



TARSUS
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

EŞDEĞER TÜKETİM MINİMİZASYON STRATEJİSİ İLE HİBRİT
ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ENERJİ YÖNETİMİ

MERVE NUR GÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2022

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**EŞDEĞER TÜKETİM MİNİMİZASYON STRATEJİSİ İLE HİBRİT
ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ENERJİ YÖNETİMİ**

MERVE NUR GÜL

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi SERDAR COŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2022

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Serdar COŞKUN
(Danışman)

Üye: Doç. Dr. İrem ERSÖZ KAYA

Üye: Doç. Dr. Bünyamin DEMİR

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../2022 tarih ve/.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylıyorum.
.../.../2022

Prof. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- 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 çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 19 / 09 / 2022

Merve Nur GÜL

ÖZET

EŞDEĞER TÜKETİM MINİMİZASYON STRATEJİSİ İLE HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ENERJİ YÖNETİMİ

MERVE NUR GÜL

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi SERDAR COŞKUN

Eylül 2022, 73 sayfa

Bu tezde, güç paylaşımlı bir hibrit elektrikli araç (HEA) için, Monte Carlo (MC) algoritmasına dayalı olarak tahmin edilen sürüş çevrimi hızlarını kullanan öngörülü eşdeğer tüketim minimizasyonu stratejisi (Ö-ETMS) önermektedir. Bu tezde, gelecekteki araç hızı tahmini için Markov zinciri ve Monte Carlo algoritması incelenmiştir. Önerilen Ö-ETMS, enerji kaynakları arasındaki güç dağılımını en iyi şekilde belirlemek için MC algoritması tarafından tahmin edilen hız profillerinden tam olarak yararlanmaktadır. Bu tezde; MC tabanlı Ö-ETMS metodunu doğrulamak için, New European Driving Cycle (NEDC), Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure (WLTP), Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS), Highway Fuel Economy Test (HWFET), New York City Cycle (NYCC), California Unified Cycle (LA-92) ve tüm döngülerin kombinasyonu (ALL-CYC) çevrimleri kullanılmış; toplam yedi tekrarlı sürüş döngüsü altında bir dizi simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. MC tabanlı Ö-ETMS stratejisi, standart ETMS ile karşılaştırılmıştır. NEDC çevriminde %6,01, WLTP çevriminde %9,09, UDDS çevriminde %6,33, HWFET çevriminde %5,14, NYCC çevriminde %1,96, LA-92 çevriminde %11,47 ve ALL-CYC çevriminde %7,92 oranla yakıt tasarrufu elde edilmiştir. Bu makaledeki sonuçlar, önerilen stratejinin yaygın olarak kullanılan temel yöntemle kıyasla, rekabetçi bir yakıt tasarrufu sağladığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Elektrikli Araç, Enerji Yönetimi, Eşdeğer Tüketim Minimizasyon Stratejisi

ABSTRACT

ENERGY MANAGEMENT OF HYBRID ELECTRIC VEHICLES WITH EQUIVALENT CONSUMPTION MINIMIZATION STRATEGY

MERVE NUR GÜL

Master Thesis, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. SERDAR COŞKUN

September 2022, 73 pages

This thesis proposes a predictive equivalent consumption minimization (P-ECMS) strategy for a power-split hybrid electric vehicle (HEV) using predicted driving cycle speed based on Monte Carlo (MC) algorithm. In this thesis, the Markov chain and the Monte Carlo algorithm are examined for future vehicle speed estimation. The proposed P-ECMS fully takes advantage of the predicted speed profiles by the MC algorithm to optimally determine the power split among energy sources. In this thesis, to validate the workings of the MC-based P-ECMS scheme, a series of simulations under a total of seven replicated driving cycles including New European Driving Cycle (NEDC), Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure (WLTP), Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS), Highway Fuel Economy Test (HWFET), New York City Cycle (NYCC), California Unified Cycle (LA-92), and a combination of all (ALL-CYC) are conducted. The MC-based P-ECMS strategy is compared with a baseline ECMS in terms of fuel-saving, and fuel economy saving up to 6.01% under NEDC, 9.09% under WLTP, 6.33% under UDDS, 5.14% under HWFET, 1.96% under NYCC, 11.47% under LA-92, and 7.92% under ALL-CYC are achieved. The results in this article put forward that the proposed strategy delivers competitive fuel savings compared to the widely used baseline method.

Keywords: Hybrid Electric Vehicles, Energy Management, Equivalent Consumption Minimization Strategy

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tamamlanması esnasında desteğini benden esirgemeyen ve çalışmanın uygulama kısmında değerli bilgileri ve ayırdığı vakti ile yol gösteren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Serdar COŞKUN 'a teşekkür ederim.

Bu tez, TÜBİTAK tarafından 121E260 numaralı proje ile Kariyer Geliştirme Programı kapsamında desteklenmektedir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
KISALTMALAR.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
GİRİŞ.....	1

BÖLÜM I

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

1.1. Elektrikli Araçlar Sınıflandırılması.....	3
1.2. Hibrit Elektrikli Araçların Güç Aktarma Organları.....	5

BÖLÜM II

ENERJİ YÖNETİMİ

2.1. Çevrimdışı EYS'ler.....	12
2.1.1. Küresel Optimizasyon Tabanlı EYS'ler.....	12
2.1.1.1. Dinamik Programlama.....	12
2.1.1.2. Stokastik Dinamik Programlama.....	12
2.1.1.3. Genetik Algoritma.....	13
2.1.1.4. Oyun Teorisi.....	13
2.1.1.5. Pseudospektral Yöntem.....	14
2.1.1.6. Dışbükey Optimizasyon.....	14
2.1.1.7. Pontryagin'in Minimum İlkesi.....	15
2.1.2. Kural Tabanlı EYS'ler.....	15
2.1.2.1. Deterministik Kural Tabanlı EYS'ler.....	15
2.1.2.2. Bulanık Mantık Tabanlı EYS'ler.....	16
2.2. Çevrimiçi EYS'ler.....	17
2.2.1. Anlık Optimizasyon Tabanlı EYS'ler.....	17
2.2.1.1. Eşdeğer Tüketim Minimizasyon Stratejisi.....	17
2.2.1.2. Uyarlanabilir Eşdeğer Tüketim Minimizasyon Stratejisi.....	18
2.2.1.3. Sağlam Kontrol.....	18

2.2.2. Öngörülü EYS'ler	19
2.2.2.1. Sürüş Döngüsü Tahmin Yaklaşımı	19
2.2.2.2. Model Öngörülü Kontrol	20
2.2.2.3. Stokastik Model Öngörülü Kontrol	20
2.2.2.4. Öğrenmeye Dayalı SMPC	21
2.2.3. Öğrenmeye Dayalı EYS'ler	22

BÖLÜM III

MATERYAL ve METOT

3.1. HEV İçin Hız Tahmin Yöntemleri	23
3.1.1. Markov Zinciri Tabanlı Hız Tahmin Algoritması	26
3.1.1.1. Aralıklı Kodlama	28
3.2 Test Düzenegi	29
3.3. Monte Carlo Yöntemi	30
3.4. Enerji Yönetimi Problem Formülasyonu	32
3.4.1. İçten Yanmalı Motorun Modeli	33
3.4.2. Elektrik Motorunun Modeli	34
3.4.3. Vites Kutusu Modeli ve Araç Dinamiği Modeli	35
3.4.4. Eşdeğer Tüketim Minimizasyonu	38

BÖLÜM IV

BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Hız Tahmini Sonuçları	42
4.2. ECMS Sonuçları	47

SONUÇ ve ÖNERİLER	64
--------------------------------	-----------

KAYNAKÇA	65
-----------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ	73
-----------------------	-----------

KISALTMALAR

BEV: Batarya Elektrikli Araçlar

DP: Dinamik Programlama

EF: Eşdeğer Faktör

EM: Elektrikli Motor

EREV: Genişletilmiş Menzilli Elektrikli Araçlar

ETMS: Eşdeğer Tüketim Minimizasyon Stratejileri

EYS: Enerji Yönetim Sistemi

EYT: Elektrikli Motorun Yakıt Tüketimi

FCEV: Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar

GA: Genetik Algoritma

GP: Güç Paylaşım

GT: Oyun Teorisi

HEV: Hibrit Elektrikli Araç

İYM: İçten Yanmalı Motor

NEDC: Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü

Ö-ETMS: Öngörülü Eşdeğer Tüketim Minimizasyon Stratejileri

PHEV: Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar

PMP: Pontryagin'in Minimum İlkesi

RMSE: Hata Karelerin Ortalamasının Karekökü

SDP: Stokastik Dinamik Programlama

SMPC: Stokastik Model Öngörülü Kontrol

SOC: Şarj Seviyesi

WLTP: Dünya Çapında Uyumlu Hafif Araçlar Test Prosedürü



TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Hız tahmin yaklaşımları.....	23
Tablo 3.2. Güç paylaşımli hibrit elektrikli aracın ana parametreleri.....	41
Tablo 4.1. Önerilen algoritmanın 3 sürücü için performans analizi	42
Tablo 4.2. Sürüş çevrimleri ve özellikleri.....	50
Tablo 4.3. Öngörülen hızın hata kareler toplamı.....	51
Tablo 4.4. Hibrit elektrikli aracın çevrim sonu SOC değerleri.....	56
Tablo 4.5. Hibrit elektrikli aracın yakıt tüketimi.....	56

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Elektrikli Araç Sınıflandırılması.....	3
Şekil 1.2. HEV, PHEV, EREV, FCEV ve BEV'in çalışma prensibi.....	5
Şekil 1.3. Hibrit elektrikli araçların konfigürasyonları: (A) paralel; (B) seri; ve (C) güç paylaşımı.....	6
Şekil 2.1. EYS'lerin Sınıflandırılması.....	8
Şekil 3.1. Üç durumlu Markov zincirinin bir geçiş diyagramı.....	27
Şekil 3.2. Tarsus Üniversitesi Otonom ve Elektrikli Araçlar Laboratuvarı.....	30
Şekil 3.3. Güç paylaşımli hibrit elektrikli araçların yapısı.....	33
Şekil 3.4. İçten yanmalı motor yakıt tüketimi haritası.....	34
Şekil 3.5. Elektrik motoru verimlilik haritası.....	35
Şekil 3.6. Jeneratör verimlilik haritası.....	35
Şekil 3.7. Planet dişli sisteminin yapısı.....	36
Şekil 4.1. Sürücü 1 için 1 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini.....	43
Şekil 4.2. Sürücü 1 için 2 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini.....	43
Şekil 4.3. Sürücü 1 için gerçek hız ve öngörü ufku boyunca hız tahmini.....	43
Şekil 4.4. Sürücü 2 için 1 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini.....	44
Şekil 4.5. Sürücü 2 için 2 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini.....	44
Şekil 4.6. Sürücü 2 için gerçek hız ve öngörü ufku boyunca hız tahmini.....	45
Şekil 4.7. Sürücü 3 için 1 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini.....	45
Şekil 4.8. Sürücü 3 için 2 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini.....	46
Şekil 4.9. Sürücü 3 için gerçek hız ve öngörü ufku boyunca hız tahmini.....	46
Şekil 4.10. NEDC sürüş çevriminin hız profili.....	47
Şekil 4.11. WLTP hız profili.....	48

Şekil 4.12. UDDS hız profili.....	48
Şekil 4.13. HWFET hız profili.....	49
Şekil 4.14. NYCC hız profili.....	49
Şekil 4.15. LA92 hız profili.....	50
Şekil 4.16. Tüm çevrimin hız profili.....	50
Şekil 4.17. NEDC_7 SOC grafiği.....	52
Şekil 4.18. WLTP_4 SOC grafiği.....	52
Şekil 4.19. UDDS_6 SOC grafiği.....	53
Şekil 4.20. HWFET_10 SOC grafiği.....	53
Şekil 4.21. NYCC_12 SOC grafiği.....	54
Şekil 4.22. LA92_5 SOC grafiği.....	54
Şekil 4.23. ALL-CYC SOC grafiği.....	55
Şekil 4.24. NEDC_7 tork değerleri.....	57
Şekil 4.25. WLTP_4 tork değerleri.....	58
Şekil 4.26. UDDS_6 tork değerleri.....	59
Şekil 4.27. HWFET_10 tork değerleri.....	60
Şekil 4.28. NYCC_12 tork değerleri.....	61
Şekil 4.29. LA92_5 tork değerleri.....	62
Şekil 4.30. Tüm çevrimlerin tork değerleri.....	63

GİRİŞ

Günümüzde hidrokarbon yakıtlı araçların yaygın olarak kullanılması nedeniyle ortaya çıkan çevre kirliliği, iklim değişikliği ve enerji kaynaklarının kısıtlı olması gibi konular otomotiv endüstrisi için büyük sorun haline gelmiştir. Bu nedenle daha az enerji harcayan ve çevre dostu olan elektrikli hibrit araçlar potansiyel bir çözüm olarak görünmektedir (Zhang vd.,2019:235). Hibrit elektrikli araçlar (HEV'ler), aracın yakıt ekonomisini artırmak için güç kaynağı olarak yakıt ve elektrik gücünün bir kombinasyonunu kullanır. HEV'ler genel olarak paralel, güç paylaşımli olarak üçe ayrılmaktadır (Zhao vd.,2021:325).

Elektromobiliteye olan ilgi temel olarak (i) fosil yakıtların tükenmesi ve ardından yakıt maliyetindeki artışlardan (Gönül vd.,2021:143); (ii) kamu bilinci ve iklim değişikliğiyle mücadele arzusu; (iii) yenilenebilir enerji teknolojilerinin teknolojik gelişmeleri ve ticari etkinliği; (iv) elektrik motoru ve tahrik sistemlerinin ileri teknolojisi ve (v) destek altyapısındaki gelişmeler ile artmaktadır (Arif vd.,2021:10). Birçok ülke ve şirket politikalar uygulamış ve insanları EV'leri kullanmaya teşvik etmiş ve bunlar bunların toplumda yaygınlaştırılmasını ve uygulanmasını kolaylaştırmıştır (Hasan vd., 2021:41). Bu nedenlerden dolayı, elektromobilité, içten yanmalı motor (İYM)'ların kullanımıyla ilişkili dezavantajlarla mücadelede etkili bir çözüm olarak kabul edilmektedir (Filote vd.,2020:10471). Birçok girişim çeşitli ülkelerin politikalarıyla hayata geçirilmiştir. Aralık 2015'te İklim Konferansı'nda (COP21) “Elektromobilité ve İklim Değişikliği Paris Deklarasyonu ve Eylem Çağrısı”nın kabul edilmesiyle elektromobilité daha da önem kazandı. Bu deklarasyon, “daha temiz” ve daha sürdürülebilir ulaşım yoluyla küresel ısınmayı 2 derece azaltmayı amaçlıyor. Bunun gerçekleşmesi için, 2030 yılına kadar EV satışlarının toplam araç satışlarının yaklaşık %35'ini oluşturması gerekiyor (Léyay vd.,2017:524; Pietrzak vd.,2021:878).

Elektromobilité, CO_2 emisyonlarını azaltmayı ve küresel ısınmayı yavaşlatmayı amaçlayan bir yaklaşımdır (Wewer vd.,2021:5726). Bunlar elektromobilitenin gelişmesine ve yayılmasına yol açan faktörlerdir (Baraniak ve Starzyński,2020:3951). Bununla birlikte, elektromobilitenin gelişimi, enerji tüketiminde ara sıra zirveler ile iletim ve dağıtım ağlarının çalışmasını etkileyebilir [Sifakis vd.,2019:970; Tucki vd.,2019:839].

Bu artışların nedenlerinden biri, elektrikli araçların çoğunlukla geceleri şarj edilmesidir. Gerektiğinde alçak gerilim iletim şebekelerinde enerji dengeleme sistemleri çalışır, ayrıca elektrik enerjisinin dengesizlik ve teknik kayıplarının yönetimi sağlanır (Tucki vd.,2019:2942). Elektromobilitenin gelişimi için bir diğer önemli veri noktası elektrik üretim maliyetidir. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre (Projected Costs of Generating Electricity,2020), yenilenebilir bir kaynak kullanarak elektrik üretmenin maliyetleri her geçen yıl azalmakta, geleneksel üretim (fosil yakıt) maliyetlerine kıyasla giderek azalmaktadır.

HEV'ler geleneksel İYM tahrikli araçlarla karşılaştırıldığında, ek tahrik olan elektrikli motor güç aktarma sistemlerindeki güç kaynağı, ekstra kontrol serbestliği derecesine yol açar. Bu sebeple çoklu güç kaynağı olan sistemlerde iyi tasarlanmış bir enerji yönetim stratejisi (EYS) kullanılmalıdır.

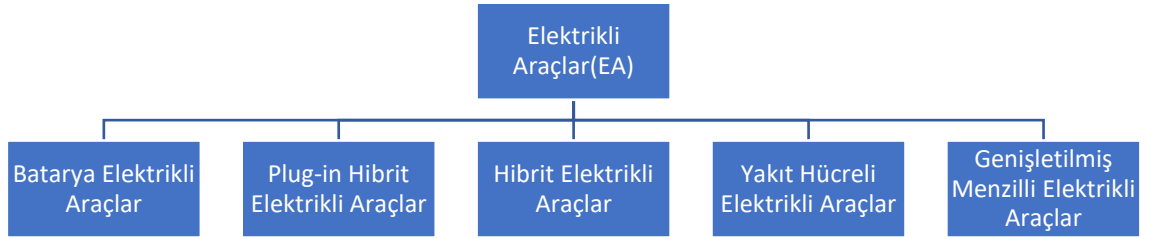
BÖLÜM I

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Elektrikli araçlar (EA) hem yüksek maliyetli petrol kaynaklarının sınırlı olması hem de geleneksel araçların ekosisteme verdiği zararlardan dolayı çevreci bir çözümü olarak görülüyor. Bu nedenle EA'lar, geleceğin en çok tercih edilecek ulaşım araçları olma yolunda hızla ilerliyor. Bu bölümde, farklı elektrikli araç türlerinin ana özelliklerini yorumlayarak sınıflandırmasını sunulmaktadır.

1.1. Elektrikli Araçlar Sınıflandırılması

Günümüzde motor teknolojilerine göre farklı tipte EA'lerle karşılaşılabilir. EA'lar genel olarak beş türe ayrılırlar.



Şekil 1.1. Elektrikli Araç Sınıflandırılması

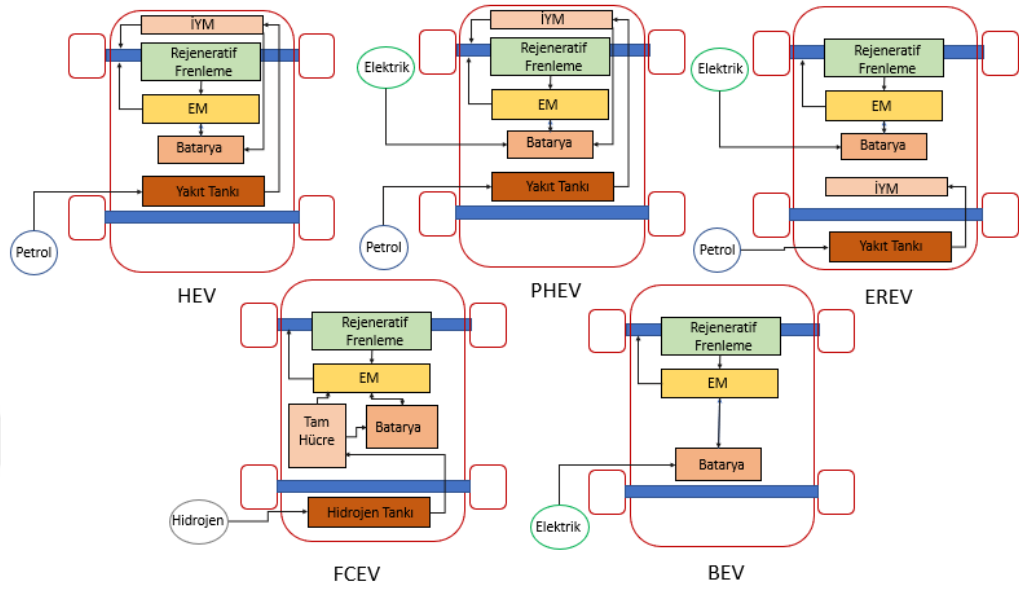
Kaynak: Fonseca,2021, <https://fcorreiaadafonseca.medium.com/electric-vehicles-and-their-role-in-our-decarbonisation-ambitions-a8a86d876298> adresinden erişildi

- Batarya Elektrikli Araçlar (BEV'ler): Araçlar hareket için gerekli olan tüm enerjiyi elektrik gücünden alır. Sıvı yakıt kullanmayan BEV'lerin içten yanmalı motoru yoktur. BEV'ler bir enerji depolama pili, bir elektrik motoru ve bir kontrolörden oluşmaktadır. Elektrik pili, araca özel olabilen veya bir şarj

istasyonuna takılabilen bir şarj cihazı ile şebekeden gelen enerji kullanılarak şarj edilebilmektedir (Sam ve Jegathesan,2021:26). Tipik bir BEV 160 ila 250 km'ye ulaşacak, ancak bazıları tek bir şarjla 500 km'ye kadar gidebilmektedir.

- **Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEV'ler):** PHEV'ler, içten yanmalı bir motor ve bir elektrik motorundan oluşur. PHEV'ler benzinle hareket eder ve elektrik şebekesindeki harici bir fiş aracılığıyla şarj edilebilen büyük bir pile sahiptirler. HEV'lerden farkı, şebekeye bağlanabilmeleridir (Goel vd.,2021:100057). PHEV'ler, normal sürüş koşullarında yakıt tüketimini önemli ölçüde azaltmak için şebekeden yeterli miktarda elektrik depolayabilmektedir. Mitsubishi Outlander PHEV (mitsubishicars,2018), sadece elektrik motoruyla yaklaşık 50 km sürmesini sağlayan 12 kWh'lik bir pil sağlamaktadır. Ancak, PHEV'lerin yakıt tüketiminin otomobil üreticilerinin belirttiğinden daha yüksek olması da dikkat çekicidir (Plötz vd.,2021).
- **Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV'lar):** HEV'ler, geleneksel bir içten yanmalı motor ve bir elektrik motoru olmak üzere iki güç ünitesine sahiptir (Gurumurthy vd.,2021:43001). HEV'ler seri hibritler, paralel hibritler veya güç paylaşımli hibritler olabilmektedirler (Goel vd.,2021:100057). HEV'ler elektrik şebekesine yüklenmez, ancak frenlemede üretilen enerji aracılığıyla kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler (Sanguesa vd.,2021:372-404).
- **Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (EREV'ler):** EREV'ler, BEV'ler gibi elektrikli güç aktarma organlarını kullanır; ancak hidrojenle çalışan bir yakıt hücresini kullanarak elektrik üretmektedirler. EREV'ler sıfır emisyonlu araçlar olarak sınıflandırılırlar (Arif vd.,2021:1910).
- **Genişletilmiş Menzilli Elektrikli Araçlar (EREV'ler):** Bu araçlar BEA kategorisindekilere çok benzerdirLER. EREV'ler, gerektiğinde aracın akülerini şarj eden ek bir içten yanmalı motorla donatılmıştır. PHEV'lerin ve HEV'lerin

aksine, EREV'lerin motoru, tekerleklere bağlantı olmaksızın yalnızca şarj için kullanılırlar (Puma-Benavides vd.,2021:7095).



Şekil 1.2. HEV, PHEV, EREV, FCEV ve BEV'in çalışma prensibi

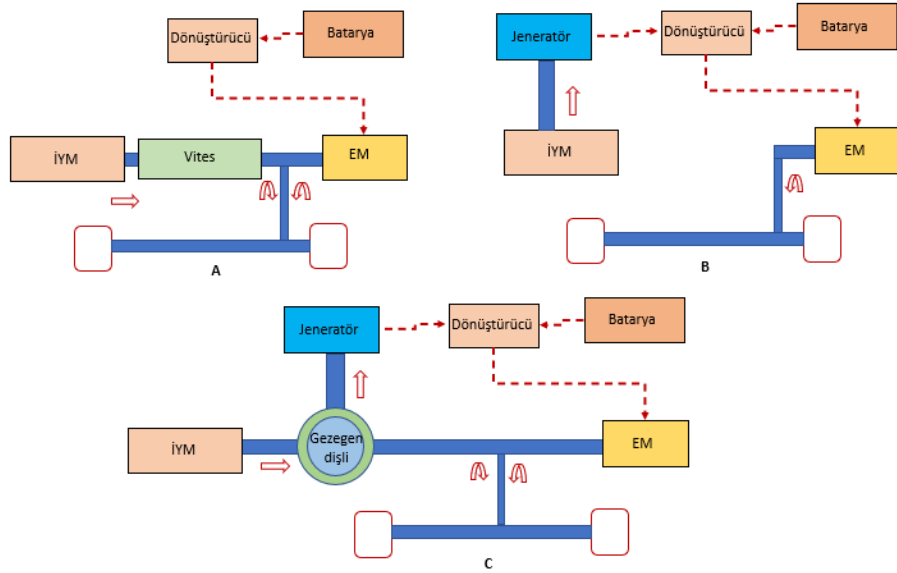
Kaynak: Fonseca,2021, <https://fcorreiadafonseca.medium.com/electric-vehicles-and-their-role-in-our-decarbonisation-ambitions-a8a86d876298> adresinden erişildi

1.2. Hibrit Elektrikli Araçların Güç Aktarma Organları

HEV, geleneksel otomobiller ile elektrikli otomobillerin bir kombinasyonudur. Aracı sürmek için hem yakıt enerjisini hem de elektrik enerjisini kullanmaktadır. Güç akışı açısından, bu iki güç cihazı çeşitli şekillerde bağlanabilmektedir. EM ve İYM arasındaki optimum enerji dağıtımının yanı sıra kurtarma frenlemesi, güç sistemi verimliliğini önemli ölçüde artıracaktır.

- Paralel Hibrit: Şekil 1.3. A'da gösterildiği gibi, paralel HEV için hem İYM hem de EM, birkaç olası yöntemle mekanik olarak bağlanan şanzımanı çalıştırabilir; saf İYM gücü, saf EM gücü veya hibrit güç. Bu arada, EM, İYM'nin gücü veya kurtarma frenleme gücü tarafından şarj edilen bir elektrik jeneratörü olarak çalışabilmektedir.

- Seri Hibrit: Seri HEV, Şekil 1.3. B'de sunulmaktadır. EM, pil tarafından şarj edilen şanzımanı çalıştırmak için ana güç kaynağı olarak çalışır. İYM, jeneratörü bağlayarak aküyü şarj etmek için ikincil enerji kaynağı olarak çalışmaktadır (Naumann vd.,2014).
- Güç Paylaşımli Hibrit (GP): Şekil 1.3. C'de gösterilen GP HEV için, HEV güç aktarma sistemi, mekanik ve manyetik olarak bağlı iki tork kuplörü kullanılmaktadır. Bu nedenle, GP HEV'nin yapısı hem seri hibrit hem de paralel hibrit avantajlarına sahip olabilmektedir. GP HEV, HEV serisinde bulunmayan saf İYM sürüş moduna sahiptir. GP HEV ayrıca, paralel HEV'ye kıyasla esas olarak bir elektrik jeneratörü olarak kullanılan ek bir EM'ye sahiptir. Bununla birlikte, GP hibritin güç aktarım yapısı daha karmaşıktır ve bu da kontrolü daha zor hale getirmektedir (Zhang ve Yan,2015:88-104).



Şekil 1.3. Hibrit elektrikli araçların konfigürasyonları: (A) paralel; (B) seri; ve (C) güç paylaşımli

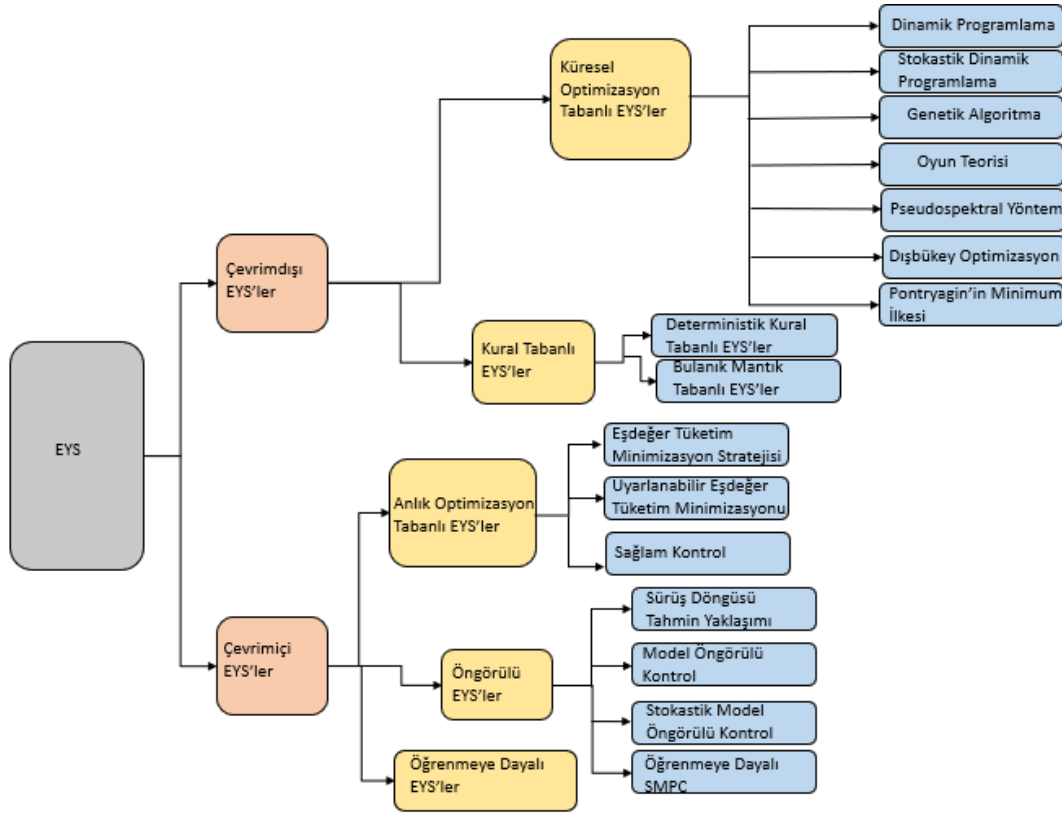
Kaynak: Liu, J. ve Peng, H, 2008:16(6)

BÖLÜM II

ENERJİ YÖNETİMİ

EYS'nin ana işlevi, enerji tasarrufu potansiyelinden tam olarak yararlanmanın yanı sıra yakıt/elektrik tüketimi, emisyon veya bunların dikkatli bir kombinasyonu gibi bir ölçümü optimize etmek amacıyla alt sistemler içindeki güç üretimini, enerji depolamasını ve güç akışını kontrol etmek ve koordine etmektir. Özellikle EYS'ler, yalnızca yerleşik elektrik gücü gereksinimi ve tahrik yükü gibi her türlü güç talebini karşılamak için besleme gücünü birden fazla tahrik kaynağı arasında bölmeyi değil, aynı zamanda aracın genel verimliliğini en üst düzeye çıkarmayı ve emisyon seviyelerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Omanovic vd.,2021:8151; Onori ve Serrao,2016). Sürüş menzili, hızlanma, konfor ve rahatlık gibi araç performansının önemli yönleridir. Bununla birlikte, yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi ve kirlenici emisyonun azaltılması birbiriyle çelişen hedefler olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle, EYS de aralarındaki bir değiş tokuşu tatmin edecek şekilde karmaşık bir şekilde ayarlanmalıdır (Wang vd.,2017:1-19; Wirasingha ve Emadi,2011:111-122; Salmani,2007:2393-2404; Riaz vd.,2021:13382).

Literatürde birçok EYS kontrolörü tasarımı HEV için önerilmiştir. Kapsamlı literatür taramasına atfen, EYS'lerin sınıflandırması Şekil 2.1'de gösterilmektedir (Zhang vd.,2020:3352). EYS'nin, yakıt ekonomisini ve performansını iyileştirmek amacı ile EYS'leri için çeşitli tekniklerin (çevrimdışı ve çevrimiçi) bir karışımını içerebileceği belirtilmektedir.



Şekil 2.1. EYS'lerin Sınıflandırılması

Kaynak: Zhang vd., 2020, 13(13): 3352

Bu tezde, gerçek trafik koşullarına uygunluğu açısından, Şekil 2.1'de verilen anlık optimizasyona dayalı EYS'ler üzerinde durulacaktır. Anlık optimizasyona dayalı EYS'ler, mevcut sürüş döngüsü bilgisini kullanan bir optimizasyon algoritması ile güç ayırımını belirlemektedir. Üstelik, anlık optimizasyon EYS'leri temel olarak performans endekslerini (örneğin yakıt ekonomisi, emisyonlar ve sürdürülebilirlik) her an göz önünde tutarak optimum güç dağılımını belirlemeye odaklanmaktadır. Mantıksal kuralları önceden tanımlamak yerine, anlık optimizasyon EYS'leri temel olarak optimizasyona ve çevrim içi uygulamaya odaklanır (Chen vd.,2021:122727), bu da basit kural tabanlı EYS'lere kıyasla daha iyi yakıt ekonomisi ve ayarlanabilirlik ile sonuçlanmaktadır. Makul hesaplama yükü ve ön izleme (tüm sürüş çevrim bilgileri) bilgisi gerektirmemesi nedeniyle, bunlar gerçek zamanlı bir kontrolöre uygulanabilir ve çoğunlukla kullanılan ancak işlem yükü ağır olan dinamik programlama ile karşılaştırıldığında yaklaşık optimal sonuçlara ulaşabilmektedir. Çevrimiçi EYS'ler yerel (lokal) optimizasyona dayalıdır, çünkü tüm sürüş döngüsü hakkında önceden bilgi sahibi olmayı gerektirmezler. Çevrimdışı EYS'lerin global optimizasyon problemini anlık bir optimizasyon problemine

dönüştürerek sınırlı bir hesaplama yükü ile gerçek zamanlı olarak uygulanabilmektedir (Liu vd.,2019:4479-4493; Chen vd.,2015:135-141; Kleimaier ve Schroder,2002:215-220).

Bu tezde, güç paylaşımli bir hibrit elektrikli araç (HEA) için, Monte Carlo (MC) algoritmasına dayalı olarak tahmin edilen sürüş çevrimi hızlarını kullanan öngörülü eşdeğer tüketim minimizasyonu stratejisi (Ö-ETMS) önerilmektedir. Pontryagin'in minimum ilkesi (PMİ)'ne dayanan ETMS ilk defa HEV için Paganelli tarafından önerilmiştir (Paganelli,1999). ETMS'nin ana fikri, elektrik tüketimini eşdeğer yakıt tüketimine çevirerek anlık eşdeğer yakıt tüketimini en aza indirerek gücün dağıtılmasıdır. Güç paylaşımli HEV'lerde ETMS'nin temel prensibi batarya boşalırken, elektrik motoru mekanik güç sağlar. Kullanılan elektrik enerjisi eşdeğer tüketime dönüşmektedir. Batarya şarj olurken İYM mekanik gücü sağlar. Mekanik enerji İYM tarafından alınır ve elektrik enerjisine dönüştürülür ve bataryada depolanmaktadır. Bu depolanan elektrik enerjisi elektrik motorunda mekanik güç üretmek için kullanılmaktadır. Mekanik enerjinin bu kısmı, yakıt tasarrufu olarak kabul edilen motor tarafından üretilmek zorunda kalmayacaktır. Güç dağılımı daha sonra eşdeğer yakıt tüketimi en aza indirilerek belirlenmektedir (Zhang vd.,2020:3352). Bu yöntem için, gerçek zamanlı kontrol için uygulanması kolaydır ve sürüş döngüsü hakkında önceden bilgi sahibi olmadan optimale yakın sonuçlar elde edilmektedir. Diğer EYS'lerden farklı olarak, ETMS'deki kontrol değişkeni, ikincil güç kaynağının enerji tüketimi ile güç gereksinimi arasındaki ilişki olarak tanımlanan eşdeğer faktördür (EF). Standart ETMS genellikle sabit bir optimal EF'yi benimsemektedir (Xie vd.,2021:126-133). Yine de değişen sürüş koşullarına uyum sağlayamaz (Onori ve Serrao,2011:1-7; Zeng vd.,2018:2060). Eşdeğer faktör, yakıt ekonomisinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu nedenle, farklı sürüş çevrimlerine göre uygun bir eşdeğer faktörün seçilmesi önemli bir konudur. EF adaptasyonuna dayalı ETMS'ler genellikle uyarlanabilir ETMS kategorisine girmektedir. EF adaptasyonu, batarya şarj seviyesi (SOC)'ni kontrol etmeye dayanmaktadır.

EYS'nin ana işlevi alt sistemler içinde üretim, enerji depolama ve güç akışı, enerji tasarrufu potansiyelinden tam olarak yararlanma ve optimize etmek, yakıt / elektrik tüketimi, emisyon gibi metrikler ile bunları kombinasyonunu kontrol ve koordine etmektir (Onori vd.,2016). Spesifik olmak gerekirse, EYS sadece bölünmeyi değil, aynı zamanda her türlü ihtiyacı karşılamak için birden fazla tahrik kaynağı arasında güç sağlar. Yerleşik elektrik gücü gereksinimi gibi güç talepleri ve tahrik yükü, ancak önemli

hususlardan ödün vermeden aracın genel verimliliğini en üst düzeye çıkarır ve emisyon seviyelerini en aza indirip sürüş mesafesi, hızlanma gibi araç performans, konfor ve rahatlığını sağlar (Wang,2017:1-9). Bununla birlikte, yakıtın ekonominin iyileştirilmesi ve kirletici emisyonlarının azaltılması çelişkilidir (Wirasingha ve Emadi,2011:111-122; Salmani,2007:2393-2404). EYS'nin nihai amacı her türlü yakıt tüketimini ve motor emisyonunu karşılarken güç talepleri düşürmektir. Hibrit tahrik treninin karakteristiğinin zamana göre değişen bir tesise sahip ayrı bir dinamik sistem olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle EYS, hibrit araçlar koordinasyonu teşvik edecek kadar akıllı olmalıdır bileşen düzeyinde işlemlerdir. Ancak, karmaşık yapılandırma ve çok kaynaklı hibrit enerji sistemlerinin davranışlarının yanı sıra gerçek dünyadaki sürüş koşullarının karmaşıklığı ve belirsizliği, sağlam ve uyarlanabilir bir EYS geliştirmek için büyük zorluklar oluşturmaktadır.

Başlangıçta, emisyonlu araçlar elde etme çabalarına öncülük eden en çok aranan ve acil çözümler EA'ler ve FCV'ler. Her iki çözüm de teorik olarak sürdürülebilir ve emisyonlu olsa da hemen seri üretimlerini ve daha geniş halk tarafından kabul edilmesini engelleyen bir dizi sorun taşımaktadırlar. FCV'ler şu anda hala geliştirme döngüsünün ilk aşamalarında ve araştırmacılar ve üreticiler hala maliyet azaltma ve performans optimizasyonu üzerindeki çalışmalar tamamlanmamıştır. Bir yandan, teknolojinin yakın gelecekteki hedef pazarı toplu taşıma araçlarıdır.

HEV'lerin geliştirilmesindeki temel amaç, yakıt tüketimini ve egzoz borusu emisyonunu azaltmaktır. Ancak, araç performansı ve sürülebilirlik dikkate alınmadığında, bu nihai hedeflere tek başına ulaşmaya çalışmak anlamsızdır. Ne de olsa bunlar, doğru yapılmazsa potansiyel müşterileri uzaklaştırabilecek en çok talep edilen özelliklerdir. HEV için EMS tasarımı, HEV gelişiminin ilk yıllarından bu yana çok yol kat etti. Bu yazıda, son yıllardaki birkaç EMS, alt kategorilere ayrılmakta ve önerilen TtR HEV'ye uygun son teknoloji EMS'yi tasarlama sürecinin temeli olacağı umulmaktadır.

HEV'ler için en eski EMS yöntemi, basit kural tabanlı konsepti kullanılmıştır. Araç çalışma noktaları, araç veya motor hızı ve sürücünün tork talebi gibi çeşitli parametrelerden oluşabilen belirli bir dizi kurala göre belirlenmektedir. Kural tabanlı EMS'nin avantajları, düşük maliyeti, küçük hesaplama gereksinimi nedeniyle yürütmede basitliği ve gerçek zamanlı olarak gerçekleştirme yeteneğidir. Bulanık mantık tabanlı kontrolörler, kesin olmayan ölçümleri telafi etmek için arama tablolarına dayalı karar

vermeyi kullanır. Bu, EMS'nin daha verimli çalışmasına izin veren daha geniş bir çalışma noktası seçimi aralığına katkıda bulunmaktadır. Gerçek zamanlı veya çevrimiçi EMS, uygulanması kolay olma avantajlarına sahiptir ve sürüş koşullarındaki veya HEV çalışma ortamlarındaki ani değişikliklere tepki verme yeteneğine sahiptir.

Bu noktaya kadar, HEV'lerde konuşlandırılmış EMS'nin genel performansının, yalnızca seçim konfigürasyonlarından değil, aynı zamanda EMS tasarımının kendisine yönelik yaklaşımlarından da büyük ölçüde etkilendiği kabul edilmektedir. Bazı yöntemlerin yakıt tüketiminde ve egzoz borusu emisyonunda büyük gelişmeler gösterdiği gösterilmiştir, ancak bunlar neredeyse her zaman belirli bir konfigürasyon etrafında geliştirilir ve verilen çalışma ortamında değişiklikler yapılacaksa büyük olasılıkla aynı düzeyde performans sergilemeyecektir. Ancak, bu aslında araştırmacıların soruna kendi bakış açılarına dayanarak HEV performansını daha da iyileştirmek için ilerlemeye devam etmeleri için büyük bir motivasyon görevi görmektedir.

EMS geliştirme sırasında dikkate alınması gereken başka bir faktör de söz konusu HEV'nin hibridizasyon seviyesidir. Elektrikli güç aktarma sistemi, yalnızca küçük bir tork enjeksiyonu için İYM'ye yardımcı oluyor. İYM ana tork kaynağıdır ve çoğu zaman geleneksel araçlarda olduğu gibi çalışır ve sadece kısa bir dur-kalk sırasında, frenleme veya boşta sürüş sırasında geçici olarak kapatılabilmektedir.

HEV'lerin mevcut enerji yönetimi stratejileri temel olarak kural tabanlı enerji yönetimi stratejisi ve optimizasyon tabanlı enerji yönetimi stratejisi olarak sınıflandırılabilir. Her iki enerji yönetimi stratejisi türü de birçok bilim insanı tarafından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve araştırma içerikleri, en son teknoloji ürünü enerji yönetimi stratejisi, enerji yönetimi sorununun genel resmileştirilmesi, farklı enerji yönetimi stratejilerinin özellikleri ve kontrol etkileri dahil olmak üzere çeşitli yönleri içermektedir.

2.1. Çevrimdışı EYS'ler

2.1.1. Küresel Optimizasyon Tabanlı EYS'ler

Bu tür yöntemler nedensel değildir ve tipik sürüş çevrimi hakkında önceden bilgi sahibi olmaları gerektiğinden küresel optimal çözümler aramaktadırlar. Rastgele olmayan çözüm nedeniyle, gerçek zamanlı problemlerde doğrudan kullanılamazlar; ancak, nedensel olmayan optimal çözümler, belirli bir sürüş döngüsü altında çevrimdışı olarak elde edilebilir; bu, diğer algoritmalar veya değiştirilmiş çevrimiçi EYS'ler için bir kıyaslama sağlayabilmektedir.

2.1.1.1. Dinamik Programlama (DP)

DP, optimizasyon karar sorunlarını çözmek için bir yöntemdir. Karmaşık optimizasyon sorunlarını çok seviyeli, tek adımlı optimizasyon seçim sorunlarına dönüştürmektedir. DP, belirli döngü koşulları altında global optimizasyon sağlayabilmektedir. Ancak DP'nin çevrim koşullarını önceden bilmesi gerekir, çok miktarda hesaplaması vardır bu nedenle doğrudan gerçek araç çevrimiçi kontrolünde kullanılamaz (Xue vd.,2020:5355).

2.1.1.2. Stokastik Dinamik Programlama (SDP)

Değer dizisinin Markov zincir gücü kullanılarak modellenebileceğini varsayarak, sürücünün güç talebini tahmin etmek için gelecekteki sürücünün güç talebinin durum geçiş matrisi haritasının üretilmesidir. Maksimum olabilirlik tahmin yöntemi, toplam gücü ayrıntılı olarak kullanarak dağıtarak mevcut durumdan bir sonraki duruma durum geçiş olasılığını elde etmek için kullanılmaktadır.

2.1.1.3. Genetik Algoritma

Evrimsel hesaplamada genetik algoritma, iyi global arama performansı ve düşük algoritma karmaşıklığı nedeniyle modern optimizasyon algoritmaları arasında en popüler algoritmalarından biri haline gelmiştir. Bu avantajlar, daha iyi performans için EYS'deki kuralları, parametreleri veya değerlendirme kriterlerini optimize etmek için çok uygundur ancak hesaplama yükü, özellikle tekrarlanan aramalar nedeniyle daha fazla değişken için ağırdır ve araştırmacıları bir HEV için optimal parametreleri seçmeye yönlendiren çevrimdışı bir optimizasyon yöntemi olarak kabul edilebilir. Bir elektrik destekli kontrol stratejisine dayalı olarak, literatürde (Poursamad ve Montazeri,2008:861-873) PHEV'lerin kontrol parametrelerini optimize etmek için Genetik Algoritma'yı uygular ve kısıtlama koşulu olarak sürüş performansı gereksinimini almaktadır. Simülasyon sonuçları, araç performansından ödün verilmemesiyle yakıt tüketiminin ve egzoz emisyonunun azaldığını göstermektedir. Literatürde (Chrenko vd.,2015:1-6), araç performansını daha da iyileştirmek için bulanık mantık denetleyicisinin üyelik fonksiyonu parametrelerini optimize etmek için Genetik Algoritma'yı kullanılmaktadır.

2.1.1.4. Oyun Teorisi

Stratejik karar verme çalışmasıdır. Spesifik olarak, akıllı rasyonel karar vericiler arasındaki çatışma ve iş birliğinin matematiksel modellerinin incelenmesidir (Dextreit vd.,2008:15). Literatür (Dextreit ve Kolmanovsky,2013:652-663)'de sürücü ve güç sistemi arasında iş birliğine dayalı olmayan bir oyun olarak kabul edilen HEV'nin çalışmasıyla birlikte HEV'nin enerji yönetimine uygulanmaktadır. GT'ye dayalı EYS, deterministik dinamik programlama, Stokastik Dinamik Programlama, Kural Tabanlı ve optimum pil gücü çıkış grafiği ile karşılaştırılmaktadır. Sonuçlar, GT'nin uygulanabilir olduğunu ve iyi bir optimizasyon etkisine sahip olduğunu göstermektedir. (Chen vd.,2014:1-6)'te çoklu hedefler arasında denge optimizasyonunu elde etmek için işbirlikçi olmayan oyunu kullanılmaktadır. Aynı zamanda GT ile çalışma durumu bilgisi veya zaman faktörleri arasında herhangi bir kuplaj ilişkisi bulunmadığından bu yöntem gerçek zamanlı uygulama kabiliyetine sahiptir. BOPOM kontrolörü ile

karşılaştırıldığında, NOX ve CO_2 emisyonu etkin bir şekilde azaltılabilmektedir. Bir hibrit ağır hizmet kamyonunun küresel yakıt tüketimini en aza indirmek için literatür (Orszag,1972:253-259), iki seviyeli, tek liderli, çok takipçili bir oyuna dayanan çevrimiçi olarak uygulanabilir bir oyun teorisi stratejisi önermektedir.

2.1.1.5. Pseudospektral Yöntem

Ayrık değişken gösterim yöntemi olarak da bilinen sözde spektral yöntem (Orszag,1972:253-259), optimal kontrol problemleri için doğrudan sayısal bir algoritmadır. Enerji yönetimi probleminde, enerji dağılımını optimize etmek için optimal kontrol teorisi kullanılmaktadır.

2.1.1.6. Dışbükey Optimizasyon

Bir optimizasyon algoritması olarak, amaç fonksiyonu ve kısıtları dışbükey olan dışbükey problemlerin çözümü için dışbükey optimizasyon kullanılmaktadır (Wang vd.,2017:1-19). Dışbükey optimizasyon problemlerinde, yerel optimizasyon ve global optimizasyonun sonuçları tutarlıdır, bu da çözüm sürecini büyük ölçüde basitleştirmektedir (Martinez vd.,2016:4534-4549). Diğer global optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırıldığında, daha yüksek hesaplama verimliliği ile optimal çözümler elde etmek kolaydır. Dış bükey optimizasyon dezavantajı amaç fonksiyonu ve eşitsizlik kısıtlama ve sınırlı uygulamalar sağlamaktadır (Boyd vd.,2004). Özellikle paralel bir HEV için, (Nüesch vd.,2014:834-856)'daki gibi vites değiştirme ve güç dağılımını aynı anda optimize etmek yerine vites değiştirme stratejisi ayrı ayrı tasarlanmalıdır.

2.1.1.7. Pontryagin'in Minimum İlkesi (PMP)

PMP, gerekli bir koşulu sağlamak için optimal kontrol problemlerini çözmek için analitik bir optimizasyon yöntemidir. Bu amaçla, gerçek zamanlı uygulamalar için eş-durumun adaptasyon mekanizmasından kaçınmak için (Nguyen vd.,2018:203-212)'ta basitleştirilmiş bir PMP önerilmiştir. Kontrol konseptinin ana dezavantajı, gelecekteki sürüş durumuyla ilgili hiçbir bilgi sağlanmadığında PMP tabanlı EYS'nin optimalliği garanti etmeyecek olmasıdır.

2.1.2. Kural Tabanlı EYS'ler

Kural Tabanlı EYS, HEV'lerde uygulanan en erken kontrol yöntemi olmuştur, çünkü kolayca geliştirilebilir ve en yüksek çevrimiçi uygulama fizibilitesine sahiptir. Kural Tabanlı EYS'lerin ana fikri genellikle yük seviyesi kavramına dayanmaktadır (Anbaran vd.,2014:7-12). EM, İYM'nin çalışmasını koordine etmek için kullanılır, böylece İYM'nin çalışma noktaları düşük verimli bölgeden yüksek verimli bölgesine aktarılabilir. Sonuç olarak, daha yüksek yakıt ekonomisi veya daha iyi emisyon performansı elde edilebilmektedir. Genel olarak, Kural Tabanlı EYS'ler ayrıca deterministik Kural Tabanlı ve Bulanık Kural Tabanlı EYS'ler olarak sınıflandırılabilir. Ayrıntılı incelemeler aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

2.1.2.1. Deterministik Kural Tabanlı EYS'ler

Kural Tabanlı EYS'lerde kullanılan kurallar, genellikle sürüş döngüsü hakkında önceden bilgi sahibi olmadan buluşsal yöntemlere, sezgilere, insan uzmanlığına ve hatta matematiksel modellere dayalı olarak geliştirilmiştir (Salmasi,2007:2393-2404). Kural Tabanlı EYS'ler, farklı kombinasyonlarda ve zaman periyotlarında kullanılan şarj cihazı sürdürme, elektrikli araç, şarj tükenme ve geleneksel modların bir kombinasyonudur (Wirasingha ve Emadi,2011:111-122). Termostat stratejisi, motor açma/kapama stratejisi olarak da bilinen tipik bir Kural Tabanlı yöntemidir ve önceden ayarlanmış pil durumu

eşliğine göre optimum çalışma noktasında çalışan ve yüksek çalışma verimliliğine sahip seri hibrit güç aktarma organlarında İYM'nin anahtarını kontrol eder. Akü SOC'si alt eşığe yaklaştığında, strateji jeneratör ünitesinin yanı sıra motor ünitesini de çalıştırmaktadır. Aksine, akü SOC'si üst eşığe ulaştığında motor kapatılacaktır. Literatürde (Luo vd.,2018:294-299), HEV'lerin daha iyi yakıt ekonomisi performansı elde etmek için termostat kontrol stratejisini DC-bağlantı voltaj kontrol stratejisiyle birleştiren bir hibrit EYS önerilmiştir. Motoru verimli bir çalışma alanında tutmak için literatürde (Zhao vd.,2009:1350-1353) paralel HEV'ler için bir tork dağıtım stratejisi önerir ve CV'lere kıyasla yakıt tüketimi %10 azaltır. Daha düşük yakıt tüketimi ve daha az emisyon elde etmek için literatür (Liu vd.,2012,209-212), yol yükünün tanınmasına dayalı bir EYS önermektedir ve bu, HEV'ler için genel dinamik performansı ve sürüş performansını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Aynı zamanda maksimum enerji tasarrufu sağlamak için akıllı bir rejeneratif frenleme yöntemi geliştirilmiştir. Motor verimliliğini artırmak ve emisyonu azaltmak için düzgün motor çalışmasının önemi göz önüne alındığında, literatürde (Kim vd.,2012:208-218) güç akışını düşük ve yüksek frekans bileşenlerine ayırarak, elektrik yükleri azaltılarak ve motor geçişleri yumuşatılarak, frekans alanı güç dağıtım stratejisi olarak adlandırılan bir Kural Tabanlı EYS'ler önerilmektedir.

2.1.2.2. Bulanık Mantık Tabanlı EYS'ler

FL, doğrusal olmayan zamanla değişen sistemlerin karmaşık kontrol sorunlarını basitleştirebilen bulanık muhakemeye dayalı bir tür doğrusal olmayan kontrol yöntemidir. İlk FLRCS'ler genellikle SOC, araç talep torku ve araç hızı gibi durum değişkenlerini bulanık denetleyicinin girdileri olarak kullandılar ve bu FLRCS'ler çalışma modunu böler ve bulanık akıl yürütme süreci boyunca güç çıkışının dağılımını belirlemektedir (Xue vd.,2020:5355).

Literatürde (Mustafa vd.,2014:1909) sırasıyla bir HEV'nin torkunu ve SOC'sini kontrol etmek için iki bulanık kontrolör kullanılmış ve kontrol nesneleri için kesin bulanık kontrol kuralları oluşturulmuştur. (Moghbeli vd.,2014:1660-1665), DP'nin optimizasyon sonuçlarına dayanarak bulanık kontrol kurallarını oluştururlar ve beş çalışma modunu bulanık kontrol kurallarına bölmektedirler. Yani, HEV'ler için iyi bir yakıt tasarrufu etkisi sağlayan DP'ye dayalı bir FLRCS önerildi. (Wei vd.,2017:705-714) yakıt ekonomisini

daha da iyileştirmek ve SOC dengesini korumak amacıyla esas olarak şehir içi yol koşullarını dikkate alan bir FLRCS sunmuşlardır. Bu yazıda, optimal enerji tahsis şemasını elde etmek için çoklu sürüş koşullarını hesaplamak için DP algoritması kullanılmıştır. Bu sonuçları analiz ederek, bulanık denetleyicinin kuralları optimize edilebilmektedir.

2.2. Çevrimiçi EYS'ler

Çevrimiçi EYS'ler nedensel ve yerel optimizasyona dayalıdır, çünkü genellikle tüm sürüş döngüsü hakkında önceden bilgi sahibi olmayı gerektirmezler. Çevrimdışı EYS'lerin global optimizasyon problemini anlık bir optimizasyon problemine dönüştürerek sınırlı bir hesaplama yükü ile gerçek zamanlı olarak uygulanabilmektedir.

2.2.1. Anlık Optimizasyon Tabanlı EYS'ler

Bu tür bir yaklaşım, anlık yakıt tüketimini ve diğer performansları (örneğin emisyonlar ve sürülebilirlik) her an en aza indirerek güç dağılımını optimize etmektedir. Bu EYS'ler, sürüş döngüsü hakkında önceden bilgi sahibi olmadan her an en iyi performansı elde edebilir ve gerçek zamanlı olarak uygulanması kolaydır. Mantıksal kuralları önceden tanımlamak yerine, anlık optimizasyon EYS'leri temel olarak optimizasyona ve çevrim içi uygulamaya odaklanır, bu da basit kural tabanlı EYS'lere kıyasla daha iyi yakıt ekonomisi ve ayarlanabilirlik ile sonuçlanmaktadır. Ancak offline EYS'lerde olduğu gibi global optimizasyon yerine sadece lokal optimal sonuçlar alınabilmektedir.

2.2.1.1. Eşdeğer Tüketim Minimizasyon Stratejisi (ETMS)

ETMS'nin ana fikri, elektrik enerjisini eşdeğer yakıt tüketimine dönüştürmek için eşdeğer faktörü (EF) tanıtmak ve motordan gelen gerçek yakıt tüketimi ile EM'den

dönüştürülen yakıt tüketiminin toplamını en aza indirmektir. Literatür (Skugor vd.,2014:631-648), bir SOC kontrolörü ve motor çalıştırma-durdurma mantığını içeren bir ETMS ile Kural Tabanlı stratejisini birleştiren bir hibrit kontrol yöntemini tanıtmaktadır. Literatürde (Sezer vd.,2011:3557-3570) geliştirilmiş ETMS'yi entegre maliyet haritası yaklaşımıyla birleştiren hibrit bir EYS önermektedir. Burada, geliştirilmiş ETMS, İYM, jeneratör ve pilin verimlilikleri dikkate alınarak genel performansı optimize eder ve bütünleşmiş maliyet haritası, yakıt tüketimini ve birden fazla emisyon bileşenini aynı anda optimize eder. Optimum güç aktarım noktalarını aramak için ETMS ile birleştirilen yüksek verimli motor haritasını belirlemek için çevrimdışı bir optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bir PMP biçimi olan ETMS, yalnızca gerçek zamanlı kontrolü gerçekleştirmekle kalmaz, aynı zamanda aracın dinamik performansını, yakıt ekonomisini ve emisyon performansını içeren uzlaşma optimizasyonunu da sağlamaktadır.

2.2.1.2. Uyarlanabilir Eşdeğer Tüketim Minimizasyon Stratejisi (A-ETMS)

Daha önce açıklandığı gibi, gerçek zamanlı kontrol için bir ETMS'nin performansı eşdeğer faktörle yakından ilişkilidir. Eşdeğer faktöre genellikle gelecekteki güç gereksinimi ve mevcut SOC tarafından karar verilmektedir. Bu amaca ulaşmak için, kontrol parametrelerinin gelecekteki güç talebine ve mevcut olana göre yenilenmesiyle A-ETMS önerilmektedir. Bir A-ETMS'nin temel ilkesi, eşdeğer faktörün mevcut SOC tarafından uygun şekilde düzenlenmesi, hızı ve sürücünün güç talebini gerçek zamanlı olarak tahmin etmesi, SOC'yi belirli bir aralıkta tutması ve yakıt tüketimini en aza indirmesidir. Eşdeğer faktör, adaptör tarafından öngörülen SOC'yi korumak için çevrimiçi olarak tahmin edilir ve ayarlanır. A-ETMS, sürüş çevrimi hakkında önceden bilgi sahibi olmadan gerçek zamanlı kontrolde uygulanabilmektedir.

2.2.1.3. Sağlam Kontrol

Sağlam kontrol, kontrolör tasarımına yaklaşımları açıkça belirsizlikle ilgilenen bir kontrol teorisi dalıdır. Kesin olmayan parametrelerin olması ve bazı formlarda

(parametrik veya yapısal) bozulmaların olması koşuluyla, tasarımlarda düzgün çalışması için sağlam kontrol yöntemi kullanılmaktadır. HEV modelinin, durum-geribildirim kazanç matrisleri tasarlayarak ve aynı zamanda daha yüksek hesaplama karmaşıklığı ile optimalin altında sonuçlar elde ederek kararlı ve güçlü anti-sıkışma kabiliyetine sahip bir kapalı döngü sistemi tasarlamak için genellikle basitleştirilmesi gerekmektedir.

2.2.2. Öngörülü EYS'ler

Tahmine dayalı EYS'lerin temel amacı, bir sürüş döngüsünün belirsizliği ve bozulmasıyla ilgili tahmine dayalı bilgileri kullanarak güç dağılımını optimize etmektir. Bu strateji, mevcut bilgilerle (örneğin, yol koşulları ve trafik koşulları) tahmin edilebilen gelecekteki sürüş döngüsü bilgilerini (örneğin, gelecekteki hız) gerektirir. Bu nedenle, büyük ölçüde, bu stratejinin performansı, her tahmin ufkunda sağlanan güç referansına bağlıdır. Başka bir deyişle, yol eğimi dikkate alınmadan, esas olarak düz bir yolda tahmin edilen hıza dayanmaktadır. Bu nedenle, bu tür bir yaklaşımın uygulanmasında araç hızının doğru bir şekilde tahmin edilmesi önemlidir.

2.2.2.1. Sürüş Döngüsü Tahmin Yaklaşımı

EYS'ler için, özellikle tahmine dayalı EYS'ler için sürüş döngüsünü tahmin etmek önemlidir. EYS'lerin ana zorluğu, güç dağılımının, sürüş çevrimlerinin belirsizliği nedeniyle en iyi yakıt ekonomisini sağlayamayan belirli bir standart sürüş çevrimi altında yapılmasıdır. Özellikle şehir durumu için trafik sıkışıklığı ve sürüş alışkanlıkları gibi birçok belirsiz faktör mevcuttur. Bu nedenle, HEV'lerin enerji yönetimi için sürüş döngüsünü tahmin etmek çok önemlidir. Bu bölümde, tipik tahmin yöntemleri tanıtılmaktadır.

2.2.2.2. Model Öngörülü Kontrol (MPC)

MPC'nin ana fikri, gelecekte sınırlı zaman alanında sistem durumunu “yuvarlanma optimizasyonu” şeklinde optimize etmek ve mevcut zamanın optimal değerini kontrol sisteminin girdisi olarak almaktır. Örneğin, (Taghavipour vd.,2012:286) MPC, DP algoritması ile birleştirildi ve ardından yakıt tüketimini en aza indirmek amacıyla yuvarlanan optimal kontrol gerçekleştirildi. Tekdüze olmayan örnekleme zaman kavramını kullanan bir MPC tarafından desteklenen gerçek zamanlı bir EYS (Gomozov vd.,2017:5520-5530)'de geliştirildi ve gerçek zamanlı hesaplama yeteneği deneylerle doğrulandı.

(Zeng ve Wang,2015:2416-2423) alanın araç konumu, seyahat yönü ve arazi bilgilerini kullanarak stokastik MPC tabanlı bir EYS önerdiler. (Zhang ve Shen,2016:2167-2175)'de, süreklilik/genelleştirilmiş minimum kalıntı algoritmasına dayalı olarak optimizasyon sorunlarını çözmek için çevrim içi yinelemeli bir algoritma önerilmiştir. Bu strateji, MPC'nin gerçek zamanlı hesaplanması sorununu büyük ölçüde iyileştirmiştir. (Taghavipour vd.,2015:13-27), gerçek zamanlı uygulama performansını iyileştirmek için yeni bir kontrol odaklı modele dayalı açık MPC kullanan bir Toyota Prius eklenti HEV için bir EYS tasarlamıştır. (Sun vd.,2015:1075-1086), Şekil 2.1'de gösterildiği gibi hiyerarşik bir kontrol EYS'yi önerdiler, burada üst seviyenin global bir SOC yörüngesini hesaplamak için gerçek zamanlı trafik akış hızını kullandığı gösterilmiştir. MPC'ye dayalı olarak, alt seviye, SOC yörüngesini bir son durum kısıtlaması ve kısa vadeli bir hız tahmincisi olarak kullanan bir uzaklaşan ufuk kontrolü uygulamaktadır.

2.2.2.3. Stokastik Model Öngörülü Kontrol (SMPC)

MPC'nin güvenilirliğini ve adaptasyonunu arttırmak için birçok literatür stokastik model tahmine dayalı kontrol (SMPC) önerilmiştir. Sürüş eğiminin akü üzerindeki etkisi göz önüne alındığında, yol eğimini modellemek için Markov zincirini kullanan, HEV enerji yönetimi problemini sonlu bir ufuk Markov karar sürecine dönüştüren ve SDP yöntemini uygulayan SMPC tabanlı EYS literatürde önerilmiştir (Zheng ve

Wang,2015:2416-2423). Sürücüden gelen güç talebi literatürde bir Markov zinciri olarak modellenmiştir (Ripaccioli vd.,2010:5844-5849). Literatürdeki tahmin doğruluğunu artırmak için hız dizilerini tahmin etmek için Markov Zinciri Monte Carlo yöntemi kullanılmaktadır (Xie vd.,2017:2672-2677). Ayrıca, şehir içi otobüslerin sürüş döngüsünün belirli tekrarlı özelliklerine sahip olduğu göz önüne alındığında literatürde (Liv d.,2016:868-879), Plug-in hibrit elektrikli otobüs için sürüş davranışlarına duyarlı değiştirilmiş bir SMPC yöntemi önerilmektedir. Burada, Markov zincirleri, K-ortalamları ile sınıflandırılan farklı türdeki sürüş davranışlarına dayalı sürücü modelleri oluşturmak için kullanılmaktadır. Literatürde (Bichi vd.,2010:6077-6082), önerilen SMPC çevrimiçi sayısal optimizasyona dayanmaktadır ve sürücü modeli çevrimiçi olarak öğrenilebilir, böylece kontrol algoritması farklı sürücülere ve sürücü davranışlarına uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca, literatürde (Di Cairano vd.,2014:1018-1031), SMPC'yi sürüş koşullarındaki değişiklikler için SMPC'nin adaptasyonunu geliştirmeyi öğrenme ile tanıştırmaktadır.

2.2.2.4. Öğrenmeye Dayalı SMPC

Öğrenme tabanlı SMPC, MPC denetleyicisinin performansını veri odaklı bir şekilde geliştirmek için bir MPC'yi makine öğrenme algoritmalarıyla entegre etmeyi amaçlar. Sürücünün güç talebinin Markov zincirine dayalı olarak çevrimdışı olarak modellenebileceğini varsayan SMPC'nin aksine, öğrenme tabanlı SMPC, Markov zincirini çevrimiçi öğrenme yoluyla güncelleyebilir, bu da gerçek hayatta minimum hesaplama çabasıyla sürücü davranışındaki değişikliklere uyum sağlamaya olanak tanımaktadır. Sürücü eylemlerinin yanı sıra sürüş tarzlarını da yakalama açısından SMPC'den daha gerçekçidir.

Standart ve gerçek dünya sürüş döngüleri için simülasyon sonuçları, öğrenmeye dayalı SMPC'nin öğrenilen sürücü davranışı modeliyle klasik MPC'nin performansını geliştirdiğini göstermektedir.

2.2.3. Öğrenmeye Dayalı EYS'ler

Öğrenmeye dayalı EYS'ler, çeşitli trafik koşullarına uyum sağlamak için çevre ile etkileşime girerek EYS'lerin kontrol parametrelerini çevrimiçi olarak güncellemeyi amaçlar. Bu yöntem için kesin model verileri gerekli değildir. Dinamik trafik koşullarını yakalayabilir ve potansiyel gerçek zamanlı uygulamalara yol açabilir. Paralel bir HEV için tahmine dayalı bir enerji yönetimi stratejisi, pekiştirmeli öğrenme yaklaşımı aracılığıyla tasarlanmıştır. Avantajı, tasarımın modelsiz bir kontrol olması ve diğer EYS'lere kıyasla daha fazla uyarlanabilirlik sağlamasıdır. Ancak bunlar, eğitim için sürüşle ilgili daha fazla veri gerektirmektedir.



BÖLÜM III

MATERYAL ve METOT

3.1. HEV İçin Hız Tahmin Yöntemleri

HEV'lerde tahmine dayalı enerji yönetiminin performansı ve pratikliği hem doğruluk hem de hesaplama verimliliği açısından gelecekteki araç hızlarının tahminine büyük ölçüde bağlıdır.

Tablo 3.1. Hız tahmin yaklaşımları

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları	Uygun Senaryolar
EDM	1. Uygulaması kolay ve sağlam 2. Daha az hesaplama yükü ve veri gereksinimleri 3. İyi bir kıyaslama	1. Değişmeyen model yapıları, çeşitli dış ortamlara iyi uyum sağlamaz	1. Kararlı gerçek sürüş koşulları (otoyol) veya simülasyon ortamları
AI	1. Doğrusal olmayan çok değişkenli ilişkiler kazanma (3'ten fazla girdi) 2. Önizleme bilgisini entegre etme potansiyeli 3. Güçlü öğrenme kapasitesi	1. Eğitim süreçleri zaman alıcıdır 2. Model karmaşıklığı, “aşırı uydurma” ve “yakınsama” problemi 3. Eğitim veritabanı, olası her sürüş koşulunu kapsayamaz	1. Kentsel alanlarda, çevrimiçi öğrenme algoritmalarıyla ilişkili yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar, özel araçlar için daha doğru sonuçlar sağlayabilir 2. Kentsel/banliyö/otoyol alanlarındaki banliyö ve

			kamu hizmeti araçları için
Telematik	<p>1. Daha doğru gerçek zamanlı sürüş verileri mevcut</p> <p>2. Yoğun saatlerde ve trafik sıkışıklığı koşullarında tahmin potansiyeli</p> <p>3. EMS'leri tüm trafik akışlarına uygulama potansiyeli</p>	<p>1. Telematik verilerini PEMS'ye entegre etmek için ortak bir yöntem yoktur</p> <p>2. Büyük hesaplama yükü</p> <p>3. AUS'nin erken aşaması ve trafik akışı modelleme teknikleri</p>	<p>1. Kentsel alanlar, özellikle yoğun saatler ve trafik sıkışıklıkları için, ilgili bilgilerin mevcut olması koşuluyla</p>
ARIMA	<p>1. Zaman serisi dizilerini tahmin etmedeki ilerlemeler</p> <p>2. Verilerdeki “durağan olmayan” özellikleri azaltma potansiyeli</p>	<p>1. Nispeten sabit yapılar nedeniyle daha az uyarlanabilirlik</p> <p>2. Veriye dayalı özelliği nedeniyle geçmiş veri tabanına büyük bağımlılık</p>	<p>1. Modern telematik tekniğinin erken aşamada olduğu kırsal, dağlık alan için uygundur (He vd.,2017:2435-2444)</p>
GSDM	<p>1. Çevrimiçi olarak kolayca kullanılabilir yüksek hesaplama ve depolama yükünden kurtarır</p> <p>2. Çevrimiçi RLS yaklaşımları ile gerçek sürüş koşullarına uyum sağlanmıştır</p>	<p>1. Her durma konumunda yalnızca tek bir araç hızı değeri saklandı ve karşılık gelen tahmin doğruluğu tehlikeye girebilmektedir</p>	<p>1. Aynı yollarda tekrarlanan işlemlere sahip araçlar için uygundur (örn. otobüs, çöp kamyonu vb.) (Bender vd.,2014)</p>

HACM	<p>1. Küme sayısının önceden belirtilmesi gerekmeyen denetimsiz öğrenme tekniğidir</p> <p>2. Hem sürüş koşulları hem de kesin nihai konumun belirsizlikleri modellenilebilir</p>	<p>1. Karmaşık hesaplama ve büyük veri depolama alanının gerekli olduğu sunuculara son derece bağımlıdır</p> <p>2. Güzergâh belirleme yaklaşımları gibi ilgili güzergâh tabanlı tekniklere yüksek oranda bağımlıdır</p>	<p>1. Geçmiş verilere dayalı tahminlerin güvenilir olduğu banliyö yolları için uygundur (Larsson vd.,2014:1-10)</p>
Frekans tabanlı	<p>1. FDC'lerin gelecekteki dağılımını zaman alanından ziyade frekans alanında tahmin ederek tahmin zorluğunu azaltır</p> <p>2. Telematik cihazlarına daha az bağımlılık oluşturur</p>	<p>1. Hamilton denklemi için optimal maliyetin sabit olduğu varsayımından kaynaklanan sınırlama oluşturur (Kermani vd.,2012:408-420)</p>	<p>1. Özellikle gerçek zamanlı uygulama için şehir içi ve banliyö araçları için uygundur</p>
SD	<p>1. Geleneksel DPR teknikleri ile karşılaştırıldığında SD, hesaplama açısından daha verimlidir</p> <p>2. Zaman alıcı eğitim süreçlerine gerek duyulmaz</p>	<p>1. Her sürüş karakteristik parametresinin ağırlık faktörlerinin ayarlanması zordur (Wei vd.,2017:705-714)</p>	<p>1. Araçların benzer sürüş özelliklerini paylaştığı şehir içi sürüş koşulları için uygundur</p>
FL	<p>1. Daha az hesaplama yükü ve harici</p>	<p>1. Daha fazla sürüş senaryosu işlenirken</p>	<p>1. Araçların benzer sürüş özelliklerini</p>

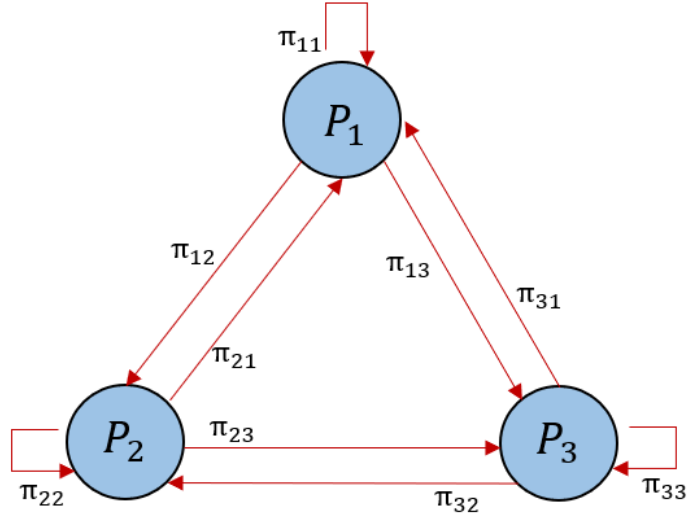
	rahatsızlıklara karşı dayanıklıdır	üyelik fonksiyonlarının parametrelerinin yeniden ayarlanması gerekir (Zhang ve Xiong,2015:68-78)	paylaştığı şehir içi sürüş koşulları için uygundur
PSVM	1. Bilinen birkaç durumda bilinmeyen sürüş modellerini tanımada güçlü bir araçtır	1. Tanıma performansları, önceden belirlenmiş birkaç bilinen duruma büyük ölçüde bağlıdır (Zhou vd.,2017:278-291)	1. Büyük miktarda eğitim veri setinin mevcut olduğu gerçekçi sürüş koşulları için uygundur

Kaynak: Zhou, Y. Vd., 2019:412

3.1.1. Markov Zinciri Tabanlı Hız Tahmin Algoritması

Markov bir diğer adıyla hafızasızlık özelliği olan, mevcut durumunun kendinden önceki veya sonraki durumlara bağlı olmadığı bir dizi olayını ifade eden stokastik bir modeldir.

Şekil 3.1.'de üç durumlu Markov zincirinin bir geçiş diyagramını göstermektedir. Durumda meydana gelen geçişlerin olasılıkları geçme olasılığı olarak adlandırılır. Sistem, herhangi bir anda kendi durumunda kalamaya devam edebilir ya da başka bir duruma geçebilir. Sistem P_1 durumundayken, bir sonraki olay durum P_1 'e geçme olasılığı π_{11} , durum P_2 'ye geçme olasılığı π_{12} veya durum P_3 'e geçme olasılığı π_{13} 'tür. Bu durumlar arasındaki olasılıklar kullanılarak Markov zinciri, geçiş olasılığı matrisi olarak adlandırılan matris formunda temsil edilebilmektedir. Burada π_{ij} , mevcut i durumundan j durumuna geçme olasılığıdır.



Şekil 3.1. Üç durumlu Markov zincirinin bir geçiş diyagramı

(Berg vd.,2018:205-210)'de Markov yönteminin, bilimsel çalışmalarda sık sık kullanılan tatmin edici sonuçlar veren bir stokastik bir süreç olduğu çıkarımı yapılmıştır. Bu bölümde önerilen yöntem olarak kullanılmaktadır. Aracın gelecekteki durumu bilinmediğinden, gelecekteki durum sonrasında meydana gelecek olaylardan bağımsızdır. Sistemin öncesinde gerçekleşen sürüş verileri, mevcut sürüş verilerini etkilemez, bu nedenle (Shi vd.,2016:171-181)'de sistemdeki aracın sürüş olayı Markov hafızasızlık özelliğine sahip olduğu söylenmiştir. Markov aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
 P(x(t+1) = \bar{x}_j | x(t) = \bar{x}_i, x(t-1) = \bar{x}_{i-1}, \dots, x(0) = \bar{x}_0) \\
 = P(x(t+1) = \bar{x}_j | x(t) = \bar{x}_i)
 \end{aligned} \tag{1}$$

t zamanı ifade eder. Denklem 1'de oluşan matris, literatürde geçiş olasılık matrisi olarak da yer almaktadır. Geçiş olasılıkları matrisinde yer alan geçme olasılığı değerleri Denklem 2'deki gibi tanımlanır.

$$\pi_{ij}^{+1} = P(x(n+1) = \bar{x}_j | x(n) = \bar{x}_i) \tag{2}$$

Burada i, j sistemdeki konum değişkenleridir ve π_{ij} řu anki adım olan n 'deki x_i konumundan bir ilerideki adım olan $n + 1$ 'deki π_{ij} durumuna geçiş olasılığıdır. Geçiş olasılığı Denklem 3'te gösterilmiştir.

$$\pi_{ij} \cong \frac{N_{ij}}{N_{oi}}, N_{oi} = \sum_{j=1}^M N_{ij} \quad (3)$$

π_{ij} , x_i durumundan x_i durumuna geçiş verilerinin miktarı, N_{oi} ise sistemdeki π_{ij} durumuna geçiş verileri toplanarak elde edilir. Denklem 3'teki gibi geçiş verileri sayılarak Markov zinciri oluşturulur.

3.1.1.1. Aralıklı Kodlama

Aralıklı kodlama, s¼rekli veriyi daha k¼çük aralılarla ayrıık durumlara b¼lmek için kullanılan bir metottur (Filey ve Kolmanovsky,2010:1-8; Moser vd.,2015:364-370). Durum uzayı olarak tanımlanan X 'i I_i 'ye b¼ler ve oluşan yeni aralıkları sistemde yer alan durumlardan sadece biri ile eşleştirir.

$$I_i \cap I_j = \emptyset, i \neq j; \cup_j I_j = X;$$

$$i, j = 1, \dots, M \quad (4)$$

Durum değeri olan \bar{x}_j 'in genellikle orta nokta değeri I_i olarak tanımlanır. Hesaplanan durum değeri yardımıyla beklentiye dayalı tahmin edilen değeri (\hat{x}) ve bir ilerideki adımın standart sapması (\hat{s}) aşağıdaki denklemlerle bulunabilir.

$$x(n) \in I_i \begin{cases} \hat{x}_i(n+1) = \sum_{j=1}^M \pi_{ij}^{+1} \bar{x}_j, \\ \hat{s}_i(n+1) = \sqrt{\sum_{j=1}^M \pi_{ij}^{+1} (\hat{x}(n+1) - \bar{x}_j)^2} \end{cases} \quad (5)$$

Denklem 5'teki gibi sistemin gelecekteki durumdaki adımların değerleri, k ufku boyunca aşağıdaki gibi tahmin edilebilir.

$$x(n) \in I_i \begin{cases} \hat{x}_i(n+k) = \sum_{j=1}^M \pi_{ij}^{+k} \bar{x}_j, \\ \hat{s}_i(n+k) = \sqrt{\sum_{j=1}^M \pi_{ij}^{+1} (\hat{x}(n+k) - \bar{x}_j)^2} \end{cases} \quad (6)$$

k tahmin aralığı boyunca tahmin edilen değer setleri aşağıdaki gibi gösterilir;

$$\begin{aligned} \hat{X}(n+k|n) &= [x(n), \hat{x}(n+1), \dots, \hat{x}(n+k-1), \hat{x}(n+k)] \\ \hat{S}(n+k|n) &= [0, \hat{s}(n+1), \dots, \hat{s}(n+k-1), \hat{s}(n+k)] \end{aligned} \quad (7)$$

Denklemlerde k , n adımındaki tahmin ufkudur, $\hat{X}(n+k|n)$ tahmin yörüngesindeki k adım değeridir ve $\hat{S}_i(n+k)$ standart sapmadaki k adımının standart sapma değeridir.

Tahmin doğruluğunu kontrol etmek için hata karelerin ortalamasının karekökü (RMSE) (Ye vd.,2018:1378-1389) kullanılmıştır. Denklem 8'de RMSE formülasyonu verilmiştir.

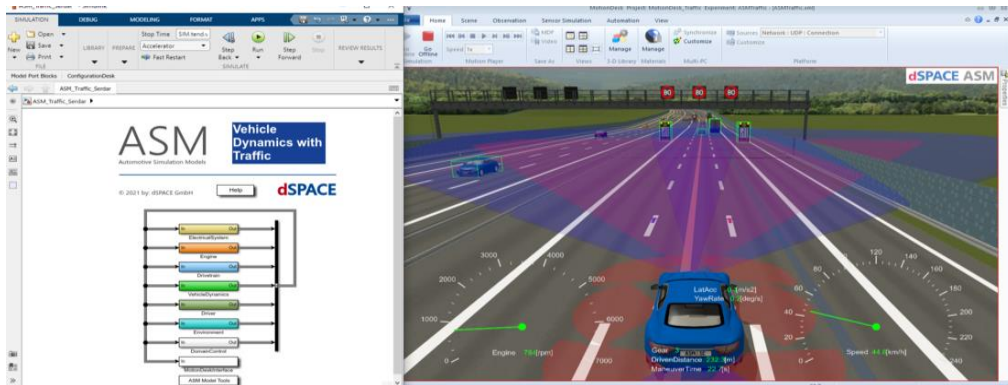
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n_s} (y(k) - \hat{y}(k))^2}{n_s}} \quad (8)$$

Denklem 8'de n_s , toplam adım sayısıdır ve $\hat{y}(k)$ çıktının tahmin edilen değeridir. Tahmin için 2 farklı zaman ufku yapıldığından her sürücü için iki farklı RMSE değeri elde edilmektedir.

3.2 Test Düzenegi

Kullanılan algoritma için sisteme girdi olarak kullanılacak hız değerleri, dSPACE simülatöründe yer alan sürüş çevrimlerinde 3 farklı sürücünün kullandığı aynı araç modelinden elde edilmiş, 1 ve 2 saniye olmak üzere 2 farklı öngörü ufku boyu için elde edilen hızlar araç hız tahmininde kullanılmıştır.

Oluşturulan algoritmanın gelecekte uyarlanabilirliği için gerçek zamanlı olarak bir kontrolcü sistem yardımıyla incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle gerçek zamanlı uygulamaları olan yazılımlar tercih edilmektedir. İçerisinde bulunan güçlü donanımlarla desteklenen gerçek zamanlı simülasyonlarla birlikte otomotiv sektöründe genellikle tercih edilen, Alman yazılımı olan dSPACE sistemi yüksek kaliteli ve başarılı bir yazılımdır. Ayrıca Model Desk, Motion Desk gibi içerisinde bulunan paket yazılımlar ile simülasyonun kontrolü ve model için gerekli olan verilerin elde edilmesini sağlanmaktadır. Modelin daha hızlı sonuç vermesi içinse model dSPACE yazılımını gömülmüştür. Aynı zamanda gerekli olan zaman koşullarına uyum sağlayabilmesi için modelin çalıştırıldığı bilgisayar Intel Xeon E5 3.2 GHz CPU ile donatılmıştır. Kurulan sistemin gerçekçi bir sistem olması ve gerçek zamandaki hızlanma yavaşlama potansiyellerini görmek adına sürüş çevrimleri 3 farklı insan tarafından Logitech G29 driving force oyun konsolu kullanılarak çevrimler tamamlanmıştır. Sürücüler oyun konsolunda bulunan direksiyon, fren ve gaz pedalı ile aracın yalnızca boyuna olan hareketini gerçekleştirmişlerdir. MATLAB/SIMULINK ile çalışan dSPACE sisteminin Motion Desk paketinde yer alan trafik modeli görsel olarak Şekil 3.2.'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Tarsus Üniversitesi Otonom ve Elektrikli Araçlar Laboratuvarı

Kaynak: Coşkun, 2022. <http://lab.tarsus.edu.tr/cars/tr/page/biyografi/15233> adresinden erişildi

3.3. Monte Carlo Yöntemi

Monte Carlo (MC) yöntemleri, belirli bir verinin ilk dağılımını kullanarak, deterministik hesaplamasını gerçekleştiren ve birleştirilmiş sonuçları toplayan bir algoritma sınıfıdır (Chen ve Shao,1999:69-92). Yapılan çalışmada, sürüş çevrimlerini belirsizlik altında tahmin etmek için MC yöntemleri kullanılmıştır. Literatürde çok çeşitli MC algoritmaları bulunmakla birlikte; bu tezde, Metropolis-Hasting algoritması tercih edilmiştir. Bu algoritma ile, geleneksel yöntemlerin aksine, verilen ilk Gauss verilerinin önceki dağılımının ortalama değerinin (sürüş döngüsü hızını) bilinmediği varsayılır. Algoritmanın stokastik doğasını, sürüş çevrimlerini ölçmedeki belirsizlikleri yansıtır. Bilinmeyen ortalama hız, atanan ortalama hız (m) ve varyans parametreleri (η), normal dağılıma sahiptir. Matematiksel ifadeler aşağıda verilmektedir;

$$D|\mu, \sigma^2 \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma^2) \quad (9)$$

Burada σ , önceki (prior) bilinen varyanstır.

Denklem 9'da,

$$-\infty < \mu < \infty, \sigma^2$$

$$\mu|m, \eta^2 \sim \mathcal{N}(m, \eta^2), m, \eta^2$$

olarak kabul edilir.

Çalışmada, bilinmeyen ortalama hızın, alt sınır değeri 0 alınmıştır. Sürüş verileri (D) elde edildikten sonra, bilinmeyen parametrenin sonraki (posterior) olasılık dağılımı olan μ , tahminin ilk (prior) dağılımı yardımıyla bir dizi analitik işlem gerçekleştirilerek hesaplanır. Tahminin ortalaması ve varyansı aşağıda verilmektedir.

$$\hat{\mu} = \frac{\left(\frac{m}{\eta^2 + \sigma^2}\right)}{\left(\frac{1}{\eta^2 + \sigma^2}\right)}, \hat{\sigma}^2 = \frac{\eta^2 \sigma^2}{\sigma^2 + n\eta^2} \quad (10)$$

Denklem 10'da $\hat{\mu}$ tahmini ortalama, $\hat{\sigma}^2$ tahmini varyans ve n örnek sayısıdır. Tahminin sonraki dağılımı, önceki dağılımı ve amaç fonksiyonunun çarpımının integrali ile tanımlandığından, analitik olarak değerlendirilmesi zordur. Metropolis-Hasting algoritması, bu integrali rastgele değer çekme yöntemini kullanarak hesaplar (Gill,2014). Belirtilen varsayımlar altında, geliştirilen algoritma aşağıda verilmektedir;

Önerilen algoritma: Bayesian tabanlı hız tahmin algoritması

Veri: İlk veri setini başlatma

$$D|\mu, \sigma^2 \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$$

Kabul oranını hesaplayın:

$$a = \frac{D(\Gamma|\mu^{k+1})D(\mu^{k+1})}{D(\Gamma|\mu^k)D(\mu^k)}$$

Kabul oranı < rastgele $u \in [0,1]$ ise

$$D = \mu^{k+1}$$

Aksi halde

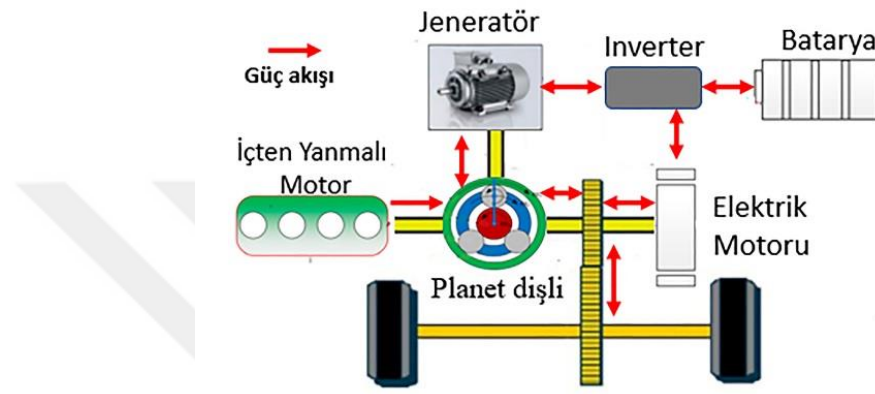
$$D = \mu^k$$

Son

Algoritmadaki k , öngörü adımındır. Monte Carlo simülasyonunun ana özelliklerinden biri, hesaplamaların deterministik olmamasıdır; yani sonuçlar örnekleme boyutuna göre farklılık gösterebilir. Yukarıdaki algoritmada, sürüş döngüsü hız tahmininin doğruluğu, daha yüksek bir örnek sayısı ile artırılmıştır. Ancak, örnek sayısı ve simülasyon hızı arasında bir ters orantı bulunduğundan, örnek sayısının kontrollü artırılması gerekir.

3.4. Enerji Yönetimi Problem Formülasyonu

Otomotiv sektöründe en başarılılardan olarak gösterilen güç paylaşımlı HEV hem paralel hem de seri konfigürasyon avantajlarına birlikte sahiptir (Yang vd.,2016:683-690). Bu nedenle tezde çalışma nesnesi olarak kullanılmak için tercih edilen güç paylaşımlı bir HEV topolojisi Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Güç paylaşımlı hibrit elektrikli araçların yapısı

Kaynak: Zhang vd., 2020, 13(13):3352

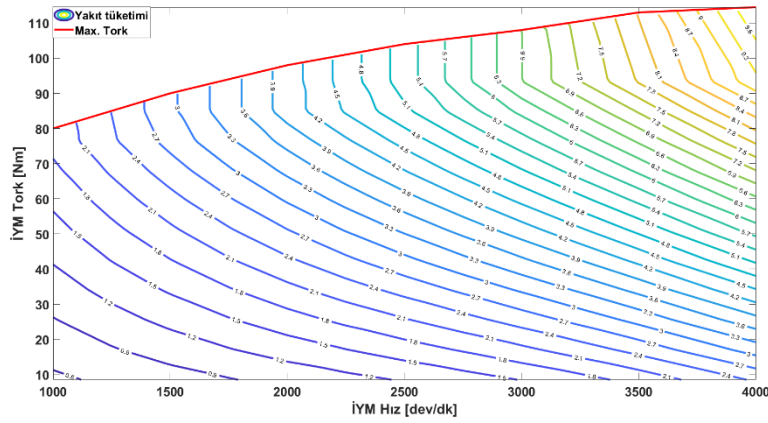
3.4.1. İçten Yanmalı Motorun Modeli

İçerisinde birçok bileşen içeren İçten yanmalı motor (İYM), karmaşık bir sistemdir. Bu nedenle İYM'yi doğru modellemek zordur. Bundan dolayı bu tezde oluşturulan modelde kullanılacak olan İYM hızı ve torku deneysel verilerle elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu sayede kurulan motor modelinde aracın dinamik karakteristikleri göz ardı edilmiştir. Denklem 11'de gösterilen İYM hızı ve torkunun fonksiyonel ifadesi yakıt tüketim oranını verir. İYM torku ise Denklem 12'deki gibi hesaplanır.

$$\dot{m}_{yakıt} = \Psi(\omega_{İYM}, T_{İYM}) \quad (11)$$

$$T_{İYM}(t) = \alpha(t) \cdot T_{İYMmax}(\omega_{İYM}(t)) \quad (12)$$

Denklem 11’de $\dot{m}_{yakıt}$ İYM yakıt tüketim oranını, $\omega_{İYM}$ İYM hızını, $T_{İYM}$ İYM torkunu göstermektedir. Denklem 12’de α motor gaz kelebeği açıklığını, $T_{İYMmax}$ İYM’nin mevcut hızda maksimum torkunu, t ise zaman değişkenini göstermektedir. Yakıt tüketimi haritası Şekil 4.2.’de verilmiştir.



Şekil 3.4. İçten yanmalı motor yakıt tüketimi haritası

3.4.2. Elektrik Motorunun Modeli

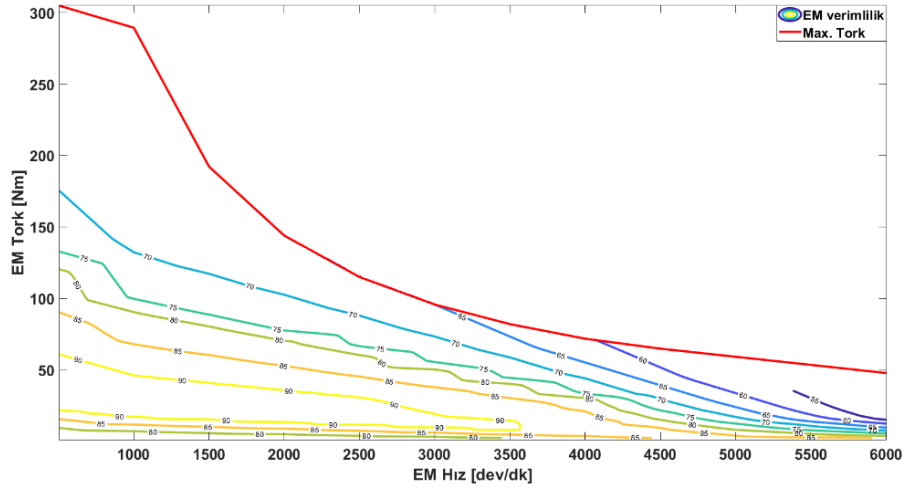
Bu bölümde amaç EM gücü ile EM hızı arasındaki ilişkiyi bulmaktır. İYM modellemede olduğu gibi EM’nin de dinamik özellikleri etkisiz kabul edilmiştir.

$$\eta_{EM} = \Psi(T_{EM}(t), (\omega_{EM}(t))) \quad (13)$$

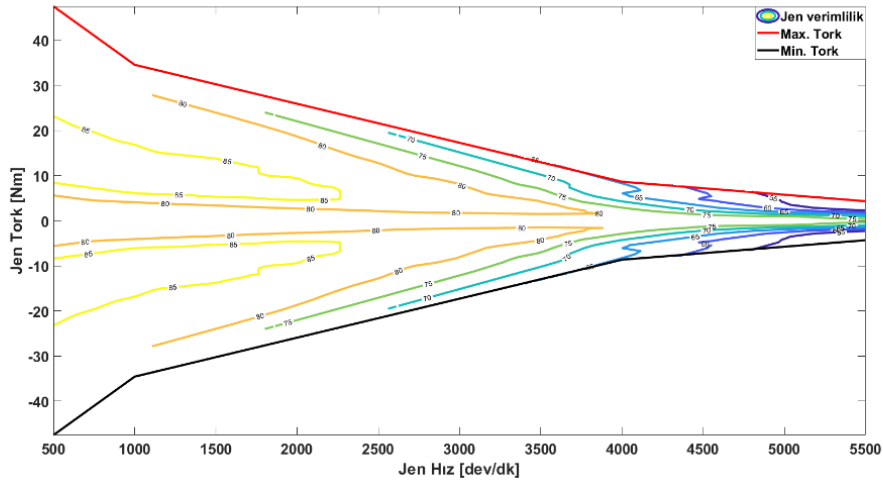
$$P_{EM}(t) = \frac{T_{EM} \omega_{EM}}{9550 \eta_{EM}} \quad (14)$$

Denklem 13’te η_{EM} , elektrik motorunun verimliliği; T_{EM} , elektrik motor torkunu; ω_{EM} , elektrik motorunun dönüş hızı olarak ifade edilmiş ve bu değişkenlerle EM verimi hesaplanmıştır. Gerekli motor gücü ise Denklem 14’te P_{EM} gerekli güç ifadesi ile tanımlanmıştır. Burada; Ψ_1 , Ψ_2 ve Ψ_3 sembolleri sırasıyla İYM, JEN ve EM’in deneysel

haritasını temsil etmektedir. EM verimlilik haritası Şekil 3.5.'te ve JEN verimlilik haritası Şekil 3.6.'da verilmiştir.



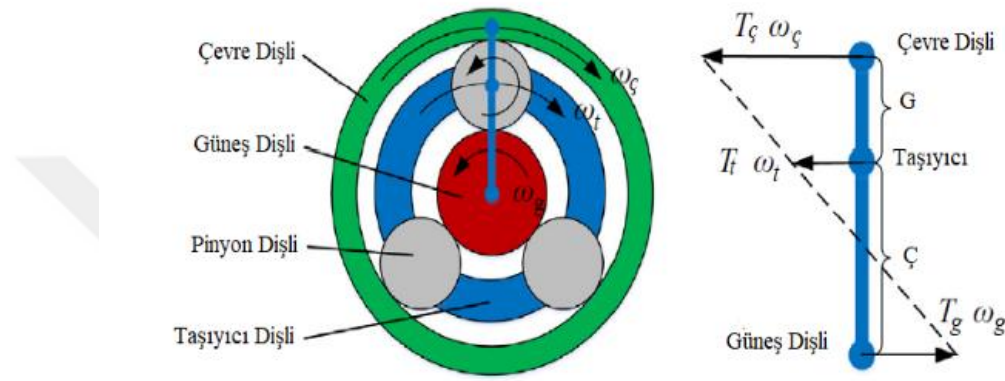
Şekil 3.5. Elektrik motoru verimlilik haritası



Şekil 3.6. Jeneratör verimlilik haritası

3.4.3. Vites Kutusu Modeli ve Araç Dinamiği Modeli

Bu bölümde ilk olarak vites kutusu için bir planet dişli sistemi modellenmiştir. Modellen Planet dişli sisteminin yapısı Şekil 3.7.'de görülmektedir. Planet dişli takımları genellikle EM'nin planet taşıyıcıya bağlı olduğu, JEN'in güneş dişlisine bağlı olduğu ve nihai tahrike güç sağlamak için halka dişliyi EM ile birleştirmek için bir tork kuplörünün kullanılarak güç bölme işlevini sağlamak için kullanılır. Dişli sisteminin kinematik denklemi, halka dişli, güneş dişli ve gezegen taşıyıcının açısal hızları olarak türetilmektedir.



Şekil 3.7. Planet dişli sisteminin yapısı

$$\omega_g * G + \omega_ç \zeta = \omega_t * (G + \zeta) \quad (15)$$

Denklem 15'te G güneş dişlisinin ζ ise çevre dişlinin yarıçaplarıdır. $\omega_ç$, ω_g , ω_t sırasıyla çevre, güneş ve taşıyıcı dişlilerin açısal hızlarıdır. İtten yanmalı motor gücünü elektriğe dönüştürmek için kullanılan JEN, aküyü şarj edebilir veya doğrudan EM'yi besler.

$$J_{JEN} \frac{d\omega_{JEN}}{dt} = T_{JEN} + FG \quad (16)$$

$$J_{IYM} \frac{d\omega_{IYM}}{dt} = T_{IYM} - F(G + \zeta) \quad (17)$$

$$J_{EM} \frac{d\omega_{EM}}{dt} = T_{EM} - (T_{şaft/g_f}) + F\zeta \quad (18)$$

Denklem 16-18'de yer alan güç aktarma sisteminin dinamikleri, Planet dişli sistem ataletini ihmal edilip ve tüm güç aktarma şaftlarının rijit olduğunu varsayılarak türetilmiştir. Denklem 6'da J_{JEN} JEN ataletini, $T_{JEN} = T_g$ JEN torkunu, F ise pinyon dişlileri üzerindeki iç kuvveti temsil eder. Denklem 17'de $J_{İYM}$ İYM ataletini, $T_{İYM} = T_t$ motor torkunu ifade eder. Son olarak Denklem 18'deki J_{EM} EM ataleti, g_f nihai tahrikin dişli oranı, $T_{şaft}$ ise üretilen torktur. Şaft, tahrik aksındaki güç aktarma organından üretilen torktur. 16-18'deki dinamik denklemleri basitleştirmek için eşitliğin sol tarafındaki atalet kayıpları yok sayılır. EM'nin dönüş hızı ve şaft tork gereksinimi şu şekilde elde edilir;

$$\omega_{EM} = \frac{g_f}{R_{tekerlek}} V \quad (19)$$

$$m \frac{dV}{dt} = \frac{T_{şaft} + T_{fren}}{R_{tekerlek}} - mg \sin(\theta) - \frac{1}{2} \rho A C_d V^2 - C_{\zeta} mg \cos(\theta) \quad (20)$$

Denklem 19'daki $R_{tekerlek}$, tekerlek yarıçapı; V , araç hızıdır. Denklem 20'deki m araç kütlelerini; T_{fren} , sürtünmeli fren torkunu ifade eder; θ yol eğimini belirtir ve eğimin sıfır olduğu varsayılır; $\frac{1}{2} \rho A C_d$, aerodinamik sürtünme direncidir; C_{ζ} ise yuvarlanma direnci katsayısını temsil eder.

Denetleyici, sürekli olarak İYM, JEN ve EM arasında optimum yakıt tüketimini minimuma indirmek için çalışır. Motorun yakıt oranı ve çalışması JEN ve EM'nin verimlilikleri ampirik verilerden çıkarılır. Açısal hız ve torklar ile indekslenen denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_{yakıt} = \Psi_1(\omega_{İYM}, T_{İYM}) \quad (21)$$

$$\eta_{JEN} = \Psi_2(\omega_{JEN}, T_{JEN}) \quad (22)$$

$$\eta_{EM} = \Psi_3(\omega_{EM}, T_{EM}) \quad (23)$$

Burada; Ψ_1 , Ψ_2 ve Ψ_3 İYM, JEN ve EM'ye karşılık gelen deneysel haritalardır.

İnvertör yardımıyla elektrik için güç sağlayan batarya aynı zamanda elektrikten enerjiyi geri kazanmak için de kullanılmaktadır. Bataryayı tanımlamak için (Hu vd.,2012:359-367; Moura vd.,2014:11015)'da bir temel direnç modeli kullanılmıştır. SOC aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$SO\dot{C}(t) = -\frac{I_{bat}(t)}{Q} \quad (24)$$

$$I_{bat}(t) = \frac{V_{ac} - \sqrt{V_{ac}^2 - 4 * R * P_{bat}(t)}}{2 * R} \quad (25)$$

Denklem 24'te I_{bat} batarya akımıdır. Denklem 25'te V_{ac} batarya açık devre gerilimi, R batarya iç direnci, P_{bat} batarya gücüdür. Terminal batarya güç gereksinimi aşağıda verilmektedir. Batarya gücü gereksinimi şu şekilde formüle edilir:

$$P_{bat} = P_{JEN} / (\eta_{JEN} \eta_{dönüştürücü})^{k_{JEN}(t)} + P_{EM} / (\eta_{EM} \eta_{dönüştürücü})^{k_{EM}(t)} \quad (26)$$

Denklem 26'da P_{JEN} JEN'nin ve P_{EM} EM'nin mil güçleridir.

$$k_i = \begin{cases} 1 & P_i > 0 \\ -1 & P_i \leq 0 \end{cases}, \text{ için } i = \{JEN, EM\} \quad (27)$$

Denklem 15 – 27'de uygulamada kullanılan enerji yönetimi stratejisi odaklı modeli açıklamıştır.

3.4.4. Eşdeğer Tüketim Minimizasyonu

ETMS'nin ana fikri, elektrik tüketimini eşdeğer yakıt tüketimine çevirerek anlık eşdeğer yakıt tüketimini en aza indirerek gücün dağıtılmasıdır. Diğer EYS'lerin aksine,

ETMS'deki kontrol değişkeni, ikincil güç kaynağının enerji tüketimi ile güç gereksinimi arasındaki ilişki olarak tanımlanan eşdeğer faktördür (EF). EF, yakıt ekonomisinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu nedenle, farklı sürüş çevrimlerine göre uygun bir eşdeğer faktörün seçilmesi önemli bir konudur. Bu yöntem için, gerçek zamanlı kontrol için uygulanması kolaydır ve sürüş döngüsü hakkında önceden bilgi sahibi olmadan optimalin altında sonuçlar elde edilir.

ETMS'de yapılan optimizasyon için genel formülasyon aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{EYT}(u(t), t) &= \dot{m}_{yakıt}(u(t), t) + \dot{m}_{EM}(u(t), t) \\ &= \dot{m}_{yakıt}(u(t), t) + s(t) \frac{P_{EM}(u(t), t)}{Q_{AID}} \end{aligned} \quad (28)$$

$$\left[T_{iYM_{opt}}, T_{EM_{opt}}, T_{JEN_{opt}} \right] = \arg \min_{T_{iYM}, T_{EM}, T_{JEN}} (\dot{m}_{EYT}(u(t), t)) \quad (29)$$

Sınırlar;

$$\begin{aligned} SOC^{min} &\leq SOC \leq SOC^{max}, \\ I_{bat}^{min} &\leq I_{bat} \leq I_{bat}^{max}, \\ T_{iYM}^{min} &\leq T_{iYM} \leq T_{iYM}^{max}, \\ T_{JEN}^{min} &\leq T_{JEN} \leq T_{JEN}^{max}, \\ T_{EM}^{min} &\leq T_{EM} \leq T_{EM}^{max}, \\ P_{bat}^{min} &\leq P_{bat} \leq P_{bat}^{max}, \\ \omega_{iYM}^{min} &\leq \omega_{iYM} \leq \omega_{iYM}^{max}, \\ \omega_{JEN}^{min} &\leq \omega_{JEN} \leq \omega_{JEN}^{max}, \\ \omega_{EM}^{min} &\leq \omega_{EM} \leq \omega_{EM}^{max}, \\ SOC(T) &= SOC(0) \end{aligned} \quad (30)$$

olarak kabul edilmektedir.

Kontrol yasası olan $u^*(t)$, kısıtları sağlayacak şekilde optimum ise yani denklem 29'un çözümünü en az yapıyorsa PMİ gerektirdiği koşulları sağlamış olur. PMİ çözüm kümesi oluşturmaya yardım eder. Hesaplanan $u^*(t)$ değeri, optimal kontrol problemi olan Hamilton değerini en aza indir ve Denklem 31'deki gibi hesaplanır.

$$H(x, u, \lambda) \geq H(x, u^*, \lambda) \quad (31)$$

Denklem 31'de kontrol etmek istenilen durumlar x olarak tanımlanır.

$$H(x, u, \lambda) = \lambda f(x, u) + m'_{yakıt}(u) \quad (32)$$

Denklem 32'deki yardımcı değişken λ aşağıda yer alan eşitliği sağlamak zorundadır.

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{\partial f(x, u)}{\partial x} \quad (33)$$

Bu bölümde yer alan denklemleri sağlayan her bir değer optimizasyon için çözüm adayıdır.

Denklem 34'te Yakıt enerjisi kullanımı ile elektrik enerjisi kullanımı arasındaki ilişki eş durumu, denklik faktörünü olan λ ile türetilir.

$$s(t) = -\lambda(t) * \frac{Q_{AID}}{E_{bat}} \quad (34)$$

Burada Q_{AID} , kullanılan yakıtın alt ısı değerini E_{bat} ise pil enerji kapasitesi anlamına gelir.

Kullanılan Power-Split hibrit elektrikli aracın ana parametreleri Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Güç paylaşımli hibrit elektrikli aracın ana parametreleri

Bileşen	Parametre	Değer
İçten Yanmalı motor	Tipi	Dört silindirli sıralı benzinli motor
	Maksimum güç	57 kW @ 4500 RPM
	Maksimum tork	110 Nm @ 4500 RPM
Elektrik motoru	Tipi	AC motor
	Maksimum güç	35 kW @ 1040-5600 RPM
	Maksimum tork	30 Nm @ 3000-5500 RPM
Pil	Enerji kapasitesi	5 kWh/pil paketi
	Şarj kapasitesi	2.3 Ah/akü ünitesi
	Pil hücresi düzeni	110 seri x 6 paralel

Kaynak: Rousseau A. vd.,2006

BÖLÜM IV

BULGULAR ve TARTIŞMA

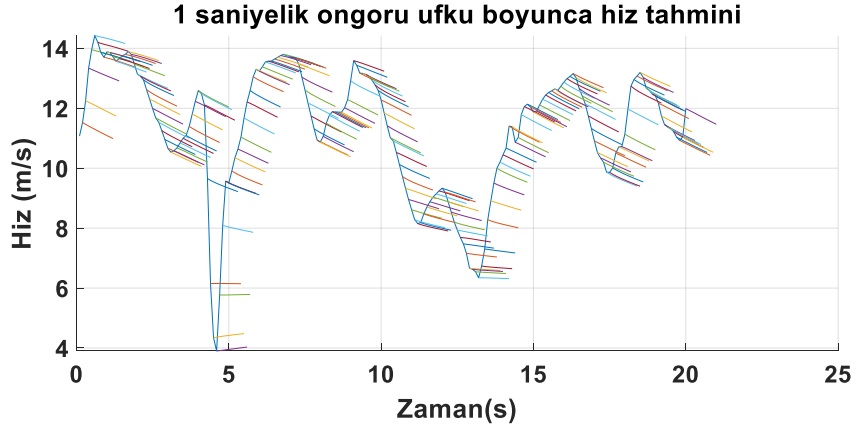
4.1. Hız Tahmini Sonuçları

Önerilen algoritmada 3 farklı sürücü için, 1 ve 2 saniyelik zaman aralığında hız tahmini hesaplanmış, tahmin değerleri gerçek hız değerleri ile karşılaştırılmıştır.

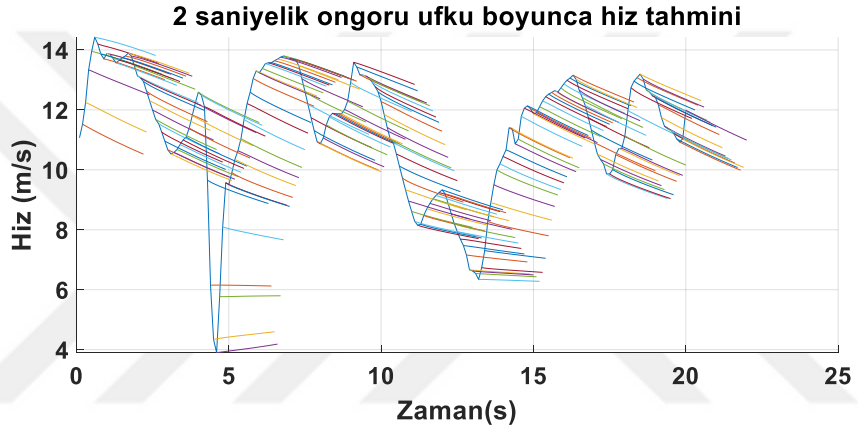
Tablo 4.1. Önerilen algoritmanın 3 sürücü için performans analizi

Sürücüler	1 Saniyelik Tahmin Ufku		2 Saniyelik Tahmin Ufku	
	RSME (m/sn)	Hesaplama Zamanı	RSME (m/sn)	Hesaplama Zamanı
Sürücü 1	1.3679	0.018117	1.8094	0.037420
Sürücü 2	1.8982	0.017768	2.7453	0.029989
Sürücü 3	0.6556	0.014959	1.1634	0.023386

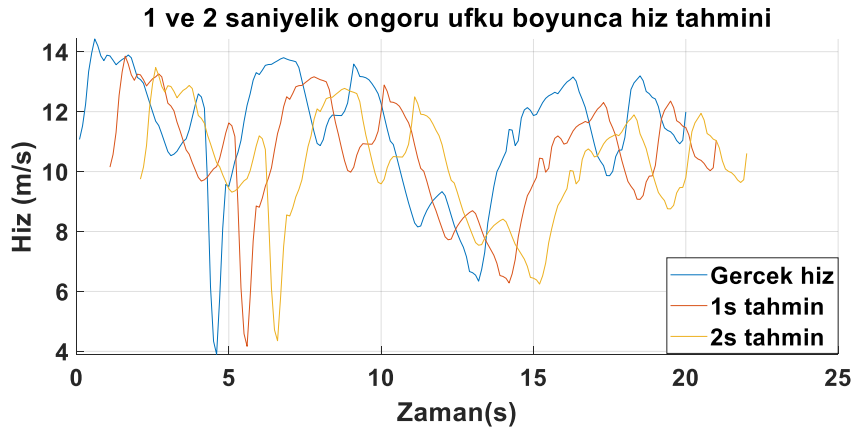
Önerilen tahmin algoritması ve gerçek hız değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sürücü farklılığı dışında aynı şartlar altındaki durumlar karşılaştırılarak tahmin ufku performansında meydana gelen sonuçlar incelenmiştir. Markov zincirinin parametreleri önerilen algoritma ile aynıdır. Farklı sürücüler tarafından elde edilen hızlar ve tahmin değerlerinden oluşan veriler değişiklik yapılmadan Mavi renkli çizgide sürücü tarafından elde edilen gerçek hız, kırmızı renkli çizgide algoritmaya dayalı 1. Tahmini, sarı çizgide ise algoritmaya dayalı 2. Tahmini göstermektedir.



Şekil 4.1. Sürücü 1 için 1 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini



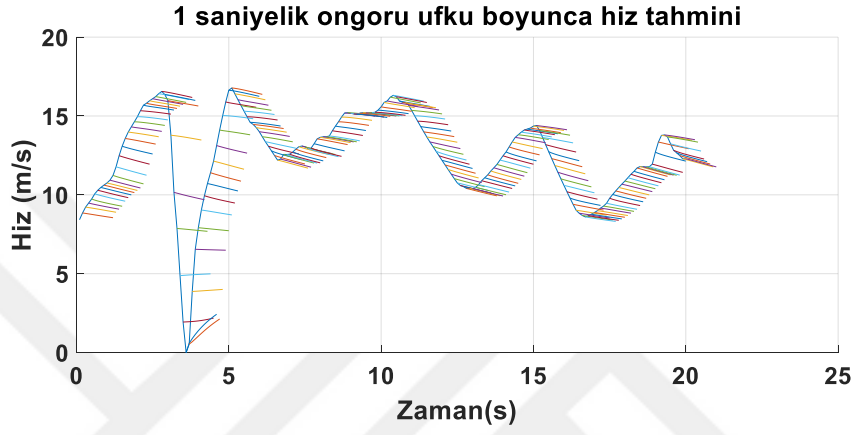
Şekil 4.2. Sürücü 1 için 2 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini



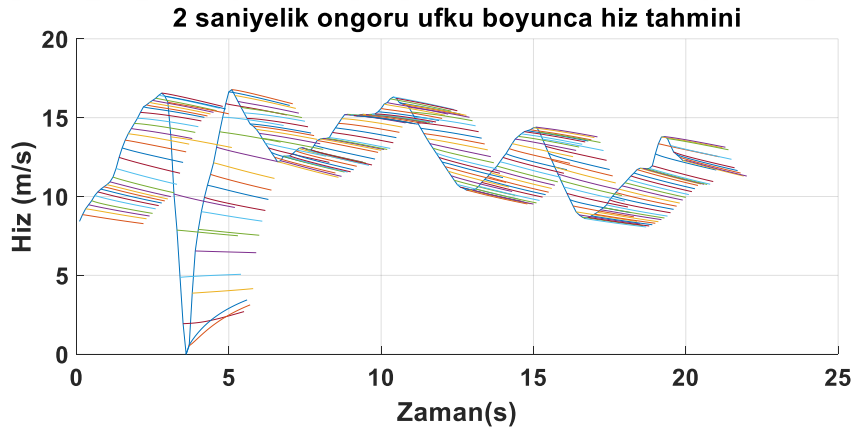
Şekil 4.3. Sürücü 1 için gerçek hız ve öngörü ufku boyunca hız tahmini

Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'te Sürücü 1'in önerilen algoritma sonucunda 2 farklı tahmin ufku boyunca elde edilen verileri grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 4.3.'te ise tahmin

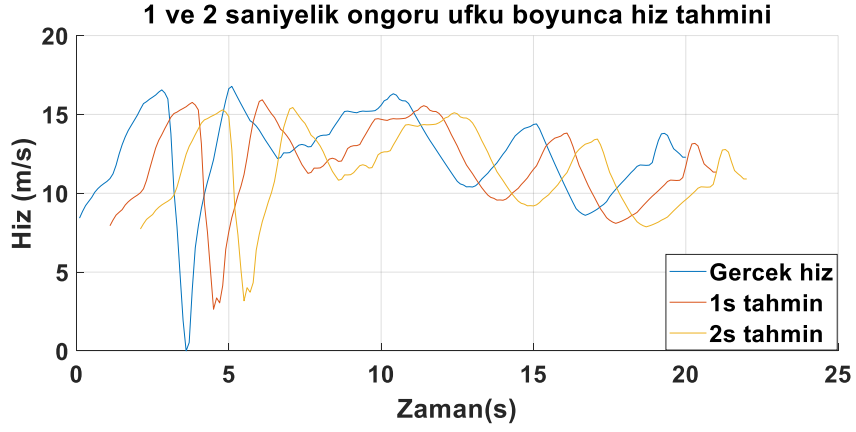
değerleri, sürücünün gerçek hız değeri birlikte verilmiştir. Önerilen algoritma ile gerçek değerlerin örtüştüğü, özellikle tahmin ufkunun kısa olduğu 1 saniyelik tahmin aralığında daha iyi sonuç alındığı söylenilebilmektedir. Tablo 4.1.'deki RMSE değerleri incelendiğinde 1 saniyelik tahmin aralığında 1.3679, 2 saniyelik aralıkta ise 1.8094 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle algoritmanın kısa ufuk aralıklarında daha iyi sonuçlar verdiğini RMSE değerleri ile doğrulanmıştır.



Şekil 4.4. Sürücü 2 için 1 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini

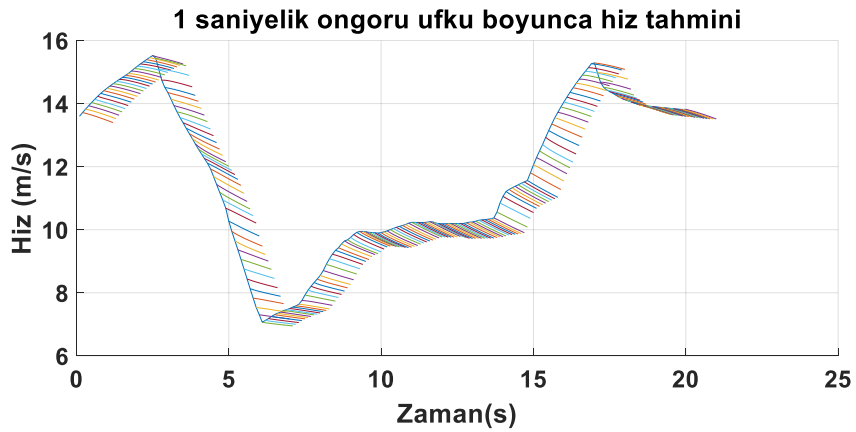


Şekil 4.5. Sürücü 2 için 2 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini

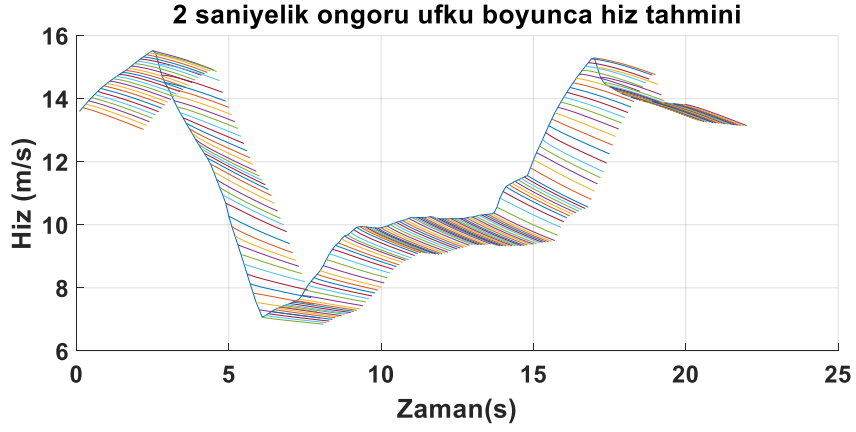


Şekil 4.6. Sürücü 2 için gerçek hız ve öngörü ufku boyunca hız tahmini

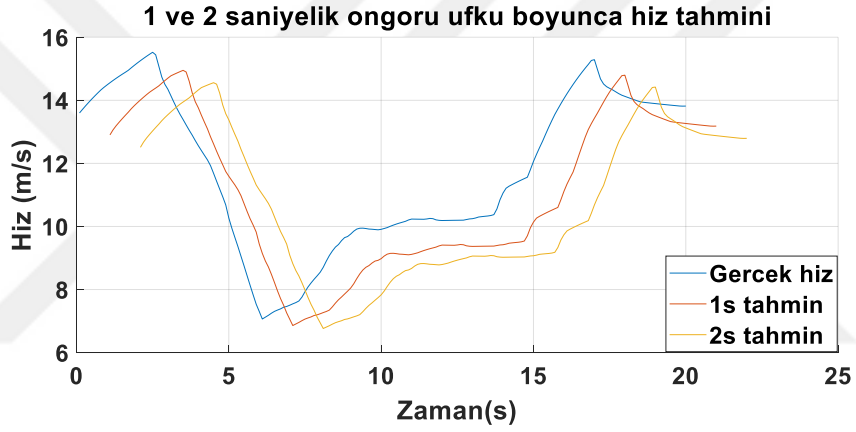
Sürücü 2'nin önerilen algoritma sonucunda elde edilen tahmin verileri, Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te verilmiş ve yapılan tahminler değerlendirildiğinde Sürücü 1'le kıyaslandığında tahmin hatasından kaynaklı sapmaların arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.6.'da ise gerçek hız ve öngörü ufku boyunca yapılan tahmin değerleri tek grafikte verilmiştir. Tablo 4.1.'de, sürücü 2'nin sürüş çevrimine ait RMSE değeri, 1 saniyelik tahminde 1.8982, 2 saniyelik durumda ise 2.7453 olarak hesaplanmıştır. Yapılan tahmin ve hesaplanan RMSE değerleri ile artan ve azalan hız profillerinin tahmin hatasını da artırdığı görülmüştür. Bu durumda gerçek trafik senaryosunda karşılaşılmaması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.7. Sürücü 3 için 1 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini



Şekil 4.8. Sürücü 3 için 2 saniyelik öngörü ufku boyunca hız tahmini



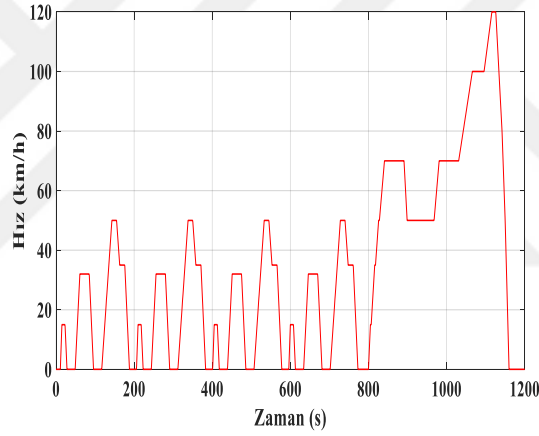
Şekil 4.9. Sürücü 3 için gerçek hız ve öngörü ufku boyunca hız tahmini

2 farklı öngörü ufku boyunca, Sürücü 3'ün hız tahmin sonuçları Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de verilmiştir. Sürücü 3'ün sürüş çevrimi diğer sürücülere kıyasla daha kontrollü gerçekleştiği için Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de tahmin hatalarında kaynaklı olan sapmaların daha dar aralıkta olduğu görülmektedir. Şekil 4.9.'da gerçek hız ve öngörü boyunca hız tahmin değerleri birlikte verilmiştir. RMSE değerlerinin yer aldığı Tablo 4.1.'de, 3. Sürücünün sürüş çevrimine ait RMSE değeri, 1 saniyelik tahminde 0.6556, 2 saniyelik tahminde 1.1634 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca gerçek zamanda uyarlanabileceği, Tablo 4.1.'de verilen hesaplama zamanları ile anlaşılmaktadır.

4.2. ECMS Sonuçları

Yapılan modellemeler analiz edilirken farklı özelliklere sahip sürüş çevrimleri olan Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (NEDC), Dünya Çapında Uyumlu Hafif Araçlar Test Prosedürü (WLTP), Kentsel Dinamometre Sürüş Programı (UDDS), Otoyol Yakıt Ekonomisi Testi (HWFET), New York Şehri Döngüsü (NYCC), Los Angeles (LA 92) ve tüm döngülerin kombinasyonu (ALL-CYC) çalışılmıştır. Kullanılan sürüş döngüleri aşağıda açıklanmıştır.

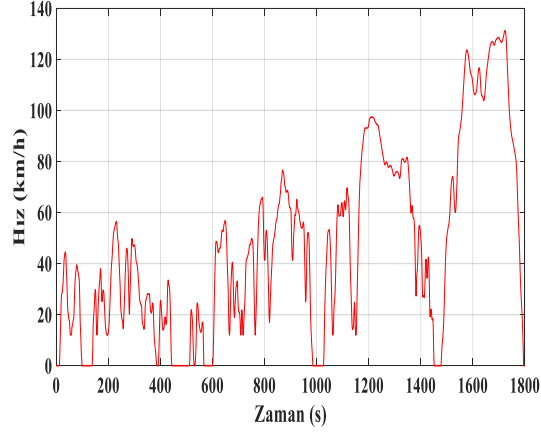
Avrupa'daki tipik bir otomobilin kullanımını temsil eden sürüş çevrimi olan NEDC, otomobil motorlarının emisyon seviyesini ve yakıt ekonomisini değerlendirmek için tasarlanmıştır. NEDC sürüş çevriminin hız profili Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. NEDC sürüş çevriminin hız profili

Araç hızının maksimum 120 km/sa olduğu çevrim 1200 saniyede tamamlanmaktadır.

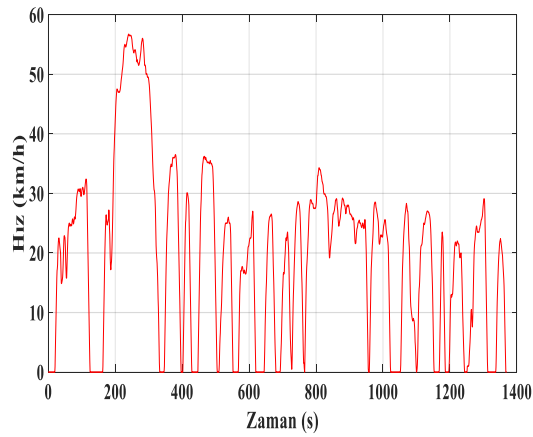
Dünya çapındaki hafif araçlardan kaynaklanan emisyonların ve bu araçların yakıt ekonomisini test eden sürüş çevrimi WLTP'dir. WPLT sürüş çevriminin hız profili Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. WLTP hız profili

WPLT'de araç hızı en çok 131,33 km/sa olmakla birlikte sürüş çevrimi 1800 saniyeden oluşmaktadır.

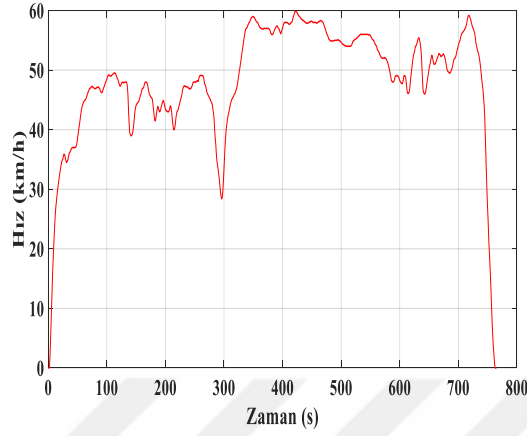
UDDS, hafif ticari araç testi için kullanılan şehir içi sürüş koşullarını temsil eden yakıt ekonomisi testi için oluşturulan sürüş çevrimi ifade eder. Bu sürüş çevriminde araç maksimum 57 km/sa hıza çıkmakta ve çevrim 1370 saniyede tamamlanmaktadır. UDDS sürüş çevriminin hız profili Şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.12. UDDS hız profili

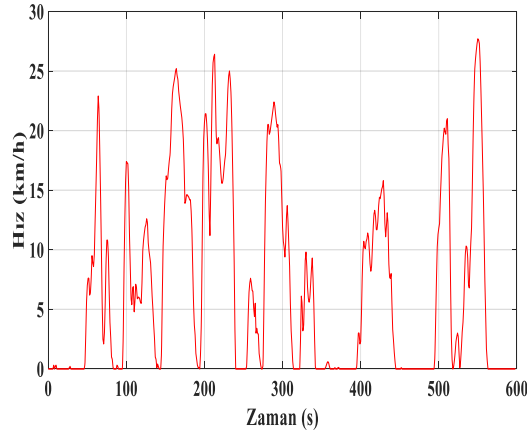
HWFET, hafif hizmet araçlarının yakıt ekonomisini belirlemek için oluşturulmuş bir sürüş döngüsünü temsil eder. Bu sürüş çevrimi 765 saniyede tamamlanmakta ve aracın

hızı maksimum 60 km/sa hıza çıkmaktadır. HWFET sürüş çevriminin hız profili Şekil 4.13.'te verilmiştir.



Şekil 4.13. HWFET hız profili

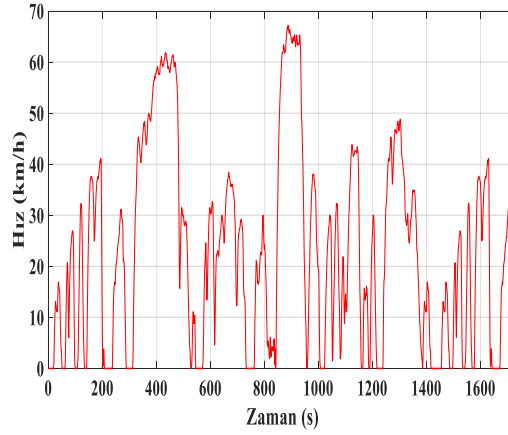
NYCC, New York'ta şehir içinde düşük hızlardan ve sık duraklamalardan oluşan bir sürüş çevrimidir. Araç maksimum 27 km/sa olduğu NYCC sürüş çevrimi 598 saniyede tamamlanır. NYCC sürüş çevriminin hız profili Şekil 4.14.'te verilmiştir.



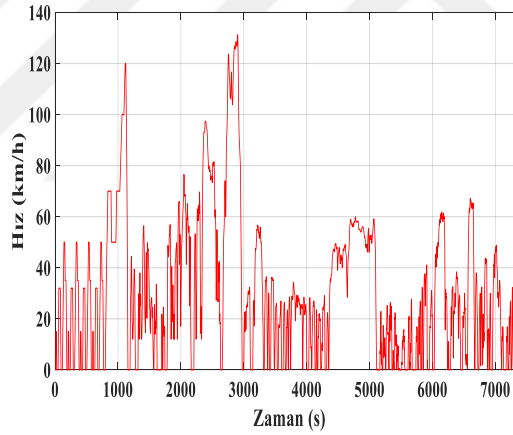
Şekil 4.14. NYCC hız profili

LA92, Los Angeles'te şehir içinde düşük ve orta hızlarda, dur ve kalk trafik koşullarına sahip bir sürüş çevrimidir. LA92 sürüş çevrimi 1735 saniyeden oluşmakta ve

araç maksimum 67 km/sa hıza çıkmaktadır. LA92 sürüş çevriminin hız profili Şekil 4.15'te verilmiştir. Bütün döngülerin olduğu sürüş çevrimi ise Şekil 4.16.'da verilmiştir.



Şekil 4.15. LA92 hız profili



Şekil 4.16. Tüm çevrimin hız profili

Tablo 4.2. Sürüş çevrimleri ve özellikleri

Özellik	Birim	NEDC	WLTP	UDDS	HWFET	NYCC	LA92
Mesafe	km	10,9314	23,27	11,99	16,45	1,9	17,70
Toplam zaman	sn	1180	1800	1369	765	598	1735
Rölanti süresi	sn	267	235	259	4	210	300
Ortalama hız	km/sa	33,35	46,5	31,51	48,3	11,5	36,74
Maksimum hız	km/sa	120	131,3	56,7	60	27,5	67,24

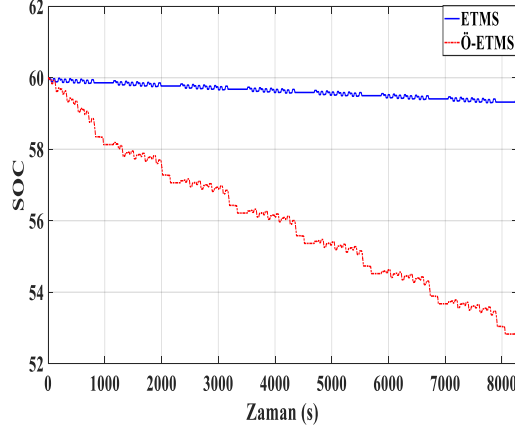
Oluşturulan modellerin doğruluğunun kontrol edilebilmesi açısından çevrimler tekrarlanmıştır. Sürüş çevrimleri tekrarlanma sayıları ile yeniden adlandırılmıştır. Örneğin, 10 kez tekrarlanan HWFET sürüş çevrimi, HWFET_10 olarak isimlendirilmiştir. Tablo 4.3.'te MC algoritması ile hesaplanan hata kareler toplamı değerleri verilmiştir.

Tablo 4.3. Öngörülen hızın hata kareler toplamı

Sürüş çevrimi	NEDC_7	WLTP_4	UDDS_6	HWFET_10	NYCC_1_2	LA92_5	ALL-CYC
Hata kareler toplamı (m/sn)	28,98	48,17	9,503	35,92	1,583	14,86	24,99

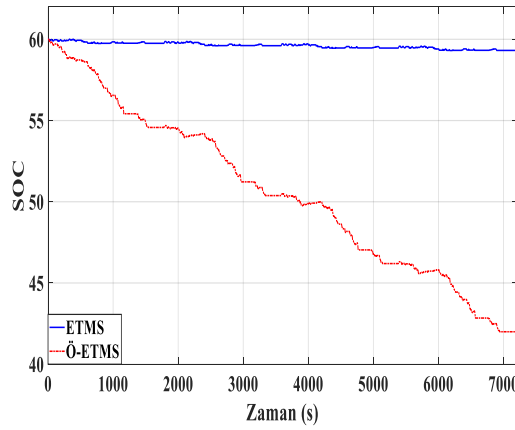
Monte algoritması, belirli bir zaman aralığında (3 saniye), öngörü yapmaktadır. Hız çevrimleri 3 sn zaman aralığında ve bozucu altında MC algoritması ile tahmin edilmektedir. Tahmin edilen bu hız aralığı, gelecekte HEV'in hızlanma ve yavaşlama durumuna daha hazırlıklı olmasını, diğer bir deyişle, Ö-ETMS 3 saniye aralığında çözülerek, minimum yakıt tüketimi sağlayacak şekilde güç kaynakları arasında tork dağılımı yapıp, daha az yakıt tüketimi sağlamaktadır. Sürüş çevrimlerinin direkt kullanıldığı, ETMS çözümü anlık olarak sadece bir sonraki zaman aralığında hesaplamaktadır. Bu durumda, gelecekte oluşacak hızlanma ve yavaşlama durumları tahmin edilmediğinden, daha fazla yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Oluşturulan ETMS ve Ö-ETMS modelini bu 5 sürüş çevriminde incelemek için, MATLAB/Simulink'te tüm kodlar birlikte paketlenmiştir. ETMS ve Ö-ETMS yöntemleri kullanılarak; hibrit elektrikli aracın, tüm sürüş çevrimlerindeki SOC, yakıt tüketimi ve içten yanmalı motor, elektrik motoru, jeneratörün tork değerleri incelenmiştir. Başlangıçta, araçların batarya şarj durumu %60 seviyesindedir. SOC^{min} %50 ve SOC^{max} %70 olarak alınmıştır ancak yakıt tüketimi tasarrufuna karşı, Ö-ETMS'de yumuşak sınır değişkeni olarak alınmıştır.

Oluşturulan model sonucunda NEDC_7 sürüş çevrimi için elde edilen SOC değeri Şekil 4.17.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. NEDC_7 SOC grafiği

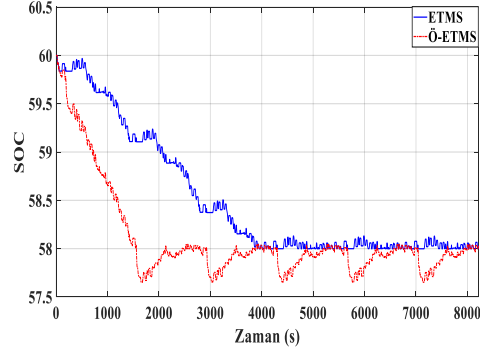
Şekil 4.17. incelendiğinde SOC'nin başlangıç değeri %60'tır. ETMS ile bu değer %59,37'ye, Ö-ETMS ile %52,88'e kadar düştüğü görülmektedir. Bu veriler doğrultusunda ETMS'nin EM'yi çok kullanmadığını bu nedenle de SOC değerinin başlangıç değeriyle arasındaki farkın az olduğu söylenebilmektedir. Fakat 3 saniyelik tahmin ufku boyunca öngörü yapan Ö-ETMS'nin İYM yerine EM'yi daha fazla kullanmıştır. Yakıt tüketimi, %6,01 oranında iyileştirilmiştir.



Şekil 4.18. WLTP_4 SOC grafiği

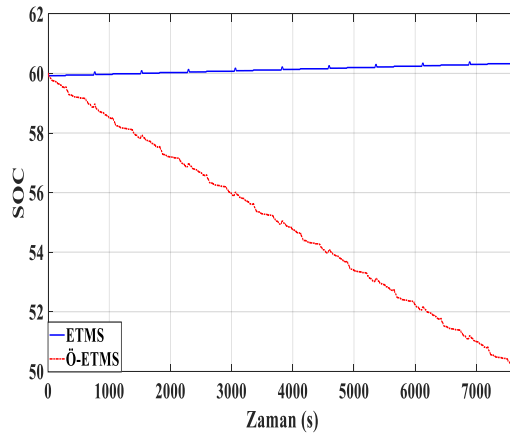
WLTP_4 sürüş çevrimi için, bataryanın şarjı başlangıç durumundan, ETMS yöntemi ile %59,57, Ö-ETMS yöntemi ile %41,88 seviyesinde azaldığı belirlenmiştir

(Şekil 4.18.). Ancak bu çevrimde yakıt tüketimi, Ö-ETMS ile %9,09 oranında iyileştirilmiştir.



Şekil 4.19. UDDS_6 SOC grafiği

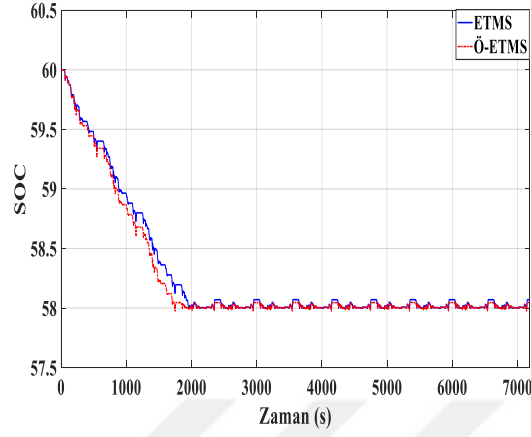
UDDC_6 sürüş çevrimi için, elektrikli hibrit aracın SOC değerleri Şekil 4.19.'da verilmektedir. Buna göre; SOC değerleri, bataryanın şarj durumunun, başlangıçtan, ETMS yöntemi ile %58,03 seviyesine, Ö-ETMS ile %58,03 seviyesine düştüğünü göstermektedir. Burada, Ö-ETMS ile yakıt tüketiminin %6,33 oranında iyileştirildiği görülmektedir.



Şekil 4.20. HWFET_10 SOC grafiği

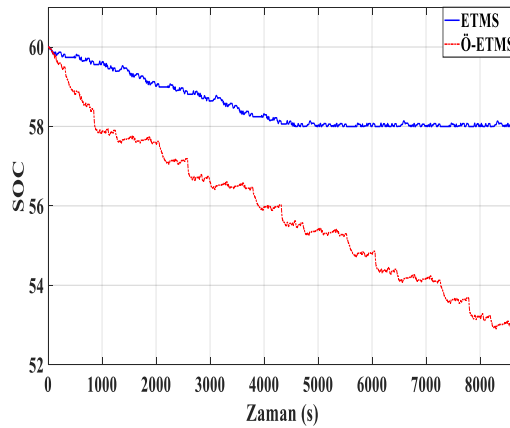
Şekil 4.20.'deki HWFET_10 sürüş çevrimi için verilen, SOC değerlerine göre bataryanın şarj durumu %60'tan, ETMS ile %60,43 seviyesine çıktığı, Ö-ETMS yöntemi ile %50,23'e düştüğü saptanmıştır. Bu çevrim, otoyol hızlarında, ancak 60 km/sa

geçmeyen bir hız profiline sahip olduğundan dolayı, yakıt ekonomisi, Ö-ETMS tarafından %5,14 olarak iyileştirilmiştir.



Şekil 4.21. NYCC_12 SOC grafiği

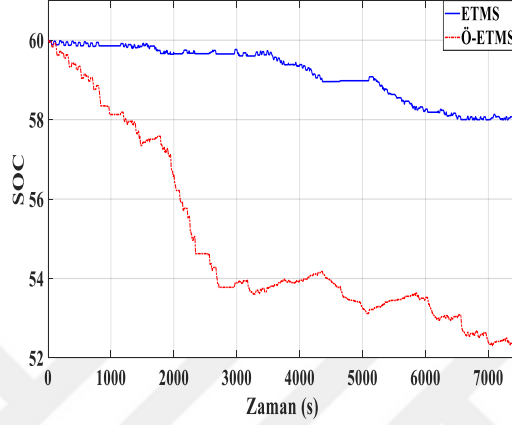
Aynı şekilde, şehir içi trafiği profiline sahip, NYCC_12 sürüş çevrimi için elektrikli hibrit aracın SOC değerleri Şekil 4.21.'de verilmektedir. NYCC_12 sürüş çevrimi için aracın SOC değerleri incelendiğinde; bataryanın şarj durumu, ETMS ile %58,07 seviyesine, Ö-ETMS modeli için %58,05'e düştüğü belirlenmiştir. Bu çevrim için önemli bir tespit olarak; düşük hızlarda EM'nin her iki enerji yönetimi metodu tarafından aktif olarak kullanıldığı ve buna bağlı olarak, yakıt tüketiminin %1,96 oranında azaldığı söylenebilir.



Şekil 4.22. LA92_5 SOC grafiği

Şekil 4.22.'de, LA92_5 sürüş çevrimi için, batarya şarj durumunun %60'tan,

ETMS kullanarak %58,06 seviyesine, Ö-ETMS ile %52,99'a düştüğü gösterilmiştir. Bu çevrimde yakıt tüketimi, Ö-ETMS ile %11,47 oranında azaltılmıştır. Bunun başlıca sebebi, artan ve azalan hız profillerini iyi tahmin edebilme özelliği ve bu sayede Ö-ETMS'nin İYM'yi fazla kullanmaması; EM'nin hızlanma ve yavaşlamada aktif olarak kullanılmasıdır.



Şekil 4.23. ALL-CYC SOC grafiği

Son olarak, tüm çevrimlerin kullanıldığı, ALL-CYC sürüş çevrimi için, SOC değerleri incelendiğinde (Şekil 4.23.); bataryanın şarj durumu %60'tan, ETMS ile %58,06 seviyesine, Ö-ETMS ile %52,39 seviyesine düştüğü saptanmıştır. Yakıt ekonomisi, %7,92 oranında iyileştirilmiştir. ETMS ve Ö-ETMS metotları kullanılarak 7 sürüş çevriminde elektrikli hibrit aracın için elde edilen çevrim sonu şarj durumları ve yüzdelik değişimleri Tablo 4.4.'te verilmektedir. Görüldüğü gibi, SOC seviyelerinde büyük değişimler bulunmamaktadır. Sürüş çevrimlerinin uzunluğu göz önüne alındığında; Ö-ETMS yönteminin SOC seviyesindeki değişime karşın yakıt tüketiminde azalma sağlması önemli bir buluş ortaya koymaktadır.

Tablo 4.4. Hibrit elektrikli aracın çevrim sonu SOC değerleri

Sürüş çevrimi	SOC			
	ETMS	Yüzdellik değişim (%)	Ö-ETMS	Yüzdellik değişim (%)
NEDC_7	59,37	1,05	52,88	11,86
WLTP_4	59,43	0,95	42,12	29,8
UDDS_6	58,03	3,28	58,03	3,28
HWFET_10	60,43	-0,71	50,23	16,28
NYCC_12	58,07	3,21	58,05	3,25
LA92_5	58,06	3,23	52,99	11,68
ALL-CYC	58,06	3,23	52,39	12,68

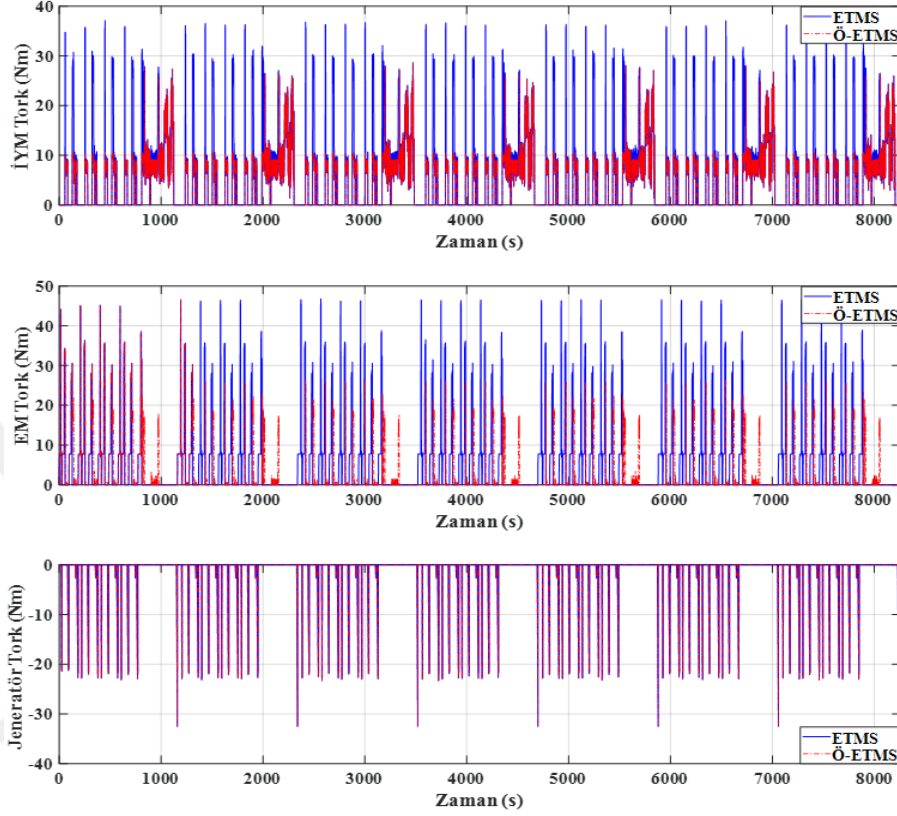
Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, NEDC_7, WLTP_4, UDDS_10, HWFET_6, NYCC_12, LA92_5, ALL-CYC sürüş çevrimleri için yakıt tüketimi değerleri Tablo 4.5.'te verilmiştir. Yakıt tüketimleri hesaplanırken benzinin özgül ağırlığı 0,7 g/cm³ alınmıştır.

Tablo 4.5. Hibrit elektrikli aracın yakıt tüketimi

Sürüş çevrimi	Toplam alınan mesafe (km)	Harcanan yakıt (L)		100 km de harcanan yakıt miktarı (L/100km)		Fark (%)
		ETMS	Ö-ETMS	ETMS	Ö-ETMS	
NEDC_7	76,52	2,83	2,66	3,69	3,47	6,01
WLTP_4	93,05	3,63	3,30	3,90	3,54	9,09
UDDS_6	44,4	1,42	1,33	3,19	2,99	6,33
HWFET_6	102,6	3,11	2,95	3,03	2,87	5,14
NYCC_12	14,160	0,51	0,50	3,60	3,53	1,96
LA92_5	88,5	1,83	1,62	3,34	2,96	11,47
ALL-CYC	63.756	2,27	2,09	0,003	0,003	7,92

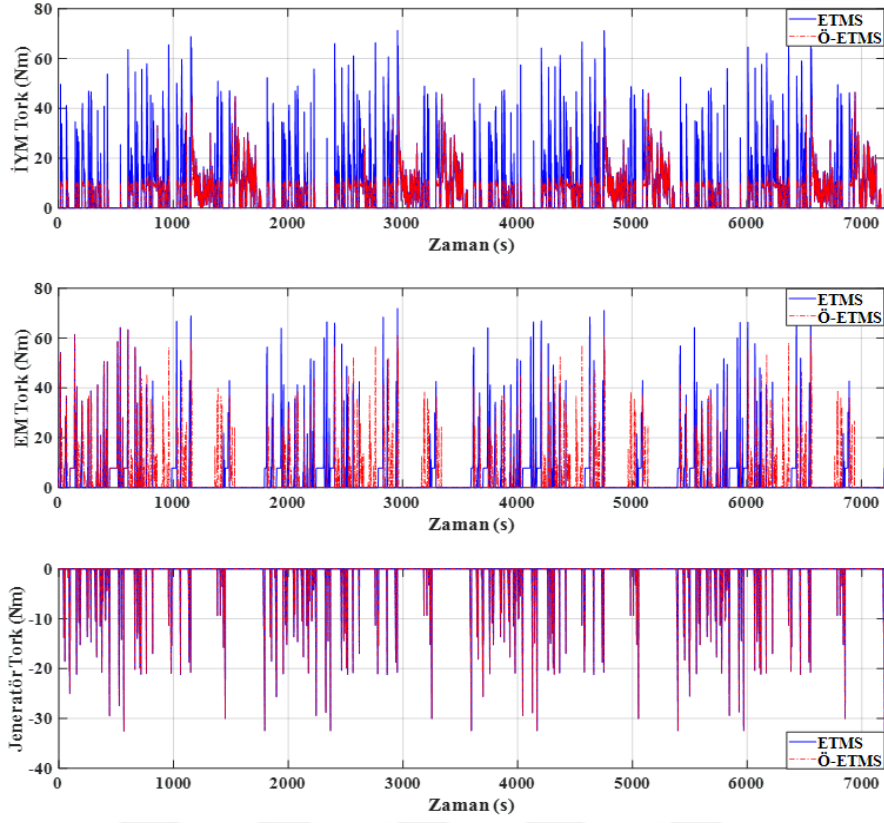
Oluşturulan modelde, ETMS ve Ö-ETMS yöntemlerinin her ikisi de kullanarak

tüm sürüş çevrimleri için tork dağılım analizi yapılmıştır. ETMS'nin amacının korunduğunu kontrol edebilmek için İYM ve EM torkları analiz edilmiş ve SOC içinse JEN torku incelenmiştir.



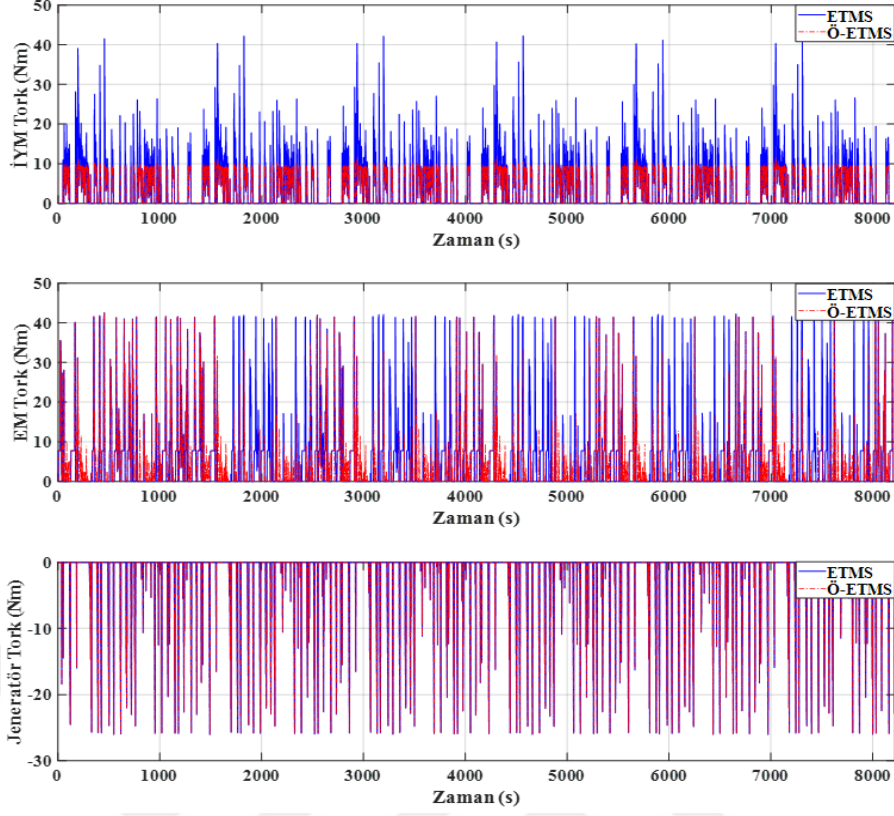
Şekil 4.24. NEDC_7 tork değerleri

NEDC_7 sürüş çevrimi ile ETMS ve Ö-ETMS yöntemlerini kullanarak elde edilen tork değerleri Şekil 4.24.'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde, ETMS'nin İYM'yi, Ö-ETMS'nin ise EM tarafından daha aktif kullanıldığı söylenebilmektedir. Bu veriler doğrultusunda ETMS'de SOC değerinde büyük değişiklikler oluşmayacağı, Ö-ETMS'de ise ETMS'ye kıyasla yakıt tasarrufunda bulunacağı söylenebilmektedir. JEN tork değerlerinde ise iki yöntemde de benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür.



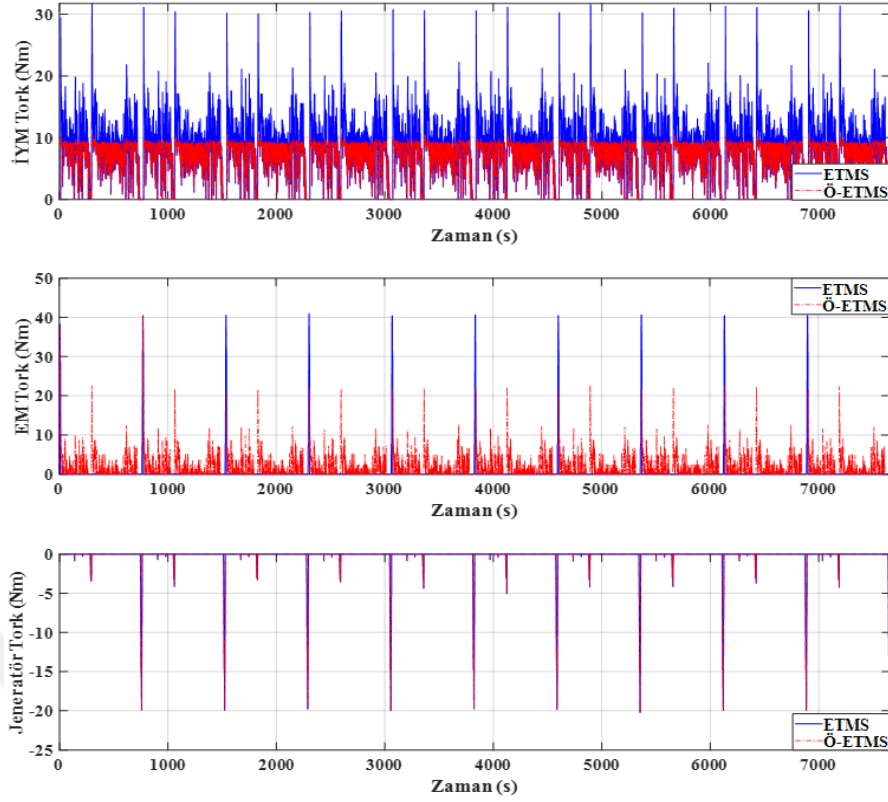
Şekil 4.25. WLTP_4 tork değerleri

Şekil 4.25'te WLTP_4'ün tork değerleri verilmiştir. İYM'nin, ETMS ile, güç gereksinimini karşılamak için yüksek tork değerlerine çıktığı açıkça görülmektedir. ETMS'de İYM kullanıldığında torkun yüksek değerlere çıktığı ve bu nedenle de yakıt tüketiminde artış gerçekleştiği söylenebilmektedir. EM'nin de Ö-ETMS tarafında aktif kullanıldığını bununda SOC değerini olumsuz etkileyeceğini söylenebilmektedir. Jeneratör torkunda ise hem ETMS hem de Ö-ETMS'de benzer sonuçlar elde edilmiştir.



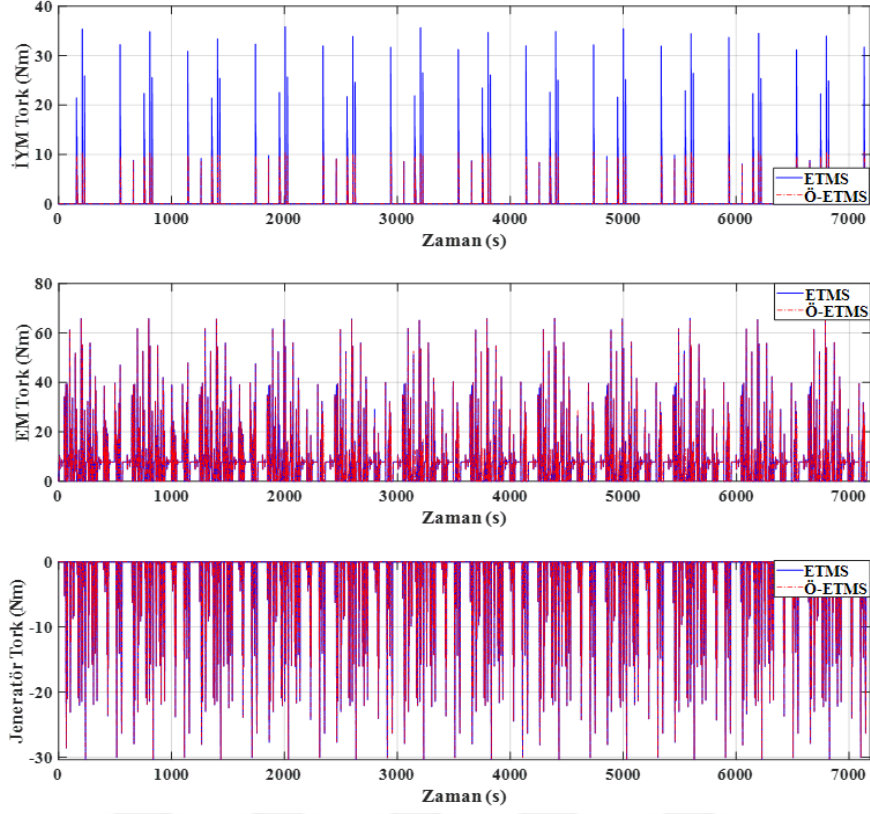
Şekil 4.26. UDDS_6 tork değerleri

Şekil 4.26’da UDDS_6 sürüş çevriminde elde edilen tork değerleri verilmiştir. İYM ETMS tarafında aktif şekilde kullanılmış bu da yakıt tüketimini Ö-ETMS’ye kıyasla olumsuz etkilemiştir. EM ise hem ETMS hem de Ö-ETMS tarafından aktif olarak kullanılmış, enerji ihtiyacını verimli bir şekilde bataryadan almıştır. Jeneratör torkunda ise iki yöntem için benzer sonuçlar elde edilmiştir.



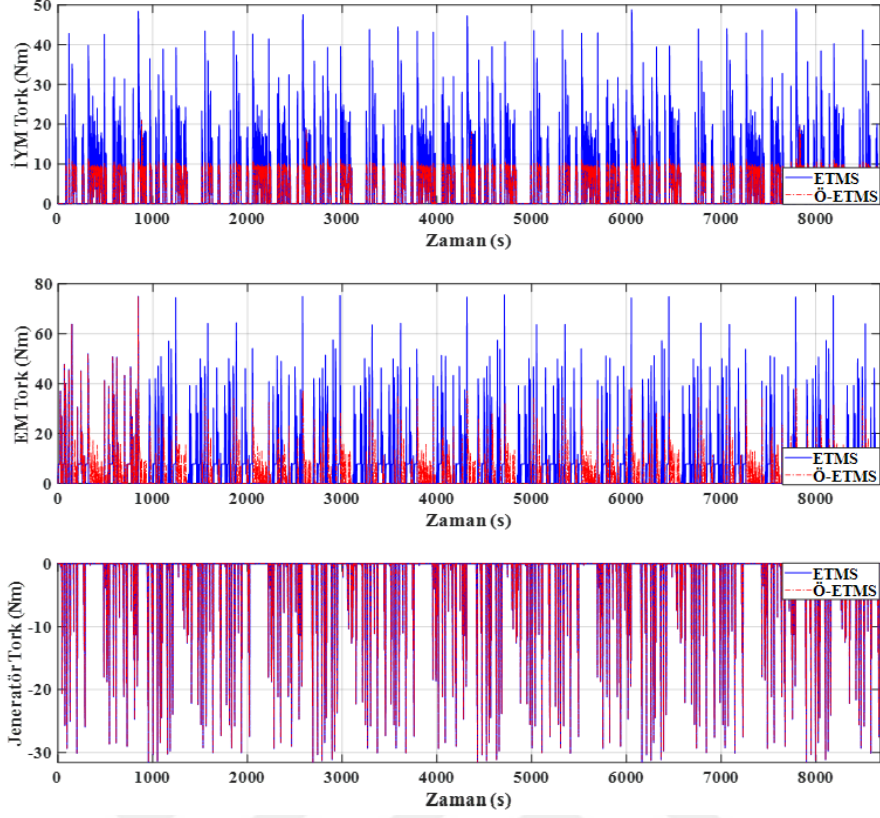
Şekil 4.27. HWFET_10 tork değerleri

HWFET_10 sürüş çevriminin tork değerleri için Şekil 4.27.'de verilmiştir. Her iki yöntemde de tork değerleri yüksek değerleri görmemiş ve bununla birlikte jeneratör tork değerinde benzer, seyrek ve düşük değerler elde edilmiştir. İYM, Ö-ETMS'ye kıyasla ETMS tarafından aktif olarak kullanılmıştır. Bu nedenle de ETMS yönteminde yakıt tüketiminin daha fazla olduğu söylenebilmektedir. EM ise ETMS yöntemi tarafından seyrek aralıklarda kullanılmış, Ö-ETMS yönteminde ise yüksek tork değerlerini görmeden EM aktif şekilde kullanılmıştır.



Şekil 4.28. NYCC_12 tork değerleri

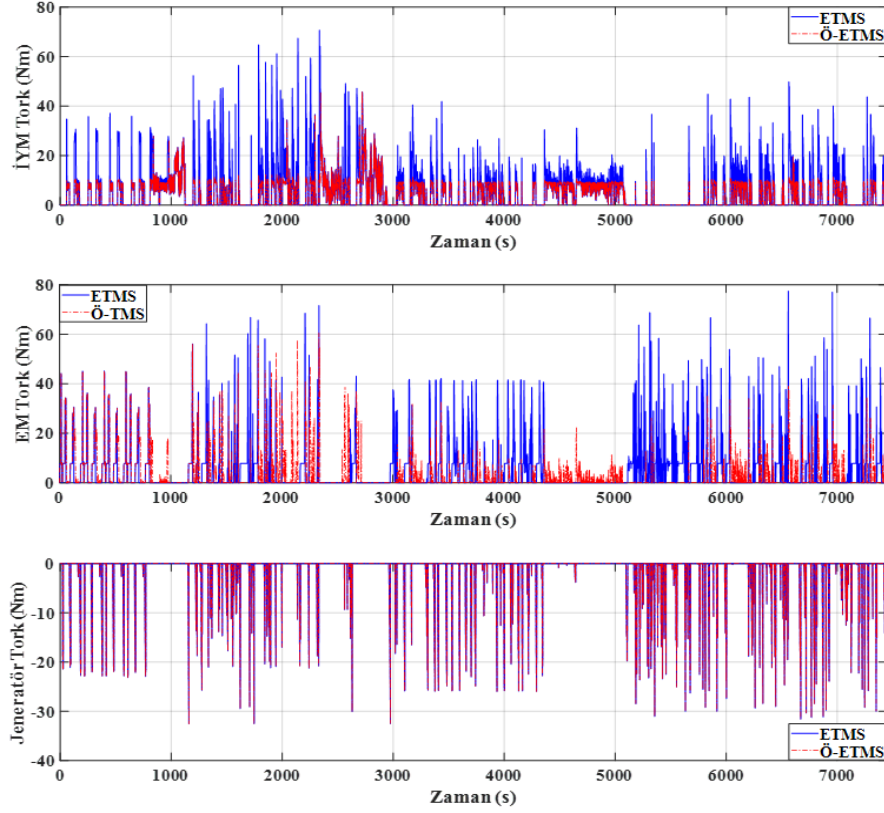
NYCC_12 sürüş çevriminin tork değerleri Şekil 4.28.'de gösterilmektedir. İYM'nin iki yöntemde de pasif olarak kullanıldığı bu nedenle de yakıt tüketiminin az olduğu söylenebilmektedir. EM'nin, Ö-ETMS tarafından aktif olarak kullanıldığı, güç gereksinimini karşılamak içinse yüksek tork değerlerine çıktığı görülmektedir. Bu da SOC değerinin olumsuz etkileyen bir durumdur. Jeneratör torkunda iki yöntemde benzer sonuçlar alınmıştır.



Şekil 4.29. LA92_5 tork değerleri

Şekil 4.29.'da önerilen modelle, LA92_5 sürüş çevrimi için elde edilen tork değerleri verilmiştir. İYM tork değerleri incelendiğinde ETMS tarafından aktif olarak kullanıldığı, Ö-ETMS'ye kıyasla yüksek değerler aldığı bu nedenle de yakıt tüketimini artırdığı söylenebilmektedir. EM ise hem Ö-ETMS hem ETMS tarafından İYM'ye kıyasla aktif kullanılmış, tork değerlerinde yüksek değer almıştır. Jeneratör torkunda ise jeneratörün aktif olarak kullanıldığı ve iki yöntemde de benzer sonuçlar alındığı söylenebilmektedir.

Bununla birlikte, önerilen stratejinin çalışması, farklı çevrimlerin kombinasyonu olan tüm çevrimler için de incelenmiştir. İYM, EM ve jeneratörün tork dağılımları, önceki döngülerde elde edilen sonuçları ispat edecek nitelikte Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Tüm çevrimlerin tork değerleri

Tüm çevrimler incelendiğinde İYM'nin EM'ye kıyasla daha fazla çalıştığı EYS'lerde yakıt tüketiminin daha fazla olduğunu bunu nedenle de SOC değerinin korunduğu söylenebilmektedir. EM daha fazla çalıştığında ise gerekli olan enerji bataryadan alınmaktadır bu nedenle de SOC düşmektedir. SOC'nin başlangıç değeriyle güncel değeri arasında %10 fark olması kabul edilebilir bir farktır.

Jeneratör torkunun değerleri incelendiğinde iki yöntem arasında da çok fazla fark olmadığı görülmekle birlikte yavaşlama zaman aralıklarında iki stratejinin de SOC'yi koruduğu ve EM'yi beslediği söylenebilmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tezde, HEV'lerin yakıt ekonomisini artırmak ve sürüş performansını iyileştirmek için, öngörülü eşdeğer tüketim minimizasyonu (Ö-ETMS) stratejisi önerilmektedir. Bu strateji, güç paylaşımli bir HEV için, Monte Carlo algoritmasına dayalı olarak belirsizlikler altında tahmin edilen sürüş çevrimi hız tahminlerini kullanarak, Ö-ETMS yakıt ekonomisi ve batarya şarj durumunun korunması gibi zıt hedeflere ulaşabilmek amacı ile geliştirilmiştir. Monte Carlo tabanlı Ö-ETMS metodu ile, New European Driving Cycle (NEDC), Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure (WLTP), Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS), Highway Fuel Economy Test (HWFET), New York City Cycle (NYCC), California Unified Cycle (LA-92) ve tüm döngülerin kombinasyonu (ALL-CYC) çevrimleri için, toplam yedi tekrarlı sürüş döngüsü altında; yakıt ekonomisi, batarya şarj durumu, içten yanmalı motor torku, elektrik motoru torku ve jeneratör torkuları, bir dizi simülasyon çalışması yapılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Monte Carlo tabanlı Ö-ETMS stratejisi, standart ETMS ile karşılaştırıldığında; NEDC çevriminde %6,01, WLTP çevriminde %9,09, UDDS çevriminde %6,33, HWFET çevriminde %5,14, NYCC çevriminde %1,96, LA-92 çevriminde %11,47 ve ALL-CYC çevriminde %7,92 oranla yakıt tasarrufu elde edilmiştir.

Gelecekte tahmin algoritmasına dayalı otonom ve elektrikli araçların enerji tasarrufu için kullanılan bir optimizasyon algoritması tasarlanabilir. Çevresel sensör bilgilerinin kullanılması, trafik ışıkları veya öndeki araçların mesafesi hakkında tahmin performansını artırmak için gerçek sürüş koşullarına uygun algoritma kurulabilir ve bu sayede daha güvenli ve az enerji harcayan kontrol algoritmaları geliştirilebilecektir.

KAYNAKÇA

- Anbaran, S. A., Idris, N. R. N., Jannati, M., Aziz, M. J. and Alsofyani, I., (2014). Rule based supervisory control of split-parallel hybrid electric vehicle. In 2014 IEEE conference on energy conversion, 7-12.
- Arif, S. M., Lie, T. T., Seet, B. C., Ayyadi, S. and Jensen, K., (2021). Review of electric vehicle technologies, charging methods, standards and optimization techniques. *Electronics*, 10(16):1910.
- Baraniak, J. and Starzyński, J., (2020). Modeling the impact of electric vehicle charging systems on electric power quality. *Energies*, 13(15):3951.
- Bender, F. A., Uzuner, H. and Sawodny, O., (2014). An adaptive driver model for driving cycle prediction in the intelligent truck. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3):10682-10687.
- Berg, J., Reckordt, T., Richter, C. and Reinhart, G., (2018). Action recognition in assembly for human-robot-cooperation using hidden Markov models. *Procedia CIRP*, 76:205-210.
- Bichi, M., Ripaccioli, G., Di Cairano, S., Bernardini, D., Bemporad, A. and Kolmanovsky, I. V., (2010). Stochastic model predictive control with driver behavior learning for improved powertrain control. In 49th IEEE conference on decision and control (CDC), 6077-6082.
- Boyd, S., Boyd, S.P. and Vandenberghe, L., (2004). *Convex Optimization*; Cambridge university press: Cambridge, UK.
- Chen, H., Kessels, J.T. and Weiland, S., (2015). Online adaptive approach for a game-theoretic strategy for complete vehicle energy management. In *Proceedings of the 2015 European Control Conference (ECC)*, Austria, 135–141.
- Chen, H., Kessels, J. T. B. A., Donkers, M. C. F. and Weiland, S., (2014). Game theoretic approach for complete vehicle energy management. In *2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1-6.
- Chen, M. H., and Shao, Q. M., (1999). Monte Carlo estimation of Bayesian credible and HPD intervals. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 8(1):69-92.
- Chen, Z., Liu, Y., Zhang, Y., Lei, Z., Chen, Z. and Li, G., (2021). A neural network based ECMS for optimized energy management of plug-in hybrid electric vehicles. *Energy*, 122727.
- Chrenko, D., Gan, S., Gutenkunst, C., Kriesten, R. and Le Moyne, L., (2015). Novel

- Classification of Control Strategies for Hybrid Electric Vehicles. 2015 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 1-6.
- Dextreit, C., Assadian, F., Kolmanovsky, I. V., Mahtani, J. and Burnham, K., (2008). Hybrid electric vehicle energy management using game theory. SAE Technical Paper, p. 15
- Dextreit, C. and Kolmanovsky, I. V., (2013). Game theory controller for hybrid electric vehicles. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 22(2):652-663.
- Di Cairano, S., Bernardini, D., Bemporad, A. and Kolmanovsky, I. V., (2013). Stochastic MPC with learning for driver-predictive vehicle control and its application to HEV energy management. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 22(3):1018-1031.
- Filev, D. P. and Kolmanovsky, I., (2010). A generalized Markov chain modeling approach for on board applications. In The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), p. 1-8.
- Filote, C., Felseghi, R. A., Raboaca, M. S. and Aşchilean, I., (2020). Environmental impact assessment of green energy systems for power supply of electric vehicle charging station. International Journal of Energy Research, 44(13):10471-10494.
- Gill, J., (2014). Bayesian methods: A social and behavioral sciences approach. CRC press, vol. 20.
- Goel, S., Sharma, R. and Rathore, A. K., (2021). A review on barrier and challenges of electric vehicle in India and vehicle to grid optimisation. Transportation engineering, 4:100057.
- Gomozov, O., Trovao, J. P. F., Kestelyn, X. and Dubois, M. R., (2016). Adaptive energy management system based on a real-time model predictive control with nonuniform sampling time for multiple energy storage electric vehicle. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 66(7):5520-5530.
- Gönül, Ö., Duman, A. C. and Güler, Ö., (2021). Electric vehicles and charging infrastructure in Turkey: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 143:110913.
- Hasan, M. K., Mahmud, M., Habib, A. A., Motakabber, S. M. A. and Islam, S., (2021). Review of electric vehicle energy storage and management system: Standards, issues, and challenges. Journal of energy storage, 41:102940.
- He, H., Guo, J. and Sun, C., (2017). Road grade prediction for predictive energy management in hybrid electric vehicles. Energy Procedia, 105:2438-2444.

- Hemanth, G. and Suresha, B., (2021). Hybrid and electric vehicle tribology: a review. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 9(4):043001.
- Hu, X., Li, S. and Peng, H., (2012). A comparative study of equivalent circuit models for Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 198:359-367.
- IEA. Projected Costs of Generating Electricity 2020. <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020> adresinden erişildi.
- Kermani, S., Delprat, S., Guerra, T. M., Trigui, R. and Jeanneret, B., (2012). Predictive energy management for hybrid vehicle. *Control engineering practice*, 20(4):408420.
- Kim, Y., Lee, T. K. and Filipi, Z., (2012). Frequency domain power distribution strategy for series hybrid electric vehicles. *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 1(1):208-218.
- Kleimaier, A. and Schroder, D., (2002). An approach for the online optimized control of a hybrid powertrain. In *Proceedings of the 7th International Workshop on Advanced Motion Control*. Proceedings, Maribor, Slovenia, 215–220.
- Larsson, V., Mårdh, L. J., Egardt, B. and Karlsson, S., (2014). Commuter route optimized energy management of hybrid electric vehicles. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 15(3):1145-1154.
- Lévy, P. Z., Drossinos, Y. and Thiel, C., (2017). The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership. *Energy Policy*, 105:524-533.
- Li, L., You, S., Yang, C., Yan, B., Song, J. and Chen, Z., (2016). Driving-behavior-aware stochastic model predictive control for plug-in hybrid electric buses. *Applied Energy*, 162:868-879.
- Liu, J., Chen, Y., Zhan, J. and Shang, F., (2019). Heuristic dynamic programming based online energy management strategy for plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 68:4479–4493.
- Luo, C., Shen, Z., Evangelou, S., Xiong, G., Wang, X., Lv, Y. and Wang, F. Y., (2018). A control strategy combined thermostat control with DC-link voltage control for series hybrid electric vehicles. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, p. 294-299.
- Martinez, C. M., Hu, X., Cao, D., Velenis, E., Gao, B. and Wellers, M., (2016). Energy management in plug-in hybrid electric vehicles: Recent progress and a connected

- vehicles perspective. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 66(6):45344549.
- Mitsubishi Motors. Mitsubishi Outlander PHEV 2018. 2019. <https://www.mitsubishicars.com/outlander-phev/2018/specifications> adresinden erişildi.
- Moghbeli, H., Niasar, A. H. and Fallahi, N., (2014). Fuzzy energy control strategy of through-to-road hybrid electric vehicle. In 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), p. 1660-1665.
- Moser, D., Waschl, H., Schmied, R., Efendic, H. and del Re, L., (2015). Short term prediction of a vehicle's velocity trajectory using ITS. SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems, 8(2015-01-0295):364-370.
- Moura SJ., Chaturvedi NA. and Krstic' M., (2014). Adaptive partial differential equation observer for battery state-of-charge/state-of-health estimation via an electrochemical model. J Dyn Syst Meas Contr,136(1):011015.
- Mustafa, R., Schulze, M., Eilts, P. and Küçükay, F., (2014). Intelligent Energy Management Strategy for a Parallel Hybrid Vehicle. SAE Technical Paper.
- Naumann, S., Büchter, H., Janecki, R., Karon, G. and Sierpinski, G., (2014). Models and Methods for the Evaluation and the Optimal Application of Battery Charging and Switching Technologies for Electric Busses.
- Nguyen, B. H., German, R., Trovão, J. P. F. and Bouscayrol, A., (2018). Real-time energy management of battery/supercapacitor electric vehicles based on an adaptation of Pontryagin's minimum principle. IEEE transactions on Vehicular Technology, 68(1):203-212.
- Nüesch, T., Elbert, P., Flankl, M., Onder, C. and Guzzella, L., (2014). Convex optimization for the energy management of hybrid electric vehicles considering engine start and gearshift costs. Energies, 7(2):834-856.
- Omanovic, A., Zsiga, N., Soltic, P. and Onder, C., (2021). Optimal Degree of Hybridization for Spark-Ignited Engines with Optional Variable Valve Timings. Energies, 14(23): 8151.
- Onori, S. and Serrao, L., (2011). On adaptive-ecms strategies for hybrid electric vehicles. In Proceedings of the International Scientific Conference on Hybrid and Electric Vehicles, Malmaison, France,1-7.
- Onori, S.; Serrao, L. and Rizzoni, G., (2016). Hybrid Electric Vehicles: Energy Management Strategies; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.

- Orszag, S. A., (1972). Comparison of pseudospectral and spectral approximation. *Studies in Applied Mathematics*, 51(3):253-259.
- Paganelli, (1999) G., Design and control of a parallel hybrid car with electric and thermal powertrain. M. Sc.
- Pietrzak, O. and Pietrzak, K., (2021). The economic effects of electromobility in sustainable urban public transport. *Energies*, 14(4):878.
- Plötz, P., Moll, C., Bieker, G. and Mock, P., (2021). From lab-to-road: Real-world fuel consumption and CO₂ emissions of plug-in hybrid electric vehicles. *Environmental Research Letters*, 16(5):054078.
- Poursamad, A. and Montazeri, M., (2008). Design of genetic-fuzzy control strategy for parallel hybrid electric vehicles. *Control engineering practice*, 16(7):861-873.
- Puma-Benavides, D. S., Izquierdo-Reyes, J., Calderon-Najera, J. D. D. and Ramirez Mendoza, R. A., (2021). A systematic review of technologies, control methods, and optimization for extended-range electric vehicles. *Applied Sciences*, 11(15):7095.
- Riaz, M., Hanif, A., Masood, H., Khan, M. A., Afaq, K., Kang, B. G. and Nam, Y., (2021). An Optimal Power Flow Solution of a System Integrated with Renewable Sources Using a Hybrid Optimizer. *Sustainability*, 13(23):13382.
- Ripaccioli, G., Bernardini, D., Di Cairano, S., Bemporad, A. and Kolmanovsky, I. V., (2010). A stochastic model predictive control approach for series hybrid electric vehicle power management. In *Proceedings of the 2010 American control conference*, 5844-5849.
- Salmasi, F.R., (2007). Control strategies for hybrid electric vehicles: Evolution, classification, comparison, and future trends. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 56:2393–2404.
- Sam, C. A. and Jegathesan, V., (2021). Bidirectional integrated on-board chargers for electric vehicles—a review. *Sādhanā*, 46(1):1-14.
- Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J. and Marquez-Barja, J. M., (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1):372-404.
- Sezer, V., Gokasan, M. and Bogosyan, S. (2011). A novel ECMS and combined cost map approach for high-efficiency series hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(8):3557-3570.
- Shaohua, L., Changqing, D., Fuwu, Y., Jun, W., Zheng, L. and Yuan, L., (2012). A rule

- based energy management strategy for a new BSG hybrid electric vehicle. In 2012 Third Global Congress on Intelligent Systems, 209-212.
- Shi, S., Lin, N., Zhang, Y., Cheng, J., Huang, C., Liu, L. and Lu, B., (2016). Research on Markov property analysis of driving cycles and its application. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47:171-181.
- Sifakis, N., Savvakis, N., Daras, T. and Tsoutsos, T., (2019). Analysis of the energy consumption behavior of European RES cooperative members. *Energies*, 12(6):970.
- Sun, C., Moura, S. J., Hu, X., Hedrick, J. K. and Sun, F., (2014). Dynamic traffic feedback data enabled energy management in plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 23(3):1075-1086.
- Škugor, B., Deur, J., Cipek, M. and Pavković, D., (2014). Design of a power-split hybrid electric vehicle control system utilizing a rule-based controller and an equivalent consumption minimization strategy. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 228(6):631-648.
- Taghavipour, A., Azad, N. L. and McPhee, J., (2012). An optimal power management strategy for power split plug-in hybrid electric vehicles.
- Tucki, K., Orynycz, O., Świć, A. and Mitoraj-Wojtanek, M., (2019). The development of electromobility in Poland and EU states as a tool for management of CO₂ emissions. *Energies*, 12(15):2942.
- Tucki, K., Orynycz, O., Wasiak, A., Świć, A. and Dybaś, W., (2019). Capacity market implementation in Poland: Analysis of a survey on consequences for the electricity market and for energy management. *Energies*, 12(5):839.
- Wang, Q., You, S., Li, L. and Yang, C., (2017). Survey on energy management strategy for plug-in hybrid electric vehicles. *J. Mech. Eng*, 53:1-19.
- Wei, Z., Xu, J. and Halim, D., (2017). HEV power management control strategy for urban driving. *Applied Energy*, 194:705-714.
- Wewer, A., Bilge, P. and Dietrich, F., (2021). Advances of 2nd life applications for lithiumion batteries from electric vehicles based on energy demand. *Sustainability*, 13(10): 5726.
- Wirasingha, S. G. and Emadi, A., (2010). Classification and review of control strategies for plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 60(1):111-122.
- Xie, P., Tan, S., Guerrero, J. M. and Vasquez, J. C., (2021). MPC-informed ECMS based

- real-time power management strategy for hybrid electric ship. *Energy Reports*, 7:126-133.
- Xie, S., He, H. and Peng, J., (2017). An energy management strategy based on stochastic model predictive control for plug-in hybrid electric buses. *Applied energy*, 196:279-288.
- Xue, Q., Zhang, X., Teng, T., Zhang, J., Feng, Z. and Lv, Q., (2020). A comprehensive review on classification, energy management strategy, and control algorithm for hybrid electric vehicles. *Energies*, 13(20):5355.
- Yang, Y., Hu, X., Pei, H. and Peng, Z., (2016). Comparison of power-split and parallel hybrid powertrain architectures with a single electric machine: Dynamic programming approach. *Appl. Energy*, 168:683–690.
- Ye, F., Hao, P., Qi, X. and Wu, G., Boriboonsomsin, K., & Barth, M. J., (2018). Prediction-based eco approach and departure at signalized intersections with speed forecasting on preceding vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(4):1378-1389.
- Zeng, X. and Wang, J., (2015). A parallel hybrid electric vehicle energy management strategy using stochastic model predictive control with road grade preview. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 23(6):2416-2423.
- Zeng, Y., Cai, Y., Kou, G., Gao, W. and Qin, D., (2018). Energy management for plug in hybrid electric vehicle based on adaptive simplified-ecms. *Sustainability*, 10(6):2060.
- Zhang, F., Hu, X., Langari, R. and Cao, D., (2019). Energy management strategies of connected HEVs and PHEVs: Recent progress and outlook. *Progress in Energy and Combustion Science*, 73:235-256.
- Zhang, F., Wang, L., Coskun, S., Pang, H., Cui, Y. and Xi, J., (2020). Energy Management Strategies for Hybrid Electric Vehicles: Review, Classification, Comparison, and Outlook. *Energies*, 13, 3352. Zhang, J.; Shen, T. Real-Time Fuel Economy Optimization with Nonlinear MPC for PHEVs. *IEEE Trans. Control. Syst. Technol.* 2016, 24:2167–2175.
- Zhang, S. and Xiong, R., (2015). Adaptive energy management of a plug-in hybrid electric vehicle based on driving pattern recognition and dynamic programming. *Applied Energy*, 155:68-78.
- Zhang, P., Yan, F. and Du, C., (2015). A comprehensive analysis of energy management strategies for hybrid electric vehicles based on bibliometrics. *Renewable and*

Sustainable Energy Reviews, 48:88-104.

Zhao, Z., Tang, P. and Li, H., (2021). Generation, Screening, and Optimization of Powertrain Configurations for Power-split Hybrid Electric Vehicle: A Comprehensive Overview, IEEE Transactions on Transportation Electrification.

Zhang, P., Yan, F. and Du, C., (2015). A comprehensive analysis of energy management strategies for hybrid electric vehicles based on bibliometrics. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 48:88-104.

Zhou, D., Al-Durra, A., Gao, F., Ravey, A., Matraji, I. and Simoes, M. G., (2017). Online energy management strategy of fuel cell hybrid electric vehicles based on data fusion approach. Journal of power sources, 366:278-291.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Merve Nur GÜL

Doğum Tarihi :

E-mail :

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2016-2020
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Tarsus Üniversitesi	2021-

Aldığı Burslar: 121E260 numaralı TÜBİTAK proje bursu