hybrid vehicle system modeling and control*. New Jersey: John Wiley & Sons.
43. De Santiago, J. (2012). Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2(61), 475-484.
44. Baltatanu, A. and Florea, M.-L. (2015). Modeling and testing of electric vehicle propulsion systems. *Scientific Bulletin-University Politehnica of Bucharest*, 77(3), 201-212.
45. Jimenez, D., Hernandez, S., Fraile-Ardanuy, J., Serrano, J., Fernandez, R. and Alvarez, F. (2018). Modelling the effect of driving events on electrical vehicle energy consumption using inertial sensors in smartphones. *Energies*, 11(2), 412.
46. Francois, B. (2013). *Hybrid vehicles: From components to system*. France: Editions Technip.
47. Bayram, H. (2016). Climatic chamber with chassis dynamometer testing simulator car model development and validation process. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(2), 451-464.
48. Kumaş, H., Gencer, C. ve Maraş, H. (2012). Ağır araçlar için yol eğimi ve viraj yarıçapı dikkate alınarak en hızlı güzergâhin belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 385-395.
49. Bayrakçeken, H. ve Aysal, F. E. (2017). Taşıt vites kutularının simülasyon ve testler ile incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 772-780.
50. Minh, V. T., Moustafa, A. and Tamre, M. (2017). Design and simulations of dual clutch transmission for hybrid electric vehicles. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 9(4), 302-321.
51. Mashadi, M. S. and Kakaee, A. (2015). Control of a twin clutch transmission for smooth gearshifts. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 21(4), 389-409.
52. Yimin, G. and Ehsani, M. (2006). A torque and speed coupling hybrid drivetrain-architecture, control, and simulation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21(3), 741-748.
53. Dinçmen, E. ve Güvenç, B. A. (2012). A control strategy for parallel hybrid electric vehicles based on extremum seeking. *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 50(2), 199-227.
54. Eğrisöğüt-Tiryaki, A. ve Kazan, R. (2007). Bulaşık makinesinin bulanık mantık ile modellenmesi. *Mühendis ve Makina*, 48(565), 3-8.

55. Panday, A. and Bansal, H. O. (2014). A review of optimal energy management strategies for hybrid electric vehicle. *International Journal of Vehicular Technology*, 160510, 1-19.
56. Yılmaz, M. ve Arslan, E. (2005). *Bulanık mantığın jeodezik problemlerin çözümünde kullanılması*. Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23-25 Kasım, İstanbul, 512-522.
57. Cirstea, M., Dinu, A., McCormick, M. and Khor, J. G. (2002). *Neural and fuzzy logic control of drives and power systems*. UK: Newnes.
58. Baker, J. (2008). New technology and possible advances in energy storage. *Energy Policy*, 36(12), 4368-4373.
59. Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. and Tan, K. (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385.
60. Hannan, M. and Lipu, M. (2017). A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 834-854.
61. Muratoğlu, Y. ve Alkan, A. (2015). *Elektrikli araç teknolojisi ve pil yönetim sistemi-inceleme*. VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Adana, 10-14.
62. Erdiñç, O., Uzunoğlu, M. ve Vural, B. (2011). *Hibrit alternatif enerji sistemlerinde kullanılan enerji depolama üniteleri*. TMMOB Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ, 116-121.
63. Tremblay, O., Dessaint, L.-A. and Dekkiche, A.-I. (2007). *A generic batter model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles*. Vehicle Power an Propulsion Conference, September 9-12, 284-289.
64. Rao, R., Vruthula, S. and Rakhmatov, D. N. (2003). Battery modeling for energy-aware system design. *Computer*, 36(12), 77-87.
65. Ceylan, M., Sarıkurt, T. ve Balıkçı, A. (2013). *Elektrikli araçlarda kullanılan lityum-iyon bataryalar için model geliştirilmesi*. 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu Bildirileri, Kocaeli.
66. Tezde, E. İ. ve Okumuş, H. İ. (2018). Batarya modelleri ve şarj durumu (SoC) belirleme. *EMO Bilimsel Dergi*, 8(15), 21-25.
67. Boerboom, M. (2012). *Electric vehicle blended braking maximizing energy recovery while maintaining vehicle stability and maneuverability*. Master's Thesis, Chalmers University Of Technology, Sweeden.
68. Fan, B. S.-M. (2007). *Modeling and simulation of a hybrid electric vehicle using MATLAB/Simulink and ADAMS*. Master's Thesis, University of Waterloo, Canada.

69. Doğan, U., Erfidan, T. ve Bilgin, M. Z. (2015). Elektrikli araçlarda faydalı frenleme enerjisinin depolanması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(2), 41-51.
70. Tuna, M., Amaç, A. E. ve Ak, M. (2007). *Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan yükseltilen DC/DC dönüştürücünün karşılaştırmalı analizi*. Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu, UMES'07, 20-22 Haziran, Kocaeli, 212-215.
71. Hayes, J. G. and Goodarzi, G. A. (2017). *Electric powertrain: Energy systems, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles*. New Jersey: John Wiley & Sons.
72. Öztürk, H. A. T. (2010). *İstanbul şehir çevriminin ABD ve Avrupa test çevrimleri ile emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi açısından deneysel olarak karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
73. Başlamışlı, S. Ç., Koçak, M., Bayramcan, İ. ve Testik, M. C. (2016). *Türkiye sürüş çevrimlerinin oluşturulması: Konya şehir çalışması*. 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa.
74. Stolten, D., Samsun, R. C. and Garland, N. (2016). *Fuel cells: Data, facts, and figures*. New Jersey: John Wiley & Sons.
75. Leikarnes, I. R. (2017). *Modelling and simulating a hybrid electric vehicle*. Master's Thesis, University of Norway, Faculty of Engineering Science and Technology, Norway.
76. İnternet: Ashwoods Electric Motors. (2017). *ELMO - D576 Electric Motor Datasheet*. Web: <https://ashwoodselectricmotors.com/wp-content/uploads/2017/04/Axial-Flux-Permanent-Magnet-Motor-specification-sheet-ELMO-D576.pdf>, Son Erişim Tarihi: 22.11.2019.
77. Sezer, V. (2008). *Modeling and optimal power management of a parallel hybrid electric vehicle*. Master's Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, İstanbul.
78. Stroe, D.I., Zaharof, A.C. and Iov, F. (2018). *Power and energy management with battery storage for a hybrid residential PV-wind system—a case study for Denmark*. 12th International Renewable Energy Storage Conference, March 13-15, Germany.
79. İnternet: Sony Energy Devices Corporation Device Solutions Business Group. (2013). *US18650VTC5 lithium ion rechargeable battery technical information*. Web: <https://landman.tech/wp-content/uploads/lijsten/bat-liion-lifepo4/70032-sony-us18650vtc5.pdf>, Son Erişim Tarihi: 29.11.2019.
80. Çetinkaya, S. (2017). *Taşıt mekaniği*. (8. Baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
81. Finesso, R., Spessa, E. and Venditti, M. (2016). Cost-optimized design of a dual-mode diesel parallel hybrid electric vehicle for several driving missions and market scenarios. *Applied Energy*, 177, 366-383.

82. İnternet: UQM. (2019). PowerPhase 75, for electric, hybrid electric, and fuel cell powered vehicles. Web: <https://ashwoodselectricmotors.com/wp-content/uploads/2017/04/Axial-Flux-Permanent-Magnet-Motor-specification-sheet-ELMO-D576.pdf>, Son Erişim Tarihi: 14.08.2019.
83. Barreras, V., Schaltz, E., Andreasen, S. J. and Minko, T. (2012). *Datasheet-based modeling of li-ion batteries*. Vehicle Power and Propulsion Conference, South Korea.

EKLER

EK-1. Matlab/Simulink simülasyon girdi parametreleri

Bölüm	Parametre	Sembol	Birim	Değer
Direnç kuvvetleri	Hava yoğunluğu	roair	kg/ m ³	1
	Taşıt kesit alanı	Af	m ²	2,65
	Aerodinamik katsayı	Cd	-	0,32
	Yuvarlanma direnci	Cr	-	0,012
	Yerçekimi ivmesi	g	m/s ²	9,81
Taşıt dinamiği	Toplam taşıt kütlesi	mtot	kg	1340
	Tekerlek yarıçapı	rw	m	0,315
	Dingiller arası mes. (mm)	Ltop	m	2,7
	Ön dingil mes.(mm)	Lark	m	1,5
	Arka dingil mes. (mm)	Lön	m	1,2
	Ağırlık merkezi yüks.mes.(mm)	hcog	m	0,9
Güç aktarma sistemi	Diferansiyel verimi	Efd	-	0,97
	Sabit dişli kutusu verimi	Erg	-	0,98
	Sanzıman verimi	Egb	-	0,95
	Kavrama verimi	Ecl	-	0,95
	EM atalet momenti	Jm	kgm ²	0,12
	İYM atalet momenti	Je	kgm ²	0,12
	Şanzıman atalet momenti	Jgb	kgm ²	0,15
	Aks atalet momenti	Ja	kgm ²	0,6
	Tekerlek atalet momenti	Jw	kgm ²	0,96
	Sabit dişli kutusu atalet momenti	Jrg	kgm ²	0,1
	Redüksiyon kutusu redüks. oranı	irg	-	1,5
	Şanzıman redüksiyon oranı	igb	-	değişken
	Diferansiyel redüksiyon oranı	ifd	-	2,5
	Kavrama redüksiyon oranı	icl	-	1
	1. vites redüksiyon oranı	igb1	-	3.813
	2. vites redüksiyon oranı	igb2	-	2.261
	3. vites redüksiyon oranı	igb3	-	1.957
	4. vites redüksiyon oranı	igb4	-	1.073
	5. vites redüksiyon oranı	igb5	-	0.902
	6. vites redüksiyon oranı	igb6	-	0.837
	7. vites redüksiyon oranı	igb7	-	0.756
Yakıt	Yakıt deposu kapasitesi	DepoL	L	40
	Benzinin yoğunluğu	robenzin	kg/L	0,803
Batarya	Batarya enerjisi	Ebat	kWh	5
	Batarya ilk doluluk	SOCBas	%	40
Elektrik sistemi	Alçak gerilim aks. gücü (W)	lowacc	W	400
	Yüksek gerilim aks. gücü (w)	hightacc	W	400
	İnvertör verimi	Einv	-	0,95
	Konvertör verimi	Ekon	-	0,95

EK-2. Bulanık mantık kontrol araç güç yönetim algoritma kuralları

Kural no	Araç tork ihtiyacı	Jeneratör durumu	Gaz/Fren pedal konumu	SOC	İYM kullanımı	EM kullanımı	MF kullanımı
1	L	Kapalı	GazpedL	L	0	1	0
2	L	Kapalı	GazpedH	L	0	1	0
3	L	Kapalı	FrenpedL	L	0	1	0
4	L	Kapalı	FrenpedH	L	0	1	1
5	L	Açık	GazpedL	L	1	-1	0
6	L	Açık	GazpedH	L	1	-1	0
7	L	Açık	FrenpedL	L	0	-1	1
8	L	Açık	FrenpedH	L	0	-1	1
9	M	Kapalı	GazpedL	L	1	0	0
10	M	Kapalı	GazpedH	L	1	0	0
11	M	Kapalı	FrenpedL	L	0	1	0
12	M	Kapalı	FrenpedH	L	0	1	0
13	M	Açık	GazpedL	L	1	-1	0
14	M	Açık	GazpedH	L	1	-1	0
15	M	Açık	FrenpedL	L	0	-1	1
16	M	Açık	FrenpedH	L	0	-1	0
17	H	Kapalı	GazpedL	L	1	0,8	0
18	H	Kapalı	GazpedH	L	1	1	0
19	H	Kapalı	FrenpedL	L	0	1	0
20	H	Kapalı	FrenpedH	L	0	1	1
21	H	Açık	GazpedL	L	1	0,8	0
22	H	Açık	GazpedH	L	1	1	0
23	H	Açık	FrenpedL	L	0	-1	1
24	H	Açık	FrenpedH	L	0	-1	1
25	L	Kapalı	GazpedL	M-H	0	1	0
26	L	Kapalı	GazpedH	M-H	0	1	0
27	L	Kapalı	FrenpedL	M-H	0	1	0
28	L	Kapalı	FrenpedH	M-H	0	1	1
29	L	Açık	GazpedL	M-H	0,8	-1	0
30	L	Açık	GazpedH	M-H	0,8	-1	0
31	L	Açık	FrenpedL	M-H	0,8	-1	1
32	L	Açık	FrenpedH	M-H	0	-1	1
33	M	Kapalı	GazpedL	M-H	1	0	0
34	M	Kapalı	GazpedH	M-H	1	0	0
35	M	Kapalı	FrenpedL	M-H	0	1	0
36	M	Kapalı	FrenpedH	M-H	0	1	0
37	M	Açık	GazpedL	M-H	0,8	-1	0
38	M	Açık	GazpedH	M-H	0,8	-1	0
39	M	Açık	FrenpedL	M-H	0,8	-1	1
40	M	Açık	FrenpedH	M-H	0,8	-1	0
41	H	Kapalı	GazpedL	M-H	1	0,8	0
42	H	Kapalı	GazpedH	M-H	1	1	0
43	H	Kapalı	FrenpedL	M-H	0	1	0

EK-2. (devam) Bulanık mantık kontrol araç güç yönetim algoritma kuralları

Kural no	Araç tork ihtiyacı	Jeneratör durumu	Gaz/Fren pedal konumu	SOC	İYM kullanımı	EM kullanımı	MF kullanımı
44	H	Kapalı	FrenpedH	M-H	0	1	1
45	H	Açık	GazpedL	M-H	1	0,8	0
46	H	Açık	GazpedH	M-H	1	1	0
47	H	Açık	FrenpedL	M-H	0	-1	1
48	H	Açık	FrenpedH	M-H	0	-1	1

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :KOCAKULAK, Tolga
 Uyruğu :T.C
 Doğum tarihi ve yeri :18.01.1994, İstanbul
 Medeni hali :Bekar
 Telefon :554 951 00 77
 e-mail :tolgakocakulak@gmail.com



Eğitim Bilgileri

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Otomotiv Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/Otomotiv Mühendisliği	2017
Lise	Antalya Anadolu Teknik Lisesi/ Motorlu Araçlar Teknolojisi	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-devam ediyor	HİDROAN A.Ş.	Mekanik Tasarım / Ar-Ge Mühendisi
2016-2017	ASELSAN	Stajyer Sistem Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Kocakulak, T. ve Solmaz, H. (2019). Modeling of an electric vehicle and Controlling the regenerative brake system with fuzzy logic method. In: The 1st International Symposium on Automotive Science and Technology.
2. Kocakulak, T., Çokgünlü, S.A. ve Konukseven, E.İ. (2019). 6x6 Taktik tekerlekli askeri kara platformu üzerinde kullanılacak hidropnömatik süspansiyon sisteminin modellenmesi ve sistem elemanlarının sönmölemeye etkisinin incelenmesi. In: The 1st International Symposium on Automotive Science and Technology.
3. Solmaz, H. ve Kocakulak, T. (2018). Buji ile ateşlemeli motor kullanılan seri hibrit elektrikli bir aracın modellenmesi. In: Proceedings on International Conference on Technology and Science, Antalya.

Hobiler

Koşu, Bisiklet, Yüzme, Kamp



GAZİ GELECEKTİR..