

Ahmet BEŞKARDEŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2023



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DOKTORA
TEZİ**

**HİBRİT ELEKTRİKLI
ARAÇLAR İÇİN SÜRÜŞ
KARAKTERİSTİĞİ TABANLI
YENİ BİR KONTROL SİSTEMİ
TASARIMI**

Ahmet BEŞKARDEŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2023





**HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN SÜRÜŞ KARAKTERİSTİĞİ
TABANLI YENİ BİR KONTROL SİSTEMİ TASARIMI**

Ahmet BEŞKARDEŞ

DOKTORA TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2023

Ahmet BEŞKARDEŞ tarafından hazırlanan HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN SÜRÜŞ KARAKTERİSTİĞİ TABANLI YENİ BİR KONTROL SİSTEMİ TASARIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Yakup HAMEŞ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Mehmet Hakan HOCAOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Ticaret Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Doçent Dr. Erdem ASLAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Erciyes Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Merve ERKINAY ÖZDEMİR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 25 /07/2023

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

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

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

Ahmet BEŞKARDEŞ

25 / 07 / 2023

HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN SÜRÜŞ KARAKTERİSTİĞİ TABANLI YENİ
BİR KONTROL SİSTEMİ TASARIMI
(Doktora Tezi)

Ahmet BEŞKARDEŞ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2023

ÖZET

İçten yanmalı motorlu araçlar ile tam elektrikli araçlar arasında ara bir aşama durumunda olan çift güçlü hibrit elektrikli araçlarda yakıt tüketimini ve zararlı emisyonları azaltmak için doğru ve etkili tasarlanmış bir enerji yönetim sisteminin çok önemli rolü vardır. Hibrit elektrikli araçlarda enerji yönetimini en uygun şekilde sağlayacak çeşitli kontrol sistemleri üzerine yapılan birçok çalışma vardır. Son zamanlarda kontrol sistemleri konusunda ana odaklardan biri de bu sistemlerin optimizasyonudur. En uygun enerji kullanımını sağlamak için ortaya konan yenilikçi fikirlerden biri de farklı yol, araç ve sürücü tiplerine göre kontrol sistemini optimize etmektir. Böyle bir yenilikçi fikir ışığında, bu tez kapsamında gerçekçi belirsizlikleri göz önünde bulundurarak stokastik bir enerji yönetim sistemi oluşturmak için veriye dayalı bir yöntem geliştirilmiştir. Yol tipine ve sürüş tarzına bağlı olarak bir hibrit elektrikli aracın uygun bir enerji yönetimi stratejisi ile daha verimli kullanılabileceği gösterilmiştir. Dokuz farklı sürücü ile 38 bin km gerçek sürüş verisi toplanmış ve analiz edilmiştir. Bu verilerden gerekli öznitelikler belirlenmiş ve değerleri hesaplanmış, bu değerler kapsamlı bir veri ön işleme aşamasından geçirilmiştir. Ardından veri madenciliği yöntemleri kullanılarak her bir sürüşe ait sürüş stili belirlenmiştir. Geliştirilen sınıflandırma algoritması ile üç farklı yol için sürüş stili ortalama %97 başarı oranıyla tahmin etmiştir. Sınıflandırma algoritmasının belirlediği sürüş stiline göre tasarlanan bulanık mantık tabanlı enerji yönetim sistemi ile çok daha iyi yakıt ve emisyon değerlerine ulaşılmıştır. Veri odaklı yaklaşımla geliştirilen bulanık denetleyici, simülasyon ortamında gömülü olan bulanık denetleyiciye göre gerçek sürüş verileri sonuçlarına dayalı olarak otoyolda %7'ye, şehir içi yolda %9'a ve yerleşim bölgesinde %16'ya varan yakıt iyileştirmeleri sağlamıştır. Yakıt ve kirlenici emisyonlar arasında bir takas olmasına rağmen, önerilen bulanık mantık tabanlı kontrol sistemi zararlı emisyonlarda da önemli iyileştirmeler sağlamıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, (hibrit) elektrikli araçlarda yakıt ve emisyonların iyileştirilmesi çalışmalarında bir ilham kaynağı ve rehber olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler : Elektrikli araçlar, kontrol sistemleri, bulanık mantık, veri odaklı sürüş tahmini.

Sayfa Adedi : 137

Danışman : Prof. Dr. Yakup HAMEŞ

A NEW CONTROL SYSTEM DESIGN BASED ON DRIVING CHARACTERISTICS
FOR HYBRID ELECTRIC VEHICLES

(Ph. D. Thesis)

Ahmet BEŞKARDEŞ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

July 2023

ABSTRACT

A correctly and effectively designed energy management system is crucial in reducing fuel consumption and harmful emissions in dual-power hybrid electric vehicles, which are an intermediate stage between internal combustion engine vehicles and fully electric vehicles. There are many studies on various control systems that will provide the most appropriate energy management in hybrid electric vehicles. One of the main focuses on control systems lately is the optimization of these systems. One of the innovative ideas put forward to ensure optimal energy use is to optimize the control system for different road, vehicle, and driver types. In light of such an innovative idea, a data-driven method has been developed in this thesis to create a stochastic energy management system by considering realistic uncertainties. It has been shown that, depending on the road type and driving style, a hybrid electric vehicle can be used more efficiently with an appropriate energy management strategy. 38 thousand km of real driving data was collected and analyzed with nine different drivers. The necessary features were determined from these data and their values were calculated, and these values were passed through a comprehensive data preprocessing stage. Then, using data mining methods, the driving style of each drive was determined. With the developed classification algorithm, the driving style for three different roads was estimated with an average success rate of 97%. Much better fuel and emission values have been achieved with the fuzzy logic-based energy management system designed according to the driving style determined by the classification algorithm. According to the fuzzy controller embedded in the fuzzy controller simulation environment, developed with a data-driven approach, fuel improvements of up to 7% on the highway, 9% on the urban road, and up to 16% in the residential area, based on real driving data results. Although there is a trade-off between fuel and pollutant emissions, the proposed fuzzy logic-based control system has also provided significant improvements in harmful emissions. The results obtained in this study can be used as an inspiration and guide in the studies of improving fuel and emissions in (hybrid) electric vehicles.

Key Words : Electric vehicles, control systems, fuzzy logic, data driven driving prediction.

Page Number : 137

Supervisor : Prof. Dr. Yakup HAMEŞ

TEŞEKKÜR

Doktora alıőmamın ilk günden itibaren her aşamada bilgi, öneri ve yönlendirmeleriyle yolumu aydınlatan, akademik gelişimimi sağlayan ve tezimin bu aőamaya gelmesinde çok büyük katkıları olan danışman hocam Prof. Dr. Yakup HAMEŞ'e, tez izleme komite toplantılarında ve tez savunma aşamasında yapıkları yorum ve katkılarıyla çalıőmamın olgunlaşmasını sağlayan Prof. Dr. Mehmet Hakan HOCAOĞLU, Doçent Dr. Erdem Aslan, Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT ve Dr. Öğr. Üyesi Merve ERKINAY ÖZDEMİR hocalarıma, bugüne kadar gösterdikleri sevgi, destek ve fedakarlıkları nedeniyle sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ YÖNETİM STRATEJİLERİ..	3
2.1. Kural Tabanlı Stratejiler.....	4
2.2. Optimizasyon Tabanlı Stratejiler.....	5
2.3. Öğrenme Tabanlı Stratejiler.....	5
3. BULANIK MANTIK TABANLI KONTROL SİSTEMLERİ.....	6
3.1. Bulanık Mantık Denetleyici.....	6
3.2. Optimizasyon Algoritmaları.....	10
3.3. Bulanık Mantık İle Geliştirilen Kontrol Sistemleri.....	17
3.3.1. Tahrik sistemi.....	17
3.3.2. Enerji kaynakları.....	33
3.3.3. Araç dinamik sistemi.....	50
3.3.4. Çevresel etkiler.....	53
3.3.5. Veri odaklı yaklaşımla kontrol stratejisi geliştirme.....	57
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	60
4.1. Sistem Tasarımı.....	60

Sayfa

4.1.1. Verilerin hazırlanması ve veri madenciliğine hazır hale getirilmesi.....	61
4.1.2. Sınıflandırma modellerinin kurulması.....	78
4.1.3. Bulanık mantık denetleyici ile geliştirilen kontrol uygulaması.....	91
5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLAR.....	98
5.1. Sınıflandırma Modellerinin Sonuçları.....	98
5.1.1. k-NN sınıflandırıcı sonuçları.....	98
5.1.2. Destek vektör sınıflandırıcı sonuçları.....	99
5.1.3. Karar ağacı sınıflandırıcı sonuçları.....	100
5.1.4. Yapay sinir ağı (çok katmanlı algılayıcı) sınıflandırıcı sonuçları.....	101
5.1.5. Lojistik regresyon sınıflandırıcı sonuçları.....	102
5.1.6. Naive Bayes sınıflandırıcı sonuçları.....	103
5.1.7. Sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılması.....	103
5.2. Simülasyon Ortamı ve Araç Konfigürasyonu.....	106
5.3. Karar Ağacının Test Verisini Oluşturan Sürüş Çevrimleri.....	107
5.4. ADVISOR Simülasyon Ortamında Yapılan Testler.....	108
5.4.1. İki farklı BMD içeren kontrol sisteminin karşılaştırılması.....	109
5.4.2. BMD içeren ve içermeyen iki kontrol sisteminin karşılaştırılması.....	111
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	114
KAYNAKLAR.....	116
DİZİN.....	137
EKLER.....	138

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. SoC ve talep edilen torka göre güç paylaşımı için tanımlanan bulanık kurallar. 'Çok Yüksek', gücün İYM'den sağlanacağını belirtir. 'Çok Düşük', gücün EM'den sağlanacağını belirtir.....	20
Çizelge 3.2. Yakıt ekonomisi sağlamak ve emisyonları azaltmak için BMD kullanan çalışmalar.....	25
Çizelge 3.2. (Devam) Yakıt ekonomisi sağlamak ve emisyonları azaltmak için BMD kullanan çalışmalar..... 256	
Çizelge 3.2. (Devam) Yakıt ekonomisi sağlamak ve emisyonları azaltmak için BMD kullanan çalışmalar..... 257	
Çizelge 3.3. Torku paylaşmak ve güç talebini karşılamak için BMD kullanan çalışmalar.....	30
Çizelge 3.3. (Devam) Torku paylaşmak ve güç talebini karşılamak için BMD kullanan çalışmalar.....	31
Çizelge 3.4. Vites değiştirme ve güç dağıtımını optimizasyonu için BMD kullanan çalışmalar.....	33
Çizelge 3.5. BAT+UK hibrit sistemine ilişkin çalışmalar.....	38
Çizelge 3.5. (Devam) BAT+UK hibrit sistemine ilişkin çalışmalar..... 399	
Çizelge 3.6. YHEA kontrol sistemleri için BMD kullanılarak yapılan çalışmalar..... 444	
Çizelge 3.6. (Devam) YHEA kontrol sistemleri için BMD kullanılarak yapılan çalışmalar..... 455	
Çizelge 3.6. (Devam) YHEA kontrol sistemleri için BMD kullanılarak yapılan çalışmalar..... 466	
Çizelge 3.7. BMD kullanılarak rejeneratif frenleme üzerine yapılan çalışmalar..... 499	
Çizelge 3.8. Araç dinamik sistemi ile ilgili çalışmalar..... 522	

Çizelge 3.9. Çevresel etkileri dikkate alan çalışmalar.....	56
Çizelge 3.9. (Devam) Çevresel etkileri dikkate alan çalışmalar.....	57
Çizelge 4.1. Sürüş döngüleri hakkında istatistiksel bilgiler.....	622
Çizelge 4.2. Sürüş sınıflandırması için belirlenen özellikler.....	66
Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.3. Yerleşim bölgesi veri seti özeti.....	70
Çizelge 4.4. Şehir içi veri seti özeti.....	71
Çizelge 4.5. Otoyol veri seti özeti.....	72
Çizelge 4.6. Yerleşim bölgesi veri setinde korelasyon analizi sonuçları.....	73
Çizelge 4.7. Şehir içi veri setinde korelasyon analizi sonuçları.....	733
Çizelge 4.8. Otoyol veri setinde korelasyon analizi sonuçları.....	744
Çizelge 4.9. Hata matrisi.....	91
Çizelge 5.1. Üç farklı veri seti için sınıflandırma algoritmalarının performansları.....	1044
Çizelge 5.2. ADVISOR’da tanımlanan HEA konfigürasyonu.....	107
Çizelge 5.3. Tasarlanan BMD’yi test etmek için kullanılan çeşitli sürüş verileri. Son üç satır, yaygın olarak kullanılan HWFET, UDDS ve NYCC sürüş döngülerinin değerlerini içerir.....	108
Çizelge 5.4. Test verisi olarak kullanılan sürüş çevrimleri için iki farklı BMD ile alınan sonuçlar.....	109
Çizelge 5.5. Test sürüş çevrimleri için BMD’li ve BMD’siz iki sistem ile alınan sonuçlar	112

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elektrikli araçların kontrol stratejileri.....	4
Şekil 3.1. Bulanık kontrol sistemi.....	6
Şekil 3.2. YH, UK ve bataryadan oluşan bir araç için geliştirilen bir BMD sisteminin giriş ve çıkışlarının üyelik fonksiyonları.....	9
Şekil 3.3. Tasarlanan BMD sisteminin yüzey gösterimleri.....	10
Şekil 3.4. Üyelik fonksiyonlarının merkez, üst ve alt değerlerinin bir optimizasyon algoritması ile ayarlanması.....	11
Şekil 3.5. Genetik algoritma akış diyagramı.....	12
Şekil 3.6. PSO algoritması akış diyagramı.....	13
Şekil 3.7. BMD'nin optimizasyon öncesi üyelik fonksiyonları.....	15
Şekil 3.8. BMD'nin optimizasyon sonrası üyelik fonksiyonları.....	16
Şekil 3.9. Girişleri akü şarj durumu ve talep edilen tork, çıkışı güç paylaşım oranı olan bir BMD'nin üyelik fonksiyonları.....	19
Şekil 3.10. Batarya şarj durumu, talep edilen tork ve EM ile İYM arasındaki güç paylaşım oranı arasındaki ilişkiyi gösteren yüzey grafiği.....	20
Şekil 3.11. Enerji kaynaklarının optimum kullanımı için geliştirilen enerji yönetim stratejilerin hedefleri..... 344	
Şekil 4.1. Tasarlanan sistem.....	61
Şekil 4.2. Yerleşim bölgesi (a), şehir içi yol (b) ve otoyollarda (c) gerçekleştirilen sürüşlerin hız profilleri..... 633	
Şekil 4.3. Test sürüş döngülerinde hızın dağılımı: (a) yerleşim bölgesi, (b) şehir içi, (c) otoyol..... 644	
Şekil 4.4. Sürüş stilini tahmin etme aşamaları..... 644	
Şekil 4.5. Sürüş karakteristik analizi uygulaması..... 655	

Şekil 4.6. Bazı özelliklerin hesaplanmasında kullanılan maksimum-minimum noktalar ve dur-kalk noktalarının örnek bir hız-zaman grafiğinde gösterimi	69
Şekil 4.7. Üç veri seti için özneliliklerin listesi.....	755
Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. Yerleşim bölgesi verisi için aykırı değer analizi.....	766
Şekil 4.9. Şehir içi verisi için aykırı değer analizi.....	766
Şekil 4.10. Otoyol verisi için aykırı değer analizi.....	777
Şekil 4.11. En iyi modeli bulma ve test verileriyle test etme.....	788
Şekil 4.12. Çapraz doğrulama yöntemi.....	799
Şekil 4.13. Aşırı, eksik öğrenme ve denge durumları.....	800
Şekil 4.14. Bir modelin en uygun parametreleri bulunurken varyans ve bias arasında bir takas yaparak optimum denge elde edilir.....	80
Şekil 4.15. En yakın komşu parametresi $k=5$ olan k -NN algoritması ile mavi ile gösterilen yeni bir örneğin yeşil sınıfa atanması.....	822
Şekil 4.16. Bir hiper düzlem, iki sınıf arasındaki en uzak mesafeyi sağlayan DVM sınıflandırıcısı tarafından belirlenir.....	833
Şekil 4.17. Sürüş döngüsünden çıkarılan özelliklere dayalı olarak sürüş stilinin karar ağacı ile sınıflandırılması.....	855
Şekil 4.18. Bir nörondaki hesaplamalar.....	866
Şekil 4.19. İleri beslemeli sinir ağının yapısı.....	877
Şekil 4.20. Lojistik regresyonda çıktı sınıfını belirleyecek olan y değerleri 0 ile 1 arasında değerler almaktadır.....	899

Şekil 4.21. Tasarlanan bulanık mantık tabanlı denetleyici..... 922	
Şekil 4.22. Bulanık üyelik fonksiyonları. (a) SOC girişi (b) Talep edilen tork girişi (c) İYM/EM oranı çıkışı.....	94
Şekil 4.23. Bulanık kural tablosu.....	95
Şekil 4.24. Tasarlanan BMD'nin sakin, normal ve agresif sürüşler için yüzey grafiği. (a) Yerleşim bölgesi (b) Şehir içi (c) Otoyol.....	96
Şekil 5.1. k-NN sınıflandırıcı ile alınan sonuçlar..... 999	
Şekil 5.2. Destek vektör sınıflandırıcı ile alınan sonuçlar.....	100
Şekil 5.3. Karar ağacı sınıflandırıcı ile alınan sonuçlar.....	101
Şekil 5.4. Çok katmanlı algılayıcı ile alınan sonuçlar.....	102
Şekil	Sayfa
Şekil 5.5. Lojistik regresyon ile alınan sonuçlar..... 1022	
Şekil 5.6. Naive Bayes sınıflandırıcı ile alınan sonuçlar.....	103
Şekil 5.7. Yerleşim bölgesi veri seti için sınıflandırma algoritmalarının işlem süresi ve genel doğruluk ölçütlerine göre karşılaştırılması.....	104
Şekil 5.8. Şehir içi veri seti için sınıflandırma algoritmalarının işlem süresi ve genel doğruluk ölçütlerine göre karşılaştırılması.....	105
Şekil 5.9. Otoyol veri seti için sınıflandırma algoritmalarının işlem süresi ve genel doğruluk ölçütlerine göre karşılaştırılması.....	105
Şekil 5.10. Önerilen BMD ile gömülü BMD'ye göre sağlanan yakıt iyileştirmeleri...	111
Şekil 5.11. Önerilen BMD ile gömülü BMD'ye göre sağlanan emisyon iyileştirmeleri	111
Şekil 5.12. Önerilen BMD ile BMD'siz yapıya göre sağlanan yakıt iyileştirmeleri.....	112
Şekil 5.13. Önerilen BMD ile BMD'siz yapıya göre sağlanan emisyon iyileştirmeleri.	113

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
gram/km	1 km’de havaya bırakılan emisyon miktarı
l/100 km	100 km’de yapılan tüketim
mph	Miles per hour (Mil bölü saat)
Kısaltmalar	Açıklamalar
5G	5. Nesil Mobil Telekomünikasyon Hizmeti
ABS	Anti-lock Braking System (Kilitlenme Önleyici Fren Sistemi)
ADVISOR	Advanced Vehicle Simulator (Gelişmiş Araç Simülatörü)
AFS	Active Front Steering (Aktif Ön Direksiyon)
ANFIS	Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
AOC	Adaptive Optimal Control (Uyarlanabilir Optimal Kontrol)
BAT	Batarya
BEA	Bataryalı Elektrikli Araç
BMD	Bulanık Mantık Denetleyici
CO	Karbonmonoksit
DVM	Destek Vektör Makineleri
DYC	Direct Yaw Moment Control (Doğrudan Sapma Momenti Kontrolü)
EA	Elektrikli Araç
EM	Elektrik Motoru
EMK	Elektrik Motor Kuvveti
ESP	Electronic Stability Program (Elektronik Stabilite Programı)
EYS	Enerji Yönetim Sistemi

FHEA	Fişli Hibrit Elektrikli Araç
FOSM	Fractional-Order Sliding Mode (Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrol)
GA	Genetik Algoritma
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
HC	Hidrokarbon
HEA	Hibrit Elektrikli Araç
HEDS	Hibrit Enerji Depolama Sistemi
IEMA	Intelligent Energy Management Agent (Akıllı Enerji Yönetimi Aracısı)
IoV	Internet of Vehicles (Araçların İnterneti)
ITS	Intelligent Transport System (Akıllı Taşıma Sistemi)
İYM	İçten Yanmalı Motor
LQR	Linear–Quadratic Regulator (Doğrusal–İkinci Dereceden Düzenleyici)
NOX	Nitröz Oksitler
PI	Proportional-Integral (Orantılı-İntegral)
PID	Proportional-Integral-Derivative (Orantılı-İntegral-Türev)
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
RL	Reinforcement Learning (Takviyeli Öğrenme)
SMC	Sliding Mode Control (Kayan Kipli Kontrol)
SOC	State of Charge (Şarj Durumu)
SOE	State of Energy (Enerji Durumu)
SOH	State of Health (Sağlık Durumu)
TM	Trade Mark (Ticari Marka)
UK	Ultra-kapasitör
V2G	Vehicle-to-Grid (Araçtan Şebekeye)
V2V	Vehicle to Vehicle (Araçtan Araca)
VANET	Vehicular Ad-hoc Network (Araç Geçici Ağı)
YH	Yakıt Hücresi
YHEA	Yakıt Hücreli Elektrikli Araç
YHHEA	Yakıt Hücreli Hibrit Elektrikli Araç
YSA	Yapay Sinir Ağı



1. GİRİŞ

Karbon emisyonu, dünyamız için her geçen yıl daha büyük bir sorun oluşturmaktadır. Günümüzde sayısı 1 milyardan fazla olan ve karbondioksit emisyonlarının %30'undan fazlasını üreten içten yanmalı motora (İYM) sahip araçların bu soruna katkısı çok büyüktür. Bu önemli soruna karşı gelişmiş ülkelerde İYM tabanlı araçların üretimini azaltma ve 2030 yılına kadar elektrikli araç üretimine geçme kararı alınmıştır [1]. Ancak özellikle az gelişmiş ülkelerde yetersiz altyapı, teknoloji eksikliği ve düşük satın alma gücü tam elektrikli araçlara geçişi zorlaştırmaktadır. Bu konuda hibrit elektrikli araçlar (HEA), bir ara çözüm vazifesi görerek zararlı emisyonları azaltarak havayı daha az kirletmek ve yakıt tasarrufu yapmak için iyi bir çözüm sunmaktadır [1,2].

Aktarma organı geleneksel tahrik ve elektrikli tahrik bileşenlerinden oluşan bir hibrit elektrikli araçta, düşük tork gerektiğinde, elektrikli tahrik bunu tek başına karşılayabilir, böylece bu tür bir sürüşte yakıt tüketimi ve zararlı emisyonlar önemli ölçüde azaltılabilir [3,4]. Ancak, diğer elektrikli araçlarda olduğu gibi HEA'larda da düşük yakıt ve emisyon değerlerine ulaşmak için doğru ve etkili bir enerji yönetimi stratejisi (EYS) gereklidir. HEA'nın batarya ağırlığı, ortalama menzili ve tükettiği yakıt arasındaki uyumu ve ergonomiyi sağlamak için EYS'ler çok önemli roller oynar [2,5]. Örneğin, düşük tork gerektiğinde sadece ya da birincil olarak elektrik motorunun (EM) kullanılması, yüksek tork gerektiğinde ise İYM'nin yüksek verim bölgesinde çalıştırılması ve EM'nin en uygun şekilde katkı sağlaması gibi çözümler için geliştirilmiş akıllı denetleyiciler menzil ve yakıt tüketimi uyumunu yakalamada çok belirleyicidir [2]. HEA'ların kullanımına en uygun EYS'yi tasarlamak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, yakıt tüketiminin azaltılması [6], enerjinin verimli bir şekilde transferi [7,8], bataryanın daha hızlı ve uygun şarj edilmesi ve batarya şarj düzeyinin (SOC) korunması [9] gibi konularda önemli katkılar sağlamıştır. Bu tezde, yukarıda gerçekleştirilen çalışmaların ötesinde araç sürücülerinin sürüş tarzlarını, trafik ve yol tipini dikkate alan, veri bilimini, makine öğrenmesini ve bulanık mantık tabanlı kontrol sistemini içinde barındıran bir EYS tasarlanarak bu konuya farklı bir bakış açısı getirilmektedir.

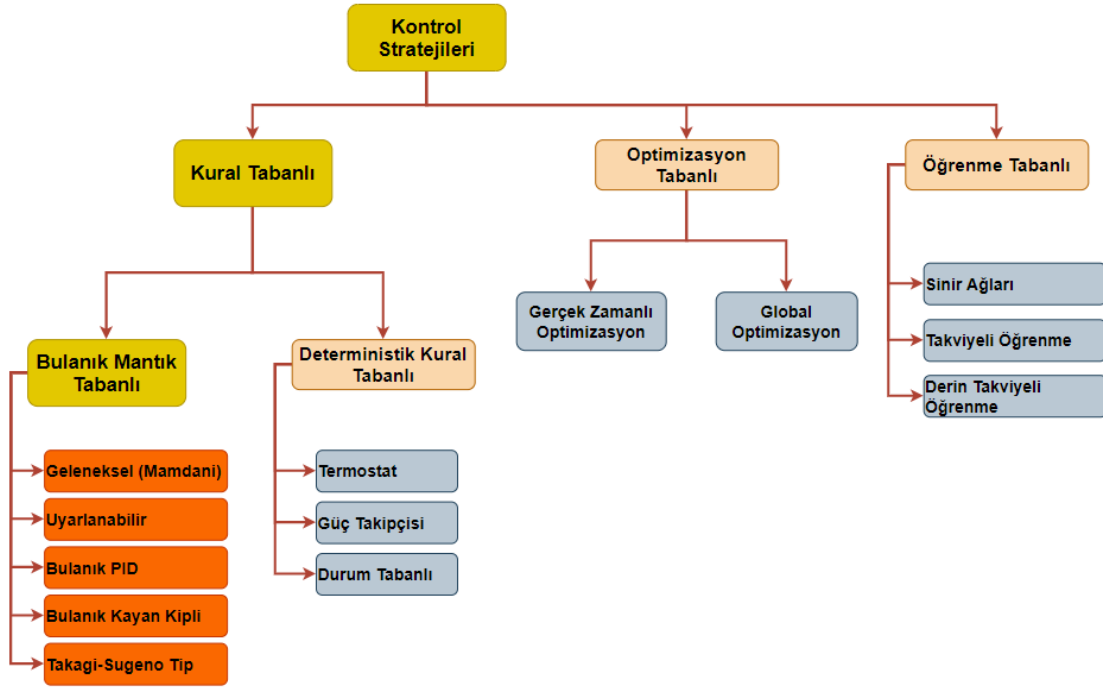
Bu tez çalışması kapsamında Türkiye'nin farklı bölgelerinden dokuz profesyonel sürücünün 610 saat süre ve 38 bin km mesafedeki sürüş verileri toplanmış ve bu veriler analiz edilmiştir. Bu veriler basitçe hız-zaman bilgisi şeklinde toplanmış ve zamana bağlı olarak değişen hız

değerlerine ait hesaplanmış bilgilerden on yedi öznitelik çıkarılmıştır. Özniteliklerin değerleri hesaplandıktan sonra bu değerler kapsamlı bir veri ön işleme aşamasından geçirilmiştir. Sonrasında tanımlanmış on yedi öznitelik sütunundan ve 1932 satırdan oluşan bir veri seti ile bir veri madenciliği modeli geliştirilmiştir. Önerilen metodoloji ile kısa mesafeli ve düşük hızlardan oluşan yerleşim bölgesi, biraz daha uzun mesafeli ve nispeten daha hızlı kullanımlara ait veriler içeren şehir içi yollar ve uzun menzilli ve yüksek hızlı kullanımları içeren otoyollar için sınıflandırma algoritmaları kullanarak sakin, normal ve agresif sürüş stilleri tanımlanmıştır. Bu sürüş stilleri için en düşük yakıt tüketimini ve en düşük emisyonları sağlayacak veri odaklı yaklaşımla tasarlanan bulanık mantık tabanlı bir enerji yönetim sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem, toplamda 3098,3 km mesafeyi bulan 90 gerçek sürüş verisi ile test edilmiştir.

Bu tezde öncelikle elektrikli araçlardaki enerji yönetim stratejileri özetlenmiştir. Bu stratejiler içinde bulanık mantığı da içinde barındıran kural tabanlı stratejiler, optimizasyon tabanlı stratejiler ve öğrenme tabanlı stratejiler kısaca tanıtılmıştır. Ardından kural tabanlı stratejilerden biri olan bulanık mantık tabanlı kontrol stratejisi detaylı olarak açıklanmış ve optimizasyon algoritmalarının bulanık mantığa olan katkıları üzerinde durulmuştur. Bulanık mantık stratejisi ile geliştirilen kontrol sistemleri konusunda daha önce yapılan çalışmalar tahrik, enerji kaynakları, araç dinamik sistemi, çevresel etkiler ve veri odaklı yaklaşım alt başlıkları halinde ayrıntılı bir şekilde özetlenmiştir. Daha sonra veri odaklı yaklaşımla geliştirilen sistem hakkında bilgi verilmiş, verilerin hazırlanması, veri madenciliği, sınıflandırma algoritmaları ve başarı ölçütleri konularında detaylı bilgiler verilmiştir. Bulanık mantık tabanlı geliştirilen kontrol sisteminin simülasyon ortamında yapılan test sonuçları geniş şekilde açıklanmıştır. Önerilen tasarım ile bulanık mantık tabanlı ancak veri odaklı olmayan kontrol sistemi ve bulanık mantık içermeyen kural tabanlı kontrol sistemi sonuçları karşılaştırılmış ve çalışmanın katkıları nicel olarak ortaya konmuştur.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ YÖNETİM STRATEJİLERİ

Elektrikli araçların istenilen performansta çalışabilmesi için kontrol sistemleri büyük önem taşır. Yeterli gücü sağlamak, konforlu bir sürüş sunmak, mevcut enerji kaynaklarını doğru kullanmak ve en uzun mesafeyi kat etmek için gelişmiş kontrol mekanizmalarına ihtiyaç vardır [10]. Bu amaçla birçok farklı yöntem ve algoritma kullanılmıştır ve bu kapsamda iyileştirmeler devam etmektedir. Matematiksel yapısına göre kontrol stratejileri Şekil 2.1’de gösterildiği gibi kural tabanlı, optimizasyon tabanlı ve öğrenme tabanlı stratejiler olarak ayrılır [11–13]. Kural tabanlı stratejilerde, bulanık mantık tabanlı yöntemler ve deterministik (önceden belirlenmiş) kural tabanlı yöntemler öne çıkar. Optimizasyona dayalı stratejiler, küresel optimizasyon yöntemlerini ve gerçek zamanlı optimizasyon yöntemlerini içerir [14]. Küresel optimizasyonda dinamik programlama, oyun teorisi ve genetik algoritma gibi yöntemler kendini gösterir. Gerçek zamanlı optimizasyonda ise sağlam kontrol ve model öngörülü kontrol gibi yöntemler öne çıkar. Sürüş döngüsü, kural tabanlı kontrol stratejileri geliştirmek için gerekli değildir, ancak bileşenlerin verimlilik haritalarının önceden bilinmesi gerekir. Ancak, optimizasyona dayalı kontrol stratejileri, optimum performansı elde etmek için tüm sürüş döngüsü bilgilerini gerektirir. Optimizasyon tabanlı denetleyicilerde, araç bileşenlerine ve performans parametrelerine dayalı bir maliyet fonksiyonu kullanılır. Bu strateji, maliyet fonksiyonunu en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bununla birlikte, optimizasyona dayalı yöntemler, zahmetli hesaplamalar içerir ve gelecekteki sürüş hakkında ön bilgi gerektirdiğinden doğrudan pratikte uygulanamaz [13]. Öğrenmeye dayalı stratejiler, elektrikli araçlarda ortaya çıkan enerji yönetimi eğilimini dikkate alır [13]. Bu stratejiler araç, yol, trafik ve sürücü parametrelerindeki değişiklikleri modellemek için önceden kaydedilmiş verileri kullanır. Veri toplama, işleme ve değerlendirmenin başarısı sistemin performansını doğrudan etkiler [12]. Sürüş süreci, bu verilerin sinir ağları [15], pekiştirmeli öğrenme [16] ve derin pekiştirmeli öğrenme [17] gibi makine öğrenimi yöntemleriyle işlenerek modellenabilir. Öğrenmeye dayalı stratejilerin dezavantajları, sınırlı eğitim verileri, zorlu hesaplamalar ve sürekli olarak yeni sürüş bilgisine duyulan ihtiyaçtır.



Şekil 2.1. Elektrikli araçların kontrol stratejileri

2.1. Kural Tabanlı Stratejiler

Herhangi bir kurala dayalı kontrol stratejisinin ana hedefi aslında tüm stratejilerde de geçerli olduğu üzere, elektrikli aracı (EA) optimum şartlarda çalıştırarak daha verimli bir sürüş sağlamaktır. Önceden tanımlanmış kurallar, sürüşle, yol durumuyla ve sürücüyü ilgili herhangi bir ön bilgi olmaksızın arzu edilen çıktılara bağlı olarak başlangıçta belirlenir. Kural tabanlı stratejide bir yolculukla ilgili bir sürüş planının güç akışını temsil etmek için seçilen en önemli araçlar akış çizelgeleri ve durum diyagramlarıdır. Sürüş sırasında bir enerji kaynağından diğerine geçmede motorun güç gereksinimleri, hızlanma ya da yavaşlama, araç hızı ve bataryaların şarj durumu gibi önceden tanımlanmış kriterlere göre hareket edilir [18].

Kural tabanlı stratejiler deterministik tabanlı ve bulanık tabanlı strateji olmak üzere iki alt başlıkta incelenir. Deterministik kural tabanlı denetleyiciler, gerçek işlemde önce tanımlanmış ve uygulanmış bir dizi kural üzerinde çalışır. Karar verme süreci için anlık girdilere ek olarak akış şemalarında ve kontrol parametresi tablolarında yansıtılan durum makinesi modellerini kullanır. Durum makinesi tabanlı kontrol mantığı, bir dizi durumdan, bu durumlar arasındaki geçişlerden ve eylemlerden oluşan bir modeldir [18].

Bulanık mantık tabanlı denetleyiciler, elektrikli araçlardaki aktarma organları gibi doğrusal olmayan ve zamanla değişen sistemler için idealdir, çünkü belirsizlik ve bozucu etkilere

karşı sağladıkları, yeni gelişen durumlara uyarlanabilir ve kolayca yeniden ayarlanabilirler. Bulanık mantık denetleyicileri ile ilgili geniş açıklamalar ayrı bir bölümde yapılmıştır.

2.2. Optimizasyon Tabanlı Stratejiler

Optimizasyon tabanlı kontrol stratejilerinde, bir denetleyicinin amacı, maliyet fonksiyonunu olabildiğince düşürmektir. Bir HEA için maliyet fonksiyonunun girdileri (amaç fonksiyonu), uygulamaya bağlı olarak zararlı emisyonlar, yakıt tüketimi ve aracın torku olabilir. Pratiklik ve basitlik açısından sabit bir sürüş çevrimi seçilip bunun üzerinden optimizasyon yapılarak global optimum çözümlere ulaşmak hedeflenebilir. Optimizasyon teknikleri ile kurulan strateji doğrudan gerçek zamanlı enerji yönetimi vadetmez, ancak tanımlanan anlık maliyet fonksiyonuna dayalı olarak gerçek zamanlı bir kontrol stratejisi elde edilebilir. Optimizasyon tabanlı kontrol stratejileri, global optimizasyon ve gerçek zamanlı optimizasyon olmak üzere iki ana gruba ayrılır [19].

2.3. Öğrenme Tabanlı Stratejiler

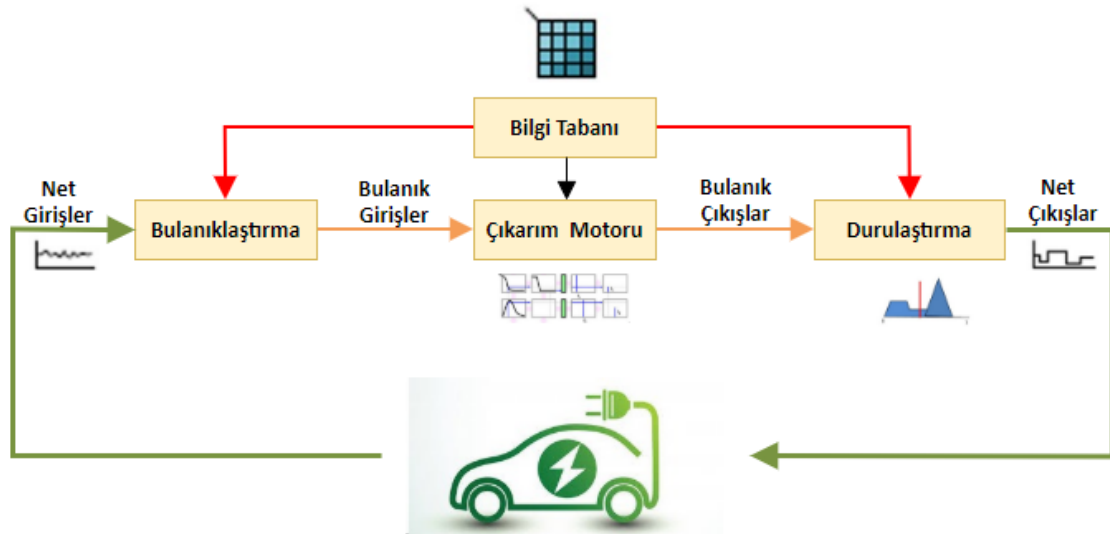
Öğrenmeye dayalı algoritmalar, araç koşullarının, sürüş modellerinin vb. gerçek zamanlı ayrıntılarını elde etmek için veri analizini kullanır. Öğrenmeye dayalı algoritmaların performansı ve başarı oranı verilerin boyutuna, yapısına ve doğru şekilde işlenip hazır hale getirilmesine bağlıdır. Bu stratejiler, algoritmaya yüklenen büyük veri nedeniyle oldukça uyarlanabilir olan kontrol yasaları sayesinde farklı sürüş profilleriyle verimli bir şekilde çalışabilir. Gelişen teknoloji sayesinde makine öğrenmesi yöntemleri büyük veri kümelerini yüksek performansla ve kısa sürede işleyebilir. En yüksek performans için makine öğrenmesi yönteminin parametreleri en iyi şekilde ayarlanmalıdır. Gerekli ayar işlemleri, genellikle optimizasyon algoritmalarıyla yapılır ve böylece sistem, farklı sürüş profilleri, eşik değerleri ve sürücünün sürüş tutumu ve tarzı için iyi bir performans gösterebilir [12].

3. BULANIK MANTIK TABANLI KONTROL SİSTEMLERİ

3.1. Bulanık Mantık Denetleyici

Bulanık mantık, Zadeh (1965) tarafından ortaya atıldığından beri [20] mühendislik uygulamalarında büyük yer tutmuştur. Kesinlik yerine kademeli bir değerlendirmeden sonra akıl yürütme için kullanılan, bulanık küme teorisinden türetilen çok değerli bir mantık biçimidir [19]. Klasik küme teorisinde bir elemanın bir kümeye üyeliği kesinken, bulanık teoride üyelik durumu tam olmak yerine üyelik derecesi adı verilen sıfır ile bir arasında bir değerle ifade edilir [14,21].

Bir bulanık kontrol sistemi bulanıklaştırma, bilgi tabanı, çıkarım motoru ve durulaştırma olmak üzere dört bölümden oluşur. Şekil 3.1, bir bulanık kontrol sisteminin yapısını göstermektedir.



Şekil 3.1. Bulanık kontrol sistemi

Bulanık mantık sistemi, günlük kullandığımız sayısal verileri ve dilsel ifadeleri değerlendirmek için eşsiz bir fırsat sunar. Kesin değerleri olmayan dilsel değişkenlerle sistem kontrolü sağlayan bu yöntem, bir uzmanın bilgi, sezgi ve deneyimlerinin aktarılmasına olanak sağlar [22,23]. “Biraz”, “oldukça” gibi sayılarla açıklanamayan ancak dilsel ifadelerle açıklanabilen pek çok olasılıksal durum vardır. Böyle dilsel ifadelerle betimlenen dilbilimsel olasılıklar, geleneksel sayısal olasılıkların bulanıklaştırılmış bir hali olarak görülebilir [24]. Bulanık mantık, kural tabanlı davranışın oluşturulmasına izin verir.

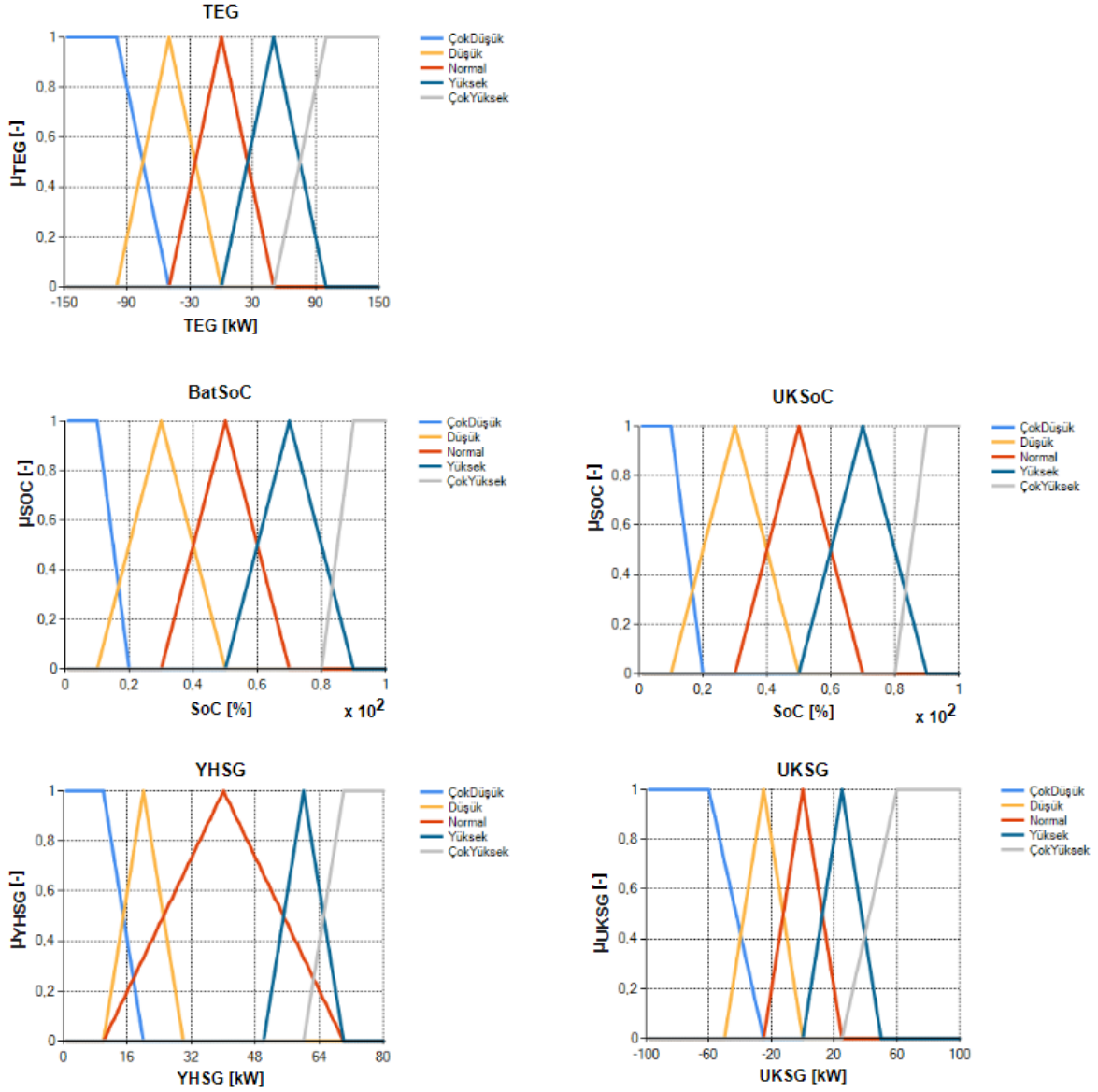
Bir uzmanın bilgisi, sezgisi, iş yapış biçimi kural tabanlı biçimde kodlanabilir ve karar vermede kullanılabilir. Bu sistemde temel fikir, uzman bilgi ve deneyimlerini kullanmak için dilsel kurallarla bir kural tabanı oluşturmaktır [25]. Gerçekleştirilecek kontrol eylemleri bu kural tabanına göre yapılır [26]. Bulanık kural, EĞER-ÖYLEYSE-ŞÖYLE OLSUN şeklinde yazılan koşullu bir ifadedir. Kuralı oluşturan girdi ve çıktı değişkenlerinin değerlerine göre çıkarım yapılır. Bunun için bu değişkenlerin üyelik fonksiyonları ile ifade edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bulanık mantık kontrol sistemi tasarlanırken giriş ve çıkışlar için doğru üyelik fonksiyonlarının seçilmesi ve kural tablosunun doğru bir şekilde oluşturulması çok önemlidir.

Bulanık mantık denetleyicinin (BMD) ana avantajı, kesin olmayan ölçümlere ve bileşen varyasyonlarına karşı sağlamlık ve tanımlanan değişkenlerin ve kuralların daha sonra kolayca ayarlanabilmesi nedeniyle uyarlanabilirliktir [27]. Geliştirilen sistemde yeni bir değişken ya da kural eklemek gerektiğinde veya mevcut kurallarla ilgili değişiklik istendiğinde bu kolayca yapılabilir. Doğrusal olmayan sistemler için basit ve etkili çözümler sunana bulanık mantık tabanlı denetleyiciler gelişmiş güç aktarma sistemi gibi karmaşık bir sistemde rahatlıkla kullanılabilir [19,28,29]. Bulanık mantık sistemlerinde denetleyicinin girişleri sürekli fonksiyonlar olarak tanımlandığından, geliştirilen bulanık model belirsizliklere duyarsız yani güçlü ve gürültüye dayanıklıdır. Ayrıca geleneksel kontrol teknikleri ile bulanık mantık uygulanabilir [30,31]. Bu avantajlar nedeniyle BMD, güç sistemleri [32], telekomünikasyon [33], demir ve çelik endüstrisi [34,35], robotik sistemler [36,37], motorlar [38], tıp [39] ve finans [40] dahil olmak üzere endüstrideki çeşitli kontrol uygulamalarında [41] tercih edilmiştir.

Bulanık mantığın başarıyla uygulandığı alanlardan biri de otomotiv mühendisliğidir. Bilindiği gibi, otomotiv endüstrisi son derece rekabetçidir ve bu durum, araç tasarımcılarını daha iyi performans, güvenlik ve verimlilik için en son teknikleri kullanmaya zorlamaktadır. Bu tekniklerden biri de kontrol sistemleridir. BMD, araç kontrol sistemlerinde onlarca yıldır başarıyla uygulanmaktadır [42–47] çünkü belirsiz ve doğrusal olmayan süreçlerle başa çıkabilir [48]. Son yirmi yılda yayınlanan araştırmalar incelendiğinde, gelişmelerin dört farklı alanda yoğunlaştığı görülmektedir:

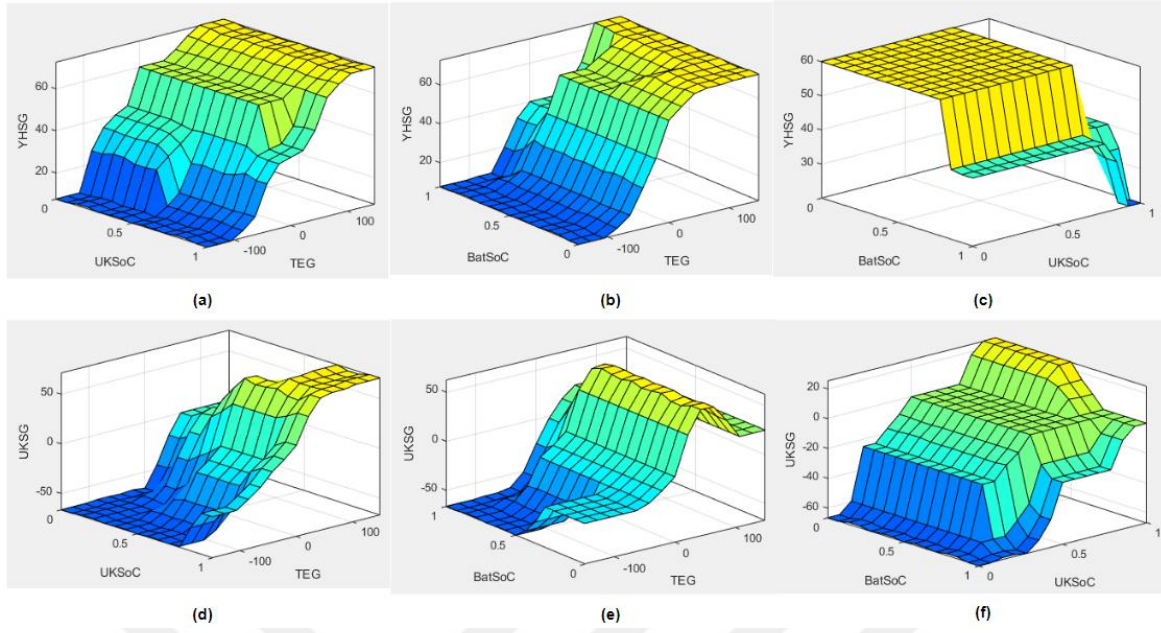
- i. Elektrikli araçların gelişimi açısından, içten yanmalı motorlu, fosil yakıtlı hibrit modellerden [49–51] bataryalı [52–54], ultra-kapasitörlü [55,56], yakıt hücreli [57,58] EA modellerine.
- ii. Bulanık mantık kullanımı açısından, Tip 1'den [59,60] (Tip 1 yaygın olarak kullanılmaya devam ediliyor), Tip 2'ye [61,62].
- iii. Optimizasyon açısından BMD'nin tek başına kullanımından [63], genetik algoritma (GA) [64,65], parçacık sürü optimizasyonu (PSO) [66,67], orantılı-integral-türev (PID) [68,69], kayan kipli kontrol [70] gibi yöntemlerle geliştirilen hibrit sistemlere.
- iv. Teknoloji açısından veri odaklı yaklaşıma [71–73], araçtan araca (V2V) [74,75], araçtan şebekeye (V2G) [76–78], araçların interneti (IoV) [79] teknolojileri ve akıllı ulaşım sistemleri (ITS) [80] gibi yeniliklere.

Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 yukarıda açıklanan ilkelere göre bir yakıt hücresi (YH), batarya (BAT) ve ultra-kapasitör (UK) enerji kaynaklarına sahip hibrit bir araçta bir bulanık mantık kontrol stratejisinin nasıl kurulabileceğini göstermektedir. Üç enerji kaynağına sahip hibrit araç için geliştirilen bu bulanık sistem üç giriş ve iki çıkış değişkenine sahiptir. Giriş değişkenleri, aracın talep ettiği güç (TEG), BAT şarj durumu (SOC) ve UK SOC değeridir. Çıkış değişkenleri, yakıt hücresinden sağlanacak güç (YHSG) ve UK'den sağlanacak güçtür (UKSG). BMD tasarımı basitleştirmek için bataryadan gelen güç denetleyiciye eklenmez. Çünkü bataryadan ihtiyaç duyulan güç, gereken toplam güçten yakıt pili sisteminden ihtiyaç duyulan güç ile UK'den ihtiyaç duyulan güç çıkarılarak hesaplanabilir. Sistemin giriş ve çıkışlarının üçgen tipinde tanımlanmış üyelik fonksiyonları Şekil 3.2'de gösterilmektedir. BMD sistemi için üretilen kurallardan sonra oluşan yüzey gösterimi Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Üç giriş ve iki çıkışın bir arada gösterilmesi mümkün olmadığından her biri iki giriş ve bir çıkıştan oluşan altı yüzey grafiği gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonları ve kural tablosu, tasarımcının tahrik mekanizması ve enerji kaynaklarının özellikleri gibi konulardaki uzmanlığı, deneyimi ve sezgisi ile belirlenir. BMD sisteminin başarısı, tasarımcının bu konulardaki bilgi ve tecrübesi sonucunda yaptığı seçimlere bağlıdır.



Şekil 3.2. YH, UK ve bataryadan oluşan bir araç için geliştirilen bir BMD sisteminin giriş ve çıkışlarının üyelik fonksiyonları

Şekil 3.2’de girişler aracın talep ettiği güç, BAT SOC ve UK SOC’dir. Çıkışlar ise YH sisteminden sağlanan güç ve UK’den sağlanan güçtür.



Şekil 3.3. Tasarlanan BMD sisteminin yüzey gösterimleri

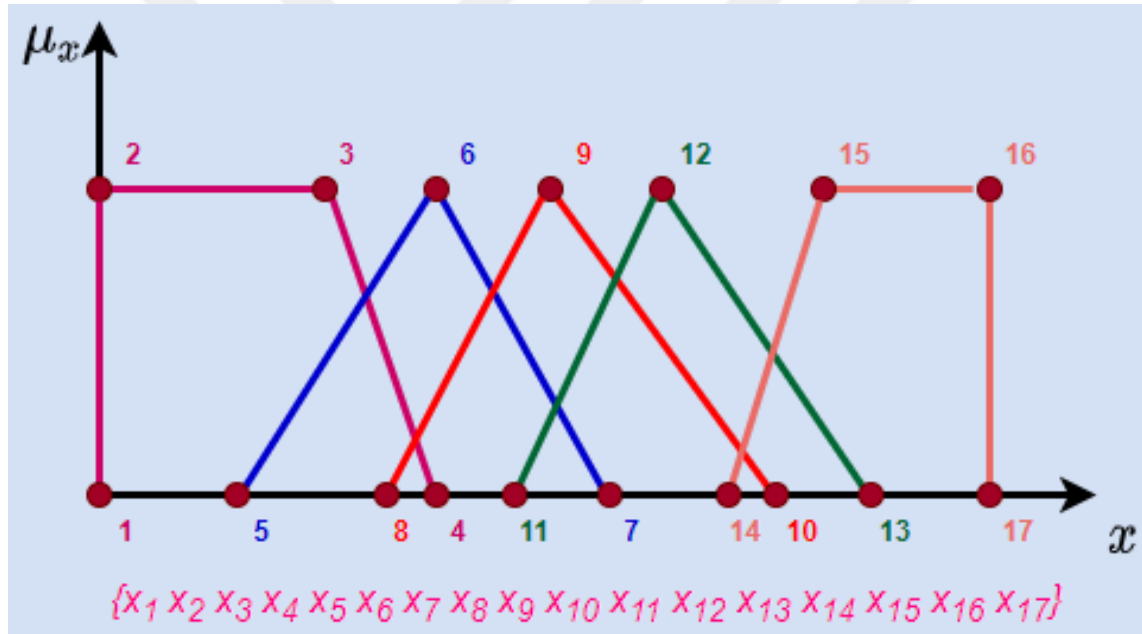
Şekil 3.3’de sırasıyla şu gösterimler verilmiştir: (a) Talep edilen güce ve UK SOC'ye bağlı YH sisteminden sağlanan güçtür (b) Talep edilen güce ve UK SOC'ye bağlı YH sisteminden sağlanan güçtür (c) BAT SOC ve UK SOC'ye bağlı YH sisteminden sağlanan güçtür (d) Talep edilen güce ve UK SOC'ye bağlı UK'den sağlanan güçtür (e) Talep edilen güce ve BAT SOC'ye bağlı UK'den sağlanan güçtür (f) UK SOC'ye ve BAT SOC'ye bağlı UK'den sağlanan güçtür. Tüm güç değerleri Şekil 3.2’de olduğu gibi kW birimindedir. Tüm SOC değerleri de 0-1 aralığında bir oranı belirtmektedir. 0,5 ifadesi enerji kaynağının %50 oranında dolu olduğunu göstermektedir.

3.2. Optimizasyon Algoritmaları

Bulanık mantık, karar verme için en iyi araçlardan biri olsa da üyelik fonksiyonlarını ve kural tablosunu optimize etmek, çıkarım motorunu iyileştirmek ve karmaşık problemlerin üstesinden gelmek için diğer yapay zekâ uygulamalarıyla desteklenmesi gerekebilir [81]. Bulanık mantık denetleyicileri genellikle uzman kişi veya kişilerin bilgi ve tecrübesi ile oluşturulur [82]. Ancak BMD yapısını tasarlayan kişi ya da kişiler çalıştırdıkları sistem hakkında ne kadar bilgi sahibi olursa olsun, tecrübe, sezgi ve bilgi birikimi ile kurulan bu yapılar optimum performansı sağlamak için yetersiz kalabilmektedir [83,84]. Sistem için belirlenen çalışma koşulları değiştiğinde bulanık mantık denetleyicinin yapısını tekrar kurmak ve BMD parametrelerini yeni koşullara uyarlamak hem zahmetlidir hem de vakit alır. Bu tür durumlar için meta sezgisel optimizasyon algoritmaları sıklıkla tercih

edilmektedir. Meta sezgisel algoritmalar, bir uzman tarafından kapsamlı deneme yanılma çalışmasına ihtiyaç duymadan çeşitli olası BMD mimarilerini tespit etmede akıllı bir arama motoru görevi görebilir [84].

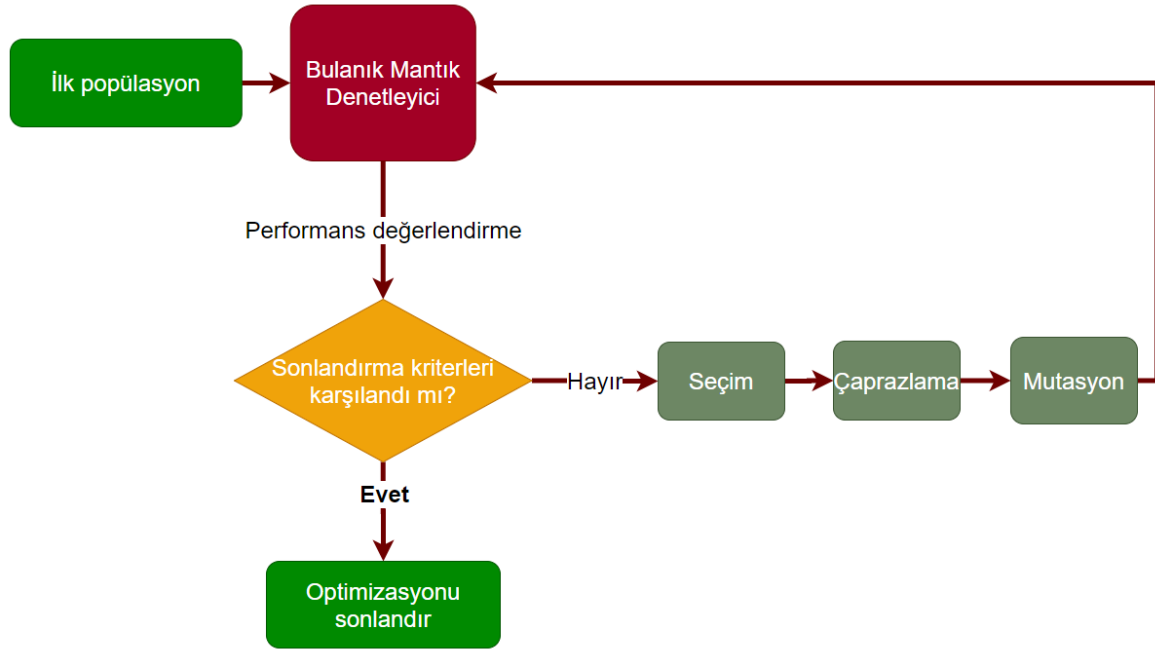
Meta sezgisel bir optimizasyon algoritması, BMD'nin daha iyi performans elde etmesini sağlamak için üyelik fonksiyonları ve/veya kural tabloları ile ilgili en iyi seçenekleri belirler. Örneğin üyelik fonksiyonlarının optimizasyonu için algoritmanın amacı, her bir üyelik fonksiyonunun değerlerini ayrı ayrı bulmaktır [85]. Şekil 3.4 bu uygulamanın bir temsilini göstermektedir. Burada tanımlanan beş üyelik fonksiyonunun konumlarının değişken olduğu varsayılmıştır. Optimizasyon algoritması, Şekil 3.4'te gösterilen her x_i (x_1 - x_{17}) için en uygun değeri bulmaya çalışır.



Şekil 3.4. Üyelik fonksiyonlarının merkez, üst ve alt değerlerinin bir optimizasyon algoritması ile ayarlanması

İlk olarak Holland tarafından önerilen genetik algoritmada optimizasyon problemi amaç fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır [86]. Bir sistemde optimize edilecek değişkenler kromozomlar halinde genetik algoritmaya işlenir [83]. Algoritmanın başlangıcında, bu kromozomların başlangıç popülasyonu oluşturulur. Bu popülasyondaki kromozomların her birinin bir uyumluluk değeri vardır. Bunlar arasından uyumluluk değeri en yüksek olanlar seçilir [86]. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi seçilen kromozomlar üzerinde çaprazlama ve mutasyon adı verilen genetik işlemler sonucunda uyumluluk değeri daha yüksek olan yeni

bir popülasyon oluşturulur [87]. Bu genetik süreçler, istenen sistem performansı elde edilene kadar iteratif olarak tekrarlanır [82,86].



Şekil 3.5. Genetik algoritma akış diyagramı

PSO algoritması, Kennedy ve Eberhart tarafından, yiyecek arayan hayvanların hareketlerinin kolektif ve sosyal davranış odaklı modellerinden oluşturulan meta sezgisel bir yöntemdir. PSO algoritmasında parçacık adı verilen etmenler vardır. Bu parçacıkların oluşturduğu kümeye sürü adı verilir. Her parçacık, komşusuyla iletişim kurabilecek şekilde tasarlanmıştır. Her parçacık çözüm uzayında belirli bir hızla hareket eder ve her iterasyonda çözümünü değerlendirir. Parçacıkların hızı hem kendisinden hem de komşularından etkilenir. Her parçacığın çözüme ne kadar yakın olduğunu anlamak için uygunluk fonksiyonu kullanılır. Bir parçacığın çözüm aradığı sırada, çözüme en yakın olduğu mevcut en iyi durumu kişisel en iyi olarak adlandırılır. Tüm sürüde tüm arama boyunca çözüme en yakın olan parçacığın mevcut durumu, küresel en iyi olarak adlandırılır [88,89].

PSO'da öncelikle çözümü arayacak sürü ve gerekli parametreler belirlenir. Uygunluk fonksiyonu yardımıyla parçacıkların çözüme yakınlığı ölçülür ve bu değerlere göre pbest (yerel en iyi) ve gbest (global en iyi) değerleri güncellenir. Daha sonra değişim hızı fonksiyonu ile her parçacığın yapacağı hareket belirlenir ve yeni durumları ayarlanır. Sonrasında yine uygunluk fonksiyonu ile çözüme ne kadar yaklaşıldığı kontrol edilir. Bu

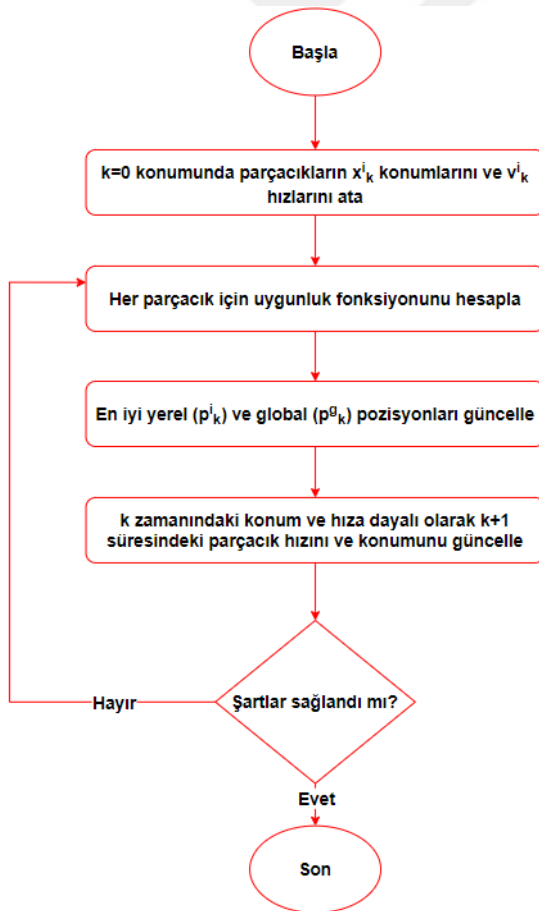
döngü istenilen şartlara ulaşıncaya kadar tekrarlanır. k anında i parçacığının konum vektörü x_k^i , hız vektörü v_k^i olsun. i parçacığının p best değeri p_k^i , g best değeri p_k^g olsun. Bu durumda her parçacığın en iyi çözümüne ve global en iyi çözüme ulaştıracak formül Eş.3.1 ve Eş.3.2'deki gibi olur:

$$v_{k+1}^i = inertia + cognitive + social \quad (3.1)$$

$$= w v_k^i + c_1 r_1 (p_k^i - x_k^i) + c_2 r_2 (p_k^g - x_k^i)$$

$$x_{k+1}^i = x_k^i + v_{k+1}^i \quad (3.2)$$

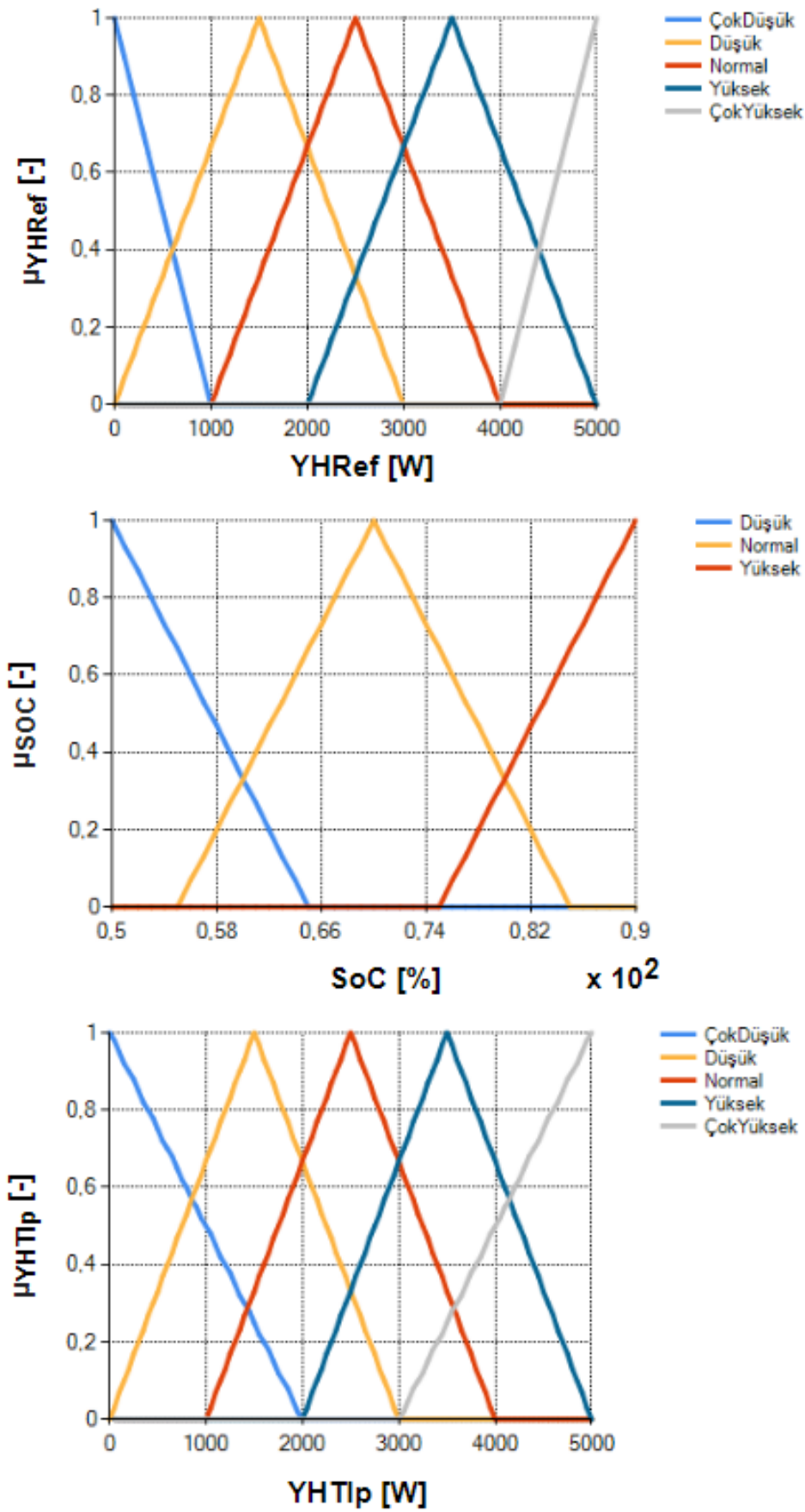
Burada x parçacığın konumu, v hızı, w önceki hızın sonraki hıza etkisini kontrol eden atalet ağırlığı, c_1 ve c_2 her parçacığın bireysel ve global davranışını kontrol eden sabit değerler, r_1 ve r_2 ise $[0,1]$ aralığındaki rasgele sayılardır. Bu formül sayesinde parçacık kendi en iyi çözümüne ve global en iyi çözüme yönelir. PSO algoritmasının akış diyagramı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



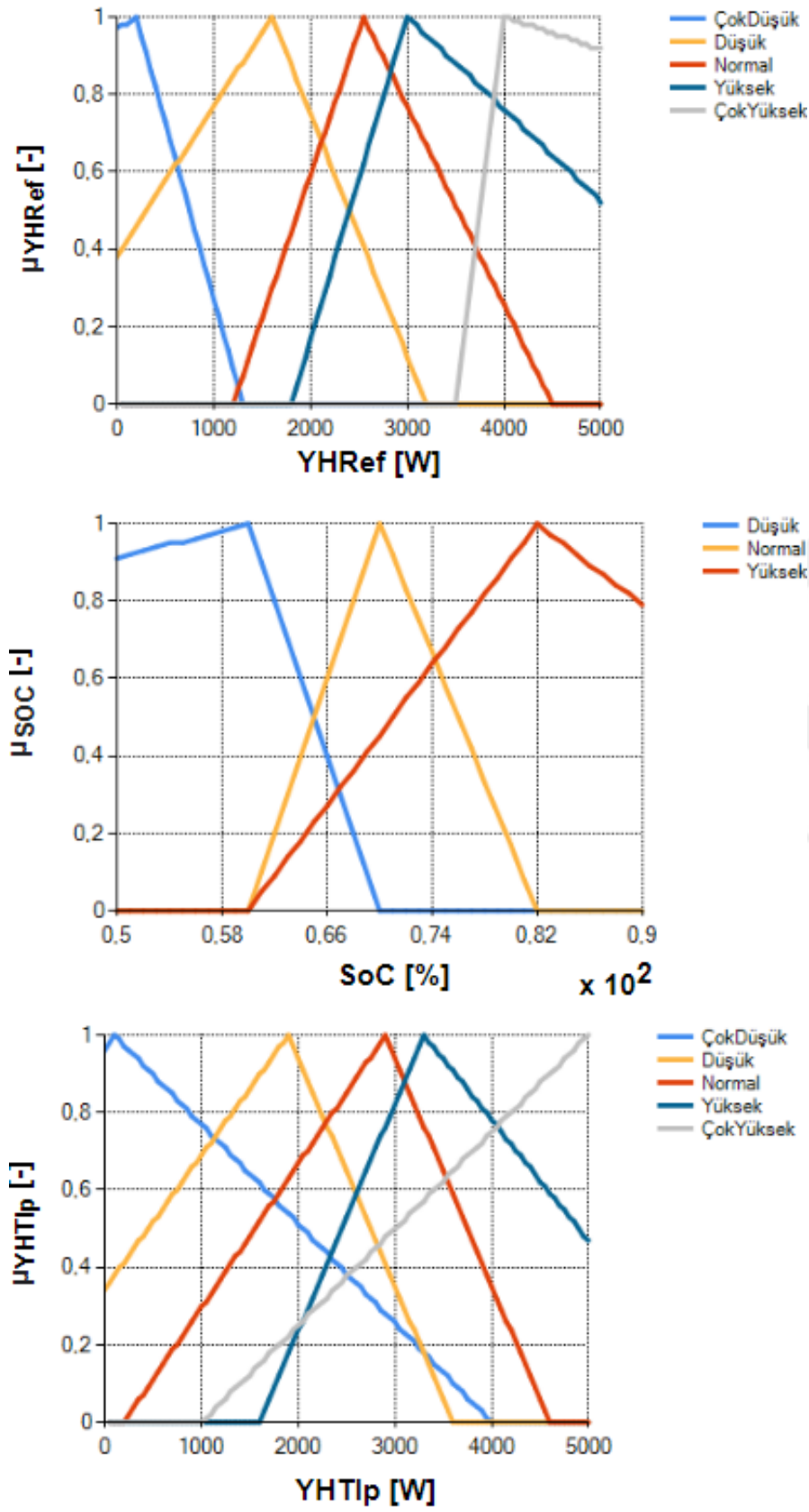
Şekil 3.6. PSO algoritması akış diyagramı

Bir BMD optimizasyonunda, üyelik fonksiyonları ve kural tabanı önce uzman bilgisine dayalı olarak tasarlanır. Daha sonra üyelik fonksiyonlarını tanımlayan parametreler optimize edilir veya kural tablosundaki kuralların ağırlıkları ayarlanır. Buradaki temel amaç, yakıt tüketimini ve emisyonları en aza indirmek [64,90] ve batarya ömrünü uzatmaktır [91]. Ancak bu parametrelerin aracın sürüş performansını olumsuz etkilememesini sağlamak gerekir. Bu amaçla elektrikli aracın sürüş performansı karakteristikleri kısıtlar olarak değerlendirilmekte ve ceza fonksiyonları kullanılmaktadır [83]. Parametrelerin ayarlanması sürecinde, simülasyon ortamında genellikle referans sürüş çevrimleri kullanılır.

Yakıt hücresi referans gücü (YHRef), ultrakapasitör şarj durumu (UKSOC) girişleri ve yakıt hücresi sisteminden talep edilen güç (YHTlp) çıkışı olan bir BMD üzerinde yapılan optimizasyon çalışması aşağıda gösterilmiştir. Şekil 3.7'de başlangıçta belirlenen üyelik fonksiyonları, Şekil 3.8'de optimizasyon sonucunda parametreleri yeniden hesaplanan üyelik fonksiyonları görülmektedir. Böyle bir optimizasyon işleminin amacı, yakıt hücresi sistemini istenilen yük talebini karşılarken en verimli olduğu bölgede çalıştırmak ve ultrakapasitör sisteminin şarj durumunu uygun bir aralıkta tutmaktır.



Şekil 3.7. BMD'nin optimizasyon öncesi üyelik fonksiyonları



Şekil 3.8. BMD'nin optimizasyon sonrası üyelik fonksiyonları

3.3. Bulanık Mantık İle Geliştirilen Kontrol Sistemleri

Bu bölümde elektrikli araçların kontrol sistemleri üzerinde bulanık mantık ile geliştirilen stratejiler üzerinde durulacaktır.

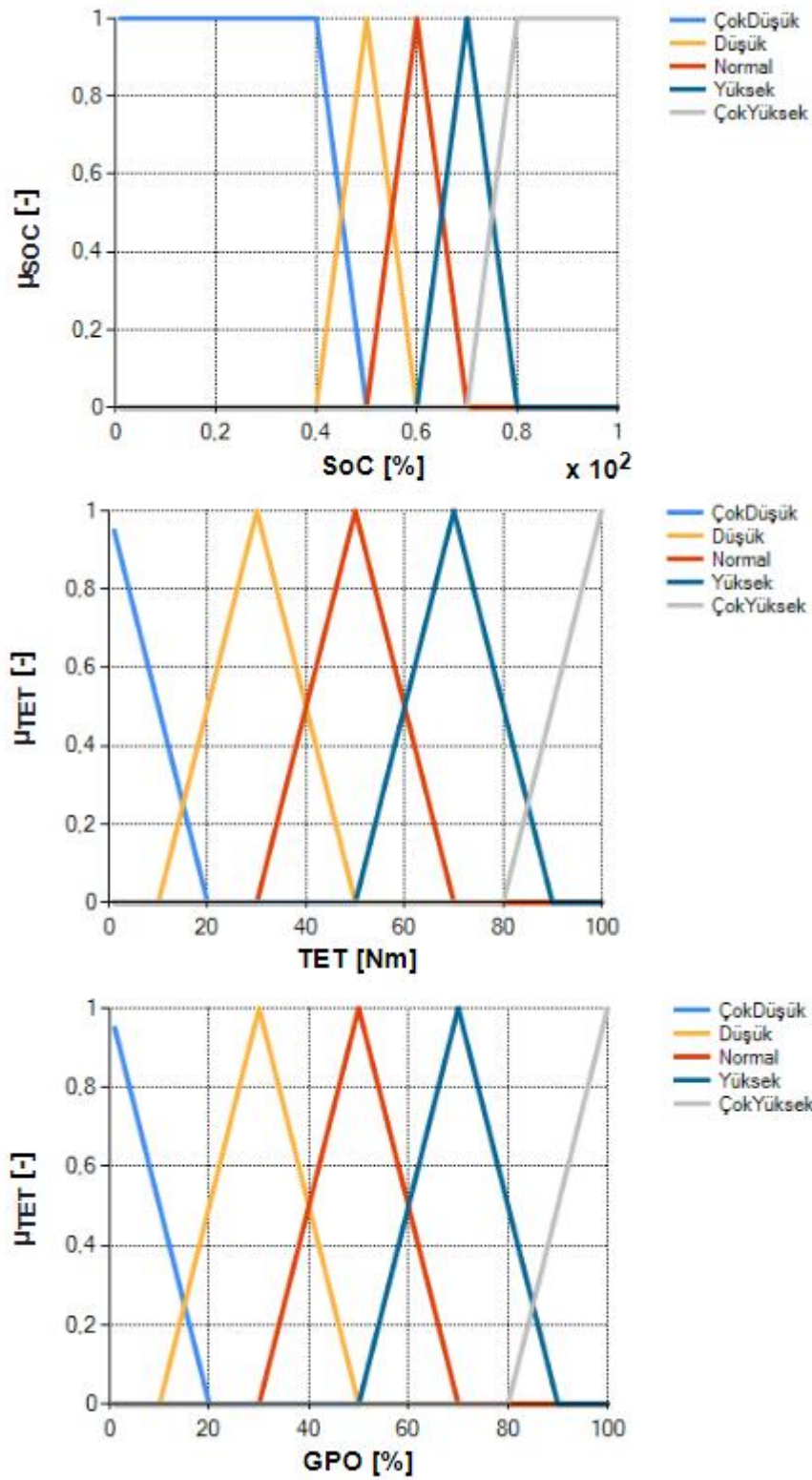
Elektrikli araçlardaki kontrol uygulamalarını incelemeden önce elektrikli araçların nasıl sınıflandırıldığını incelemek ve hangi elektrikli araç tipinde hangi kontrollerin yapıldığını belirtmekte fayda vardır. Elektrikli araçlar bataryalı elektrikli araç (BEA), hibrit elektrikli araç (HEA), fişli (Plug-in) elektrikli araç (FHEA) ve yakıt hücreli elektrikli araç (YHEA) olmak üzere dörde ayrılır [10]. Tahrik sistemi olarak BEA ve YHEA'da yalnızca elektrik motorları (EM), HEA'da ise EM ve İYM bulunur. Enerji kaynakları olarak BEA'da batarya ve ultra-kapasitör, HEA'da batarya, ultra-kapasitör ve fosil yakıtlar, YHEA'da yakıt hücresi, batarya ve ultra-kapasitör vardır [10,92,93].

Elektrikli araç kontrol sistemindeki engeller ve bunları aşmak için geliştirilen stratejiler incelendiğinde bu çalışmaların tahrik, enerji kaynağı, araç dinamiği, çevresel etki ve veri odaklı yaklaşım alanlarında yürütüldüğü görülmektedir. Tahrik açısından; aracı hareket ettiren motorların kontrolü ile ilgili bir kontrol sistemine ihtiyaç vardır. BEA ve HEA'nın sahip olduğu EM veya İYM'den beklenen faydayı elde etmek için iyi bir kontrol stratejisi geliştirilmelidir. Enerji kaynağı perspektifinden, EA'larda fosil yakıt, batarya, ultra-kapasitör ve yakıt hücresi kaynaklarının yüksek verimliliği ve rejeneratif frenlemeden elde edilen enerjinin değerlendirilmesi, iyi tasarlanmış bir kontrol stratejisine bağlıdır. Aracın frenleme, stabilite ve süspansiyon gibi güvenliğini sağlamak için araç ve yol koşulları gibi faktörleri dikkate alan denetleyiciler gereklidir. Çevresel etkiler kapsamında, sürüş koşulları, sürücü tarzı ve trafik yoğunluğu gibi farklı ve doğrusal olmayan girdilerden menzil tahmini ve batarya şarj durumu gibi çıktıları hesaplamak için kontrol sistemleri gerekir. Son olarak araç kontrol sistemleri veri odaklı yaklaşımlarla daha da geliştirilebilir ve bu konudaki çalışmalar giderek önem kazanmaktadır.

3.3.1. Tahrik sistemi

Güç iletim sisteminin karmaşıklığı ve çok sayıda doğrusal olmayan giriş, kontrol sürecini zorlaştırır. BMD'nin lineer olmayan sistemlere uygun olması, gerektiğinde ayarlanabilmesi ve uyarlanabilmesi ve bu sayede kontrol serbestliği vermesi, tahrik sistemlerinin

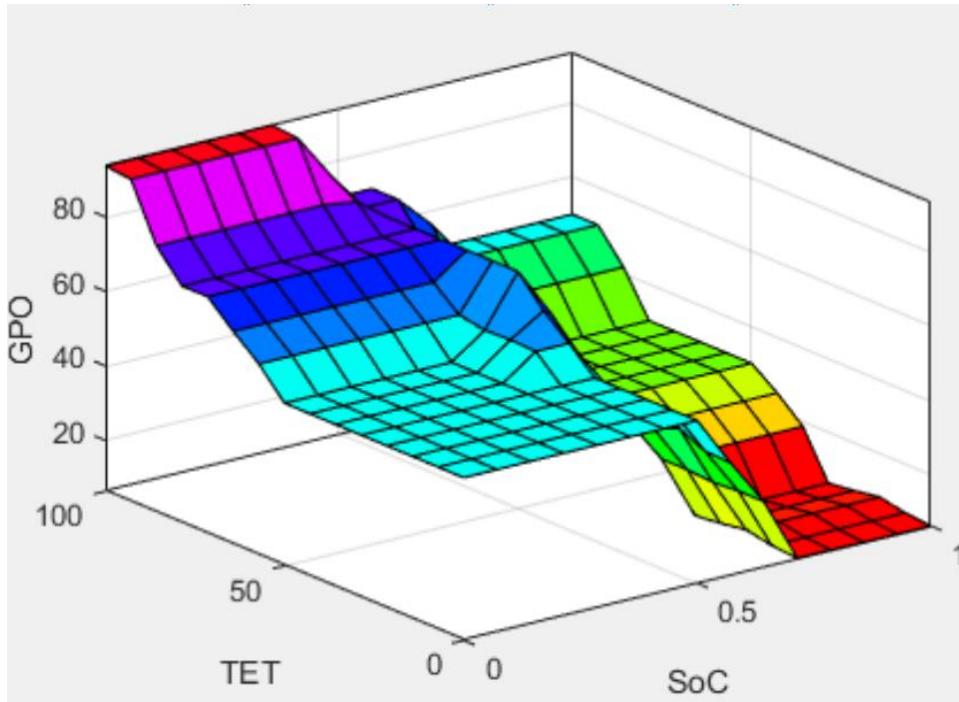
kontrolünde tercih edilmesini sağlamıştır. Bulanık sistemin tasarımı ve anlaşılması da kolaydır. Buna bir örnek olarak, yakıt ve emisyon iyileştirmesi sağlamak için tahrik sistemini BMD ile kontrol eden bir tasarım gösterilmiştir. Bu örnekte içten yanmalı motor ve elektrik motorundan oluşan bir HEA'da EM ile İYM'nin karşılayacağı gücün talep edilen güce göre paylaşılması, yakıt ve emisyon değerlerinin düşürülmesi, akünün şarj durumu dalgalanmasının azaltılması ve böylece batarya ömrünün iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Tasarlanan bu BMD'nin girdileri talep edilen tork (TET) ve akü SOC (SoC) değeridir. Çıkış, İYM ile EM arasındaki güç paylaşım oranıdır (GPO). Böyle bir sistemde kurallar basitçe şöyle tanımlanır: SoC düşükse İYM itici gücü sağlar. Talep edilen torka bağlı olarak gereğinden fazla enerji varsa, motor aküyü şarj etmek için kullanılır. SoC normal ise İYM itici gücü sağlar ve gerekli tork artarsa EM bunu destekler. SoC yüksekse, EM İYM'ye yardımcı olur. Tanımlanan BMD'nin üyelik fonksiyonları Şekil 3.9'da, kural tablosu Çizelge 3.1'de ve kural tablosuna bağlı olarak oluşturulan yüzey grafiği Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Girişleri akü şarj durumu ve talep edilen tork, çıkışı güç paylaşım oranı olan bir BMD'nin üyelik fonksiyonları

Çizelge 3.1. SoC ve talep edilen torka göre güç paylaşımı için tanımlanan bulanık kurallar. 'Çok Yüksek', gücün İYM'den sağlanacağını belirtir. 'Çok Düşük', gücün EM'den sağlanacağını belirtir

GPO	SoC				
	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok Yüksek
Çok Düşük	Normal	Normal	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Düşük	Normal	Normal	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Normal	Normal	Yüksek	Normal	Düşük	Düşük
Yüksek	Yüksek	Yüksek	Normal	Düşük	Düşük
Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Normal	Normal



Şekil 3.10. Batarya şarj durumu, talep edilen tork ve EM ile İYM arasındaki güç paylaşım oranı arasındaki ilişkiyi gösteren yüzey grafiği

Tahrik sistemi konusunda yapılan çalışmalar beş alana odaklanmaktadır. Bunlar, emisyonların azaltılması, yakıt ekonomisi, emisyonların ve yakıtın birlikte iyileştirilmesi, uygun tork tahsisi ile güç talebinin karşılanması ve uygun vites değişimi ile verimli güç paylaşımının sağlanmasıdır.

HEA'da en çok çalışılan konulardan biri nitrojen oksit (NO_x) emisyonlarının azaltılmasıdır. Lee ve Sul (1998), batarya şarjının gerekli seviyede tutulması ve sürücünün ihtiyaç duyduğu torkun sağlanması koşuluyla NO_x emisyonlarını sınırlayan bulanık mantık tabanlı bir kontrol yöntemi sunmuşlardır [94]. Bu çalışmadaki dinamo test sonuçlarına dayanarak, aynı araştırmacılar batarya şarjını dengelemek için iki bulanık denetleyiciden oluşan bir sistem önermişlerdir [95]. Birinci denetleyici, pedala basılma hızını ve bu hızdaki değişiklikten aracın hızlanması veya yavaşlaması ile sonuçlanan tork referansını belirler. İkinci denetleyici, dizel motor dönüş hızını ve araç hızını kullanarak akü şarjını dengeler. Bu sistem ile NO_x emisyonunda aynı iyileşme korunurken sürüş kabiliyeti iyileştirilmiş ve akü şarj dengesi sağlanmıştır. Bathaee, Gastaj, Emami ve Mohammadian (2005), "Supervisory Control" adlı çalışmalarında, sürücünün güç talebini sağlamayı, batarya şarj durumunu istenilen seviyede tutmayı ve diğer sürüş gereksinimlerini karşılamayı amaçladılar. Bunu sağlamak için batarya şarjı ve hedef tork girişlerinden BMD ile İYM torkunu hesapladılar [96]. Lu, Li, Xu ve Zhou (2012) bir PHEV'de İYM ve EM arasındaki tork dağılımı için BMD tekniğini uyguladı. Gelişmiş Araç Simülatörü (ADVISOR) üzerinde yaptıkları simülasyonda, farklı sürüş ve yol koşulları için emisyonlarda önemli bir azalma ve yakıt ekonomisinde iyileşme sağladılar [97]. Chellaiah, Balaji ve Mukuntharaj (2012) şarj sistemini bulanık mantıkla kontrol ederek emisyonları %27 oranında azalttıklarını bildirmişlerdir [98]. Johanyák, Ailer ve Göcs (2014) seri hibrit aracın güç yönetimini bulanık mantıkla gerçekleştirerek zararlı emisyonları engellemiştir [99].

Tüm araçlarda olduğu gibi elektrikli araçların da vazgeçilmez hedeflerinden biri yakıt ekonomisidir. Bunu yaparken sürüş konforundan ödün vermemek gerekir. Ancak kontrol sistemlerinin karmaşıklığı nedeniyle kesin matematiksel modellere veya sabit kurallara dayalı yaklaşımlar her zaman istenen sonucu vermeyebilir [100]. Bulanık mantık, esnek ve uyarlanabilir yapısı nedeniyle enerji yönetim sisteminde araştırmacılar tarafından oldukça tercih edilmektedir. Baumann, Washington, Glenn ve Rizzoni (2000) yük dengeleme metodolojisi ile İYM'yi en yüksek verimliliğe veya optimum yakıt oranına getirmek için kapsamlı bir bulanık kontrol sistemi tasarladı [22]. Sabri, Danapalasingam ve Rahmat (2018)

BMD ile aracın güç dağıtımını HEA içinde yapmış ve %20 yakıt tasarrufu sağlamıştır [100]. Ming, Ying, Liang, Yao ve Zhou (2017) FHEA'da enerji yönetimi stratejisini bulanık mantıkla belirlemişler ve kural tabanlı stratejiye göre %6 yakıt tasarrufu elde etmişlerdir [101]. Wang, Huang, López, Xu ve Dong (2019) paralel bir HEA için Pontryagin'in minimum ilkesini ve BMD'yi kullanmış ve yakıt tüketiminde %6'ya varan iyileşme ile daha istikrarlı bir şarj sürdürülebilirliği elde etmiştir [5]. Tian, Wang, Lu, Huang ve Tian (2018) fişli elektrikli bir otobüsün çevrimiçi kontrolü için SOC referans eğrisine dayalı uyarlanabilir bir BMD önermiştir. SOC referans eğrisini aldıktan sonra SOC referans eğrisinin SOC ve araç hızı sapmasına göre trendini takip ederek motor çıkış gücü derecesini belirlemişler ve uyguladıkları strateji ile %4,61-%13,49 oranında yakıt tasarrufu elde etmişlerdir. [102]. Suhail, Akhtar, Kirmani ve Jameel (2021) bir FHEA'nın SOC profilini iyileştirmek için YSA ve BMD'yi kullanmış, motor hızına ve akü SOC'sine bağlı olarak mevcut torkun yüzde kaçının aküyü şarj etmek için kullanılacağını gerçek zamanlı ve otomatik olarak ayarlamışlardır. Simülasyon sonuçları, uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ile geliştirdikleri sistemin yakıt bütçesini iyileştirdiğini göstermiştir [2]. Ma, Wang, Liu, Yu ve Wei (2019) hibrit elektrikli araçlarda mantıksal eşik kontrol stratejisi yerine BMD'yi seçerek yakıt tüketimini ve SOC dalgalanmasını azaltmıştır [103]. Mahyiddin, Mohamed ve Mustaffa (2016) seri bir HEA'daki güç akışını kontrol etmek için farklı üyelik fonksiyonları türleri ile testler gerçekleştirmiş ve üçgen üyelik fonksiyonu ile yakıt tüketiminde biraz daha iyi sonuçlar elde etmiştir [104]. Martinez, Poveda ve Montenegro (2017) lityum iyon bataryalara odaklanmış ve batarya performansını ve yakıt verimliliğini artırmak için BMD'yi kullanmıştır. Üç farklı ticari araç için gerçekleştirdikleri simülasyonda önerdikleri strateji ile ortalama %3 oranında iyileşme sağlamışlardır [105]. Singh, Bansal ve Singh (2020) BMD ile, tork talebi ve akü şarj durumunun yanı sıra rejeneratif frenlemeyi dikkate alan ve böylece yakıt ekonomisini iyileştiren bir enerji yönetimi stratejisi geliştirmiştir [106].

Yakıt verimliliği ve emisyonlar çelişen hedeflerdir. Bu durumda, optimum çözüm için bu hedefler arasında bir uzlaşma gereklidir. Optimum yakıt verimliliği ve emisyonlar için parametreler ve ağırlıklar optimize edilmelidir [107]. En iyi çözüm için, çelişen hedeflerin ağırlıklı toplam yaklaşım optimizasyonu kullanılır. Farklı sürüş koşulları için farklı ağırlıklar ayarlanmalıdır. Örneğin, sıkı çevre yasaları göz önüne alındığında yüksek emisyonlu çalışma noktalarından kaçınılmalıdır [108]. Uyarlanabilir bulanık denetleyicideki çelişen hedefler yakıt verimi ve ekonomisi ile zararlı emisyonlar olarak bilinen NO_x, CO ve HC emisyonlarıdır. Bu hedeflerde bir uzlaşma için, en iyi yakıt ve emisyon değerlerini belirlemek

amacıyla İYM veri haritası kullanılabilir. Uyarlanabilir ağırlık değerleri, sürüş durumuna göre her parametreye uygulanır. Ağırlıklar her bir İYM'nin benzersiz veri haritasına bağlı olarak belirlenmelidir. Bu kontrol tekniği, ilgili ağırlıkları ayarlayarak hedeflerin herhangi birini kontrol edebilir. Bu strateji ile yakıt verimliliğinde sadece küçük bir kayıpla araç emisyonlarında önemli bir azalma sağlanmıştır [19]. Won ve Langari'nin (1999) çalışmasında, hızlanma veya yavaşlama isteği, araç hızı ve akü şarj durumundan aracın torkunda gerekli değişikliği hesaplayan bulanık bir kontrol sistemi tasarlanmıştır, bu sayede yakıt ekonomisi ve emisyonların iyileştirildiği kaydedilmiştir [109]. Rajagopalan, Washington, Rizzoni ve Guezennec (2003) yakıt ekonomisinin yanı sıra NO_x, CO ve HC emisyonlarını azaltmak için yaptıkları çalışmada, her bir parametrenin ağırlık değerine bağlı olarak istenen parametreyi kararlı bir şekilde kontrol edebilmiştir. Simülasyonlarına göre, küçük bir yakıt feragati karşılığında emisyonlarda önemli bir iyileşme sağlanabilmiştir [108].

Langari ve Won (2005), "sürüş durumu farkındalığı" konulu çalışmalarında kapsamlı bir bulanık sistem tasarlamış, dokuz farklı yol tipi için belirledikleri farklı kurallarla bir uzman sistem geliştirmişlerdir. Ortalama hız, ortalama hızlanma, motor dönüş hızı, istenen tork ve batarya SOC gibi parametreleri değerlendirerek yük dengeleme stratejisine göre bir enerji yönetim sistemi tasarlamış ve yakıt ve emisyonlarda azalma kaydetmişlerdir [110]. Zhang ve Liu (2012), FHEA'da tork dağılımı ve yük sürekliliği için bulanık, çok amaçlı bir kontrol stratejisi önermiş, batarya SOC'sini istenen seviyede tutmanın yanı sıra yakıt ve emisyonları iyileştirmişlerdir [111]. Lu, Li, Xu ve Zhou (2012) bir FHEA'da EM ile İYM arasındaki tork dağılımını yönetmek için bulanık mantık kontrolüne dayalı bir enerji yönetimi yaklaşımı önermiş ve simülasyon sonuçlarında yakıt ve emisyonlarda azalma görülmüştür [97]. Johanyák (2015), bir dizi hibrit elektrikli aracın güç kontrolü için BMD'yi kullanmış ve batarya SOC'sini istenen seviyede tutarak yakıt ve emisyonları azaltmayı başarmıştır [112]. Gujarati, Shah ve Lokhande (2017) geleneksel bir araçtan dönüştürülen bir FHEA için BMD ile bir enerji yönetimi stratejisi önermiş, yakıt tüketiminde ve emisyonlarda azalma sağlamayı başarmış ancak aynı anda ikisini birden azaltmanın mümkün olmadığını da vurgulamışlardır [113].

Yukarıda verilen örnekler bulanık mantığın yakıt tüketimini azaltmada ve zararlı emisyon değerlerini düşürmede gayet başarılı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bulanık denetleyicinin performansı, üyelik fonksiyonlarının, bulanık kuralların ve sistemde yer alan

diğer faktörlerin optimal tanımına bağlıdır. En iyi optimizasyon gerçek zamanlı testler sonucunda yapılabilir. Yapılan optimizasyon sonucunda üyelik fonksiyonlarının türleri, alanları ve birbirleri ile ne kadar kesiştikleri en iyi şekilde belirlenebilmektedir. Örnek olarak Wang ve Yang (2006a, 2006b), BMD ile tasarladıkları sistemlerini GA ile optimize ederek paralel bir aracın performansını iyileştirdiklerini bildirmişlerdir [114,115]. Ancak bu sonuçlar sadece simülasyondan elde edilmekte ve fiziksel test sonuçları verilmemektedir. Yang, Xu ve Zhu (2010) İYM ve EM'li bir araç için GA ile optimize ettikleri BMD ile sadece BMD'ye kıyasla daha iyi yakıt ve emisyon değerleri elde etmişlerdir [64]. Benzer şekilde, Dawei, Yu, Meilan ve Risha (2017) bir FHEA'da yakıtı ve emisyonları azaltmak ve bataryanın daha dengeli şarj ve deşarjını sağlamak için GA ile optimize edilmiş BMD kullanmışlardır [116]. Yakıt ekonomisi ve emisyonların azaltılması konusunda BMD kullanılarak yapılan çalışmalar Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Yakıt ekonomisi sağlamak ve emisyonları azaltmak için BMD kullanan çalışmalar

Araç Tipi	Denetleyici	Girişler	Çıktılar	Başarı	Yazar
Paralel HEA	BMD	1. Gaz pedalının hızı 2. Asenkron motorun hızı	1. Komut verilen torkun nominal torka oranının normalize edilmiş değeri.	Akü şarj dengesi sağlanmış, sürüş konforu artırılmış ve dizel motorun NO _x değeri %20 oranında düşürülmüştür.	Lee ve Sul (1998)
Paralel HEA	BMD	1. Gaz pedalının hızı 2. Pedala basmadaki değişiklik 1. Motor dönüş hızı 2. Araç hızı	1. Talep edilen tork 1. Gerçek tork	Akü şarj dengesi sağlanmış, sürüş konforu artırılmış ve dizel motorun NO _x değeri %20 oranında düşürülmüştür.	Koo ve diğerleri (1998)
Paralel HEA	BMD	1. Batarya SOC 2. İstenen İYM torku	1. Gaz kelebeği komutunun değişimi	Yakıt ekonomisi iyileştirildi ve emisyonlar azaltıldı.	Bathae ve diğerleri (2005)
Paralel HEA	BMD (Sugeno-Takagi)	1. Amaçlanan tork ile aracın tork gereksinimleri arasındaki fark. 2. Batarya SOC	1. İYM ve EM arasındaki tork katsayısı	Yakıt ve emisyonları iyileştirmişlerdir.	Lu ve diğerleri (2012)
Yakıtsız elektrikli araç (alternatörlü iki türbin, iki akü)	BMD	1. Şarj durumu 2. Pedalın konumu	1. Motor torku	Emisyon %27 oranında düşürülmüştür.	Chellaswamy ve diğerleri (2012)
Seri HEA	BMD	1. Gaz pedal pozisyonu 2. Fren pedalı pozisyonu 1. Batarya SOC	1.EM'ye gönderilen sinyal 1.İYM'ye gönderilen sinyal 2.Jeneratöre gönderilen sinyal	Şarj sürdürülebilirliği sağlanmış, emisyonlar azaltılmıştır.	Johanyák ve diğerleri (2014)
Paralel HEA	BMD	1. Hızlanma veya frenleme oranı 2. Hedef tork değeri 3. Batarya SOC	1. Mevcut tork değeri 2. Pedala ne kadar basılacağı	Yakıt verimliliğini 40'tan 55,7 mph'ye ve ortalama verimliliği %23'ten %35,4'e çıkarmışlardır.	Baumann ve diğerleri (2000)

Çizelge 3.2. (Devam) Yakıt ekonomisi sağlamak ve emisyonları azaltmak için BMD kullanan çalışmalar

Paralel HEA	BMD (Sugeno-Takagi)	1. Aracın mevcut hızı 2. İYM hız talebi 3. İYM'nin mevcut hızı 4. Mevcut SOC 5. Toplam yolculuk mesafesi	1. İYM, EM, Jeneratör çalışma sinyalleri	%20 yakıt tasarrufu sağlamışlardır.	Sabri ve diğerleri (2018)
Paralel fişli HEA	BMD	1. İstenen tork 2. Batarya SOC	1. İYM torku	%6 yakıt tasarrufu sağlamışlardır.	Ming ve diğerleri (2017)
Paralel HEA	BMD	1. SOC sapması 2. Motor dönüş hızı	1. Eşdeğer faktördeki değişiklik	Yakıt tüketiminde %6'ya varan iyileşme ve daha istikrarlı şarj sürdürülebilirliği sağlanmıştır.	Wang ve diğerleri (2019)
Paralel fişli HEA	Adaptif BMD	1. Araç hızı 2. SOC değişimi	1. Motor çıkış gücü derecesi	%4,61 ile %13,49 arasında yakıt tasarrufu sağlamışlardır.	Tian (2018)
Seri-Paralel HEA	Adaptif BMD	1. SOC 2. Motor hızı	1. Batarya gücü	ANFIS ile geliştirdikleri sistem yakıt bütçesini iyileştirmiştir.	Suhail (2021)
Paralel HEA	BMD	1. Gerekli tork 2. Batarya SOC	1. İYM torku	NEDC ve WLTC sürüş çevrimleri üzerinde yaptıkları testlere göre, mantıksal eşik kontrol stratejisine kıyasla yakıt tüketimini sırasıyla %13,3 ve %4,5 oranında düşürmüşler, bataryanın SOC dalgalanmasını azaltmışlardır.	Ma ve diğerleri (2019)
Seri HEA	BMD	1. SOC 2. Gerekli güç	1. Batarya gücü	Üçgen üyelik fonksiyonu ile %10 yakıt tüketimi konusunda daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.	Mahyiddin ve diğerleri (2016)
Belirtilmemiş	BMD	1. SOC 2. Enerji talebi	1. Enerji tasarrufu oranı	Üç farklı ticari modelde ortalama %3 enerji tasarrufu sağlamışlardır.	Martinez ve diğerleri (2017)
Seri-Paralel HEA	BMD	1. Tork talebi 2. SOC 3. Frenlemeler	1. İYM, EM ve jeneratör açma/kapama koşulları	İki farklı sürüş döngüsü için yakıt ekonomisini iyileştirmişlerdir.	Singh ve diğerleri (2020)
Paralel HEA	BMD	1. Hızlanma veya yavaşlama isteği 2. Araç hızı 3. Batarya SOC	1. Tork değişimi	Yakıt ekonomisi geliştirilmiş ve emisyonlar azaltılmıştır.	Won ve Langari (1999)

Çizelge 3.2. (Devam) Yakıt ekonomisi sağlamak ve emisyonları azaltmak için BMD kullanan çalışmalar

Paralel HEA	Adaptif BMD	1. Gerekli tork 2. Batarya SOC 1. Hız değişikliği 2. Yükseklik değişikliği	1. İYM tork değeri 1. Trafik durumu	Emisyon düşürülmüş ve yakıt tasarrufu sağlanmıştır.	Rajagopalan ve diğerleri (2003)
Paralel HEA	BMD	1. Ortalama hız 2. Hızlanma 3. Sürücünün hızlanma talebi 4. Motor dönüş hızı	1. Tork değeri	Yakıt ekonomisi ve genel enerji kullanımı geliştirilmiştir.	Langari ve diğerleri (2005)
Paralel HEA	BMD	1. Benzinin yanma değeri 2. Mevcut araç hızı	1. Yakıt 2. CO 3. HC 4. NO _x 5. PM	Yakıt tüketimi düşürülmüş, zararlı emisyonlar azaltılmış, akü şarj durumu istenilen seviyede kararlı bir şekilde tutulmuştur.	Zhang ve Liu (2012)
Paralel HEA	BMD	1. Motor hedefinin ihtiyaç duyduğu tork ile talep edilen tork arasındaki tutarsızlık. 2. Batarya SOC	1. Tork kontrol katsayısı	Yakıt ekonomisi iyileştirilmiş ve emisyonlar azaltılmıştır.	Lu ve diğerleri (2012)
Seri HEA	BMD	1. Batarya enerji seviyesinde değişiklik 2. Ön kontrol sinyali	1. İYM katsayısı	Yakıt tüketimi ve emisyonlar azaltılmıştır.	Johanyák (2015)
Paralel HEA	BMD	1. Hız 2. Tork 3. SOC	1. Normalleştirilmiş İYM torku	Yakıt tüketimi ve emisyonlar azaltılmıştır.	Gujarathi ve diğerleri (2017)
Paralel HEA	BMD +GA	1. Batarya SOC 2. İstenen araç gücü	1. İstenen batarya gücü	Araç performansı artırılarak yakıt ekonomisi iyileştirilmiştir.	Wang ve Yang (2006a, 2006b)
Paralel HEA	BMD +GA	1. İstenen tork 2. Batarya SOC	1. Tork değeri	Yakıt tüketimi ve emisyonlar azaltılmıştır.	Yang ve diğerleri (2010)
Paralel HEA	BMD +GA	1. Toplam talep torkunun motor hedef torkuna oranı 2. Batarya SOC	1. Motor ve motor arasındaki tork dağılım katsayısı.	Aracın genel performansından ödün vermeden yakıt tüketimi ve emisyonlar azaltılmıştır.	Dawei ve diğerleri (2017)

Birden fazla tahrik mekanizmasına sahip bir elektrikli araçta, elektrik motoruna sağlanacak güç, aracın talep ettiği güç ile içten yanmalı motorun ürettiği güç arasındaki farka eşittir. Bu alanda geliştirilen kontrol stratejileri, İYM ve EM arasında güç paylaşımını gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. BMD'nin bu konuda çok iyi sonuçlar verdiği şu çalışmalarda gösterilmiştir: Cerruto, Consoli, Raciti ve Testa (1994a) istenilen çekiş gücü, akü SOC girişleri, motordan üretilen güç ve gerçek güç arasındaki farkı değerlendirerek BMD ile jeneratöre atanacak gücü hesaplamışlardır [117]. Yine Cerruto ve diğerleri (1994b) başka bir çalışmada batarya SOC ile şarj değişimine ve tüketilen ve üretilen güç farkına bakarak elektrik grubundaki güç değişimini bulanık mantıkla hesaplayarak enerji kullanımını azaltmışlardır [118]. Brahma, Glenn ve Guezennec (1999) geliştirdikleri BMD sayesinde gaz kelebeği ve fren kombinasyonunun girdilerinden gaz kelebeği komutundaki, elektrik motoru torkundaki ve dişli oranındaki değişimi, tahmini SOC'yi, içten yanmalı motorun tork değişimini ve dişli oranındaki optimum değişimi hesaplamıştır [119]. Bathaee, Gastaj, Emami ve Mohammadian (2005), sürücünün güç talebini karşılamayı, akü şarj durumunu istenilen seviyede tutmayı ve diğer sürüş gereksinimlerini karşılamayı amaçlamışlar, batarya SOC ve hedef tork girişlerinden BMD ile İYM torkunu hesaplamışlardır [96]. Liu, Wu ve Duan (2008) BMD'yi bir seri hibrit araca uygulamışlardır. Batarya SOC'si, SOC ile beklenen değeri arasındaki tutarsızlık ve talep edilen güç ile gerçek güç arasındaki fark için bir k güç ayrımı faktörü hesaplanır. Bu yöntemle motor, yüksek verimli bölgede çalışır ve güç bölüşümü kontrolü ile her zaman yüksek miktarda enerji korunur [120]. Tork ayırma ile ilgili diğer iki çalışmada, batarya şarjının optimizasyonu ve istenen tork girişleri olan İYM ve EM arasındaki tork paylaşımı BMD ile yapılmıştır [121,122]. Cash ve Olatunbosun (2017), bir elektrikli araç motorunun hızını, akımını ve akısını BMD ile kontrol ederek PID emsallerine kıyasla aşımarda azalma ve daha hızlı yanıt süresi elde etmiştir [123].

Yukarıdaki çalışmalara bakıldığında, geliştirilen kontrol stratejilerinin temel amacının, İYM'yi verimli bir bölgede çalıştırmak, İYM ile EM arasında gücü paylaşmak ve batarya şarj seviyesini istenilen seviyede tutmak olduğu görülmektedir. Bunları gerçekleştirmek için tasarlanan bulanık sistemlerin yapısı ve parametreleri, tasarımcının problem hakkındaki bilgi ve uzmanlığına dayalı olarak belirlenir. Bununla birlikte, HEA'ların karmaşık doğası nedeniyle, mühendislik bilgisi ve sezgisine dayalı olarak tasarlanan bulanık kontrol stratejisi, her zaman tatmin edici genel sistem verimliliği sağlamayabilir [83]. Çok sayıda üyelik fonksiyonu parametresi veya bulanık kuralın optimize edilmesi çok zaman alıcı ve sıkıcıdır. Bu zorlukların üstesinden gelmek ve hızlı çözümler üretmek için GA ve PSO gibi

optimizasyon algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır. Poursamad ve Montazeri (2008), yakıt tüketimini ve emisyonları azaltırken paralel bir elektrikli otomobilin sürüş performansını artırmak için BMD'yi ayarlamak üzere bir GA önermiştir. Bu çalışmada, İYM tork değerini hesaplamak için belirlenen girdilerin (sürücünün tork komutu, akü şarj durumu, İYM hızı ve parametreleri) üyelik fonksiyonlarının ince ayarı GA ile yapılmıştır [83]. Zhang, Tao ve Zhou (2018) UK SOC bilgisinden aracın talep ettiği güç ile yakıt hücresinden talep edilen gücü hesaplarken kullandıkları bulanık sistemi GA ile optimize etmişleridir [124]. Başka bir optimizasyon tekniğine örnek olarak, Zhou, Zhang ve Wang (2011) paralel bir HEA için geliştirdikleri BMD sayesinde tork talebinden ve akü SOC girişinden İYM torkunu hesaplamıştır. BMD'nin doğruluğunu, uyarlanabilirliğini ve sağlamlığını artırmak için PSO ile bir sıkıştırılabilirlik faktörü kullanmışlardır [90]. Daha kararlı bir kontrol sağlamak için önerilen yöntemlerden biri de Tip-2 bulanık mantık kullanmaktır. Al-Jazaeri, Samaranayake, Longo ve Auger (2014) Tip -2 üyelik fonksiyonlarının orta, üst ve alt değerlerini PSO ile ayarlayarak kontrol hedefi olarak belirledikleri hızın integral mutlak hata değerini minimize edebilmişlerdir. Ancak PSO ile optimizasyonu sadece iki sürüş çevrimi için yapmışlardır [69].

Tork paylaşımı ve güç dağıtımı açısından BMD, geleneksel PI veya PID denetleyicilerini optimize etmek için de kullanılır. PI veya PID gibi yöntemler bazen aşırı motor devri ve güç artışlarına veya tepki ve oturma sürelerinin bozulmasına neden olabilir. Motor gücü ve hız davranışı, güç-bölünmüş bir HEA'da daha iyi kontrol edilebilir ve daha iyi performans için bulanık sistemden yararlanılabilir. Çünkü BMD, hibrit sistemin güç bölümünün doğrusal olmamasına karşı dayanıklıdır. Syed, Kuang ve Smith (2009) HEA'da motor gücünü ve hızını yönetmek için bir BMD tasarlamıştır. Simülasyon ortamında ve fiziksel olarak yaptıkları karşılaştırmalar sonucunda motor devri ve gücündeki aşımaları önleyerek, yükselme ve oturma sürelerini iyileştirerek daha düzgün bir motor devri çıkışı sağladıklarını bildirmişlerdir [125]. Benzer şekilde, Rohan, Asghar ve Kim (2018) sıradan bir PID denetleyicide optimum kazancı seçmenin zorluklarına dikkat çekmiş ve PID denetleyiciyi bulanık mantıkla optimize etmiştir. Simülasyon sonuçları, önerilen bulanık kontrol sisteminin geçici salınımları ortadan kaldırdığını ve daha iyi bir sistem tepkisi sağladığını göstermiştir [126]. Torku paylaşmak ve güç talebini karşılamak için BMD kullanan çalışmalar Çizelge 3.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Torku paylaşmak ve güç talebini karşılamak için BMD kullanan çalışmalar

Araç Tipi	Denetleyici	Girişler	Çıktılar	Başarı	Yazar
Seri HEA	BMD	1. İstenen çekiş gücünde hata 2. Motorun ürettiği güç ile talep edilen güç arasındaki fark. 3. Batarya SOC'si	1. Jeneratöre atanacak güç	Simülasyon sonuçlarına göre, toplam enerji tüketiminde ve batarya şarjında bir iyileşme kaydetmişlerdir.	Cerruto ve diğerleri (1994a)
Seri HEA	BMD	1. Batarya şarjı 2. Batarya şarjındaki değişiklik 3. Harcanan ile üretilen güç arasındaki fark	1. Elektrik grubunda güç değişimi	Enerji kullanımı azaltıldı ve batarya daha verimli kullanılmıştır.	Cerruto ve diğerleri (1994b)
Paralel HEA	BMD	1. Gaz kelebeği ve fren kombinasyonu 2. Tahmini akü şarj durumu 3. İçten yanmalı motorun tork değişimi 4. Dişli oranında optimum değişim	1. Kısmi komutu 2. Elektrik motoru torku 3. Dişli oranı değişikliği	Simülasyon sonuçlarına göre enerji kullanımında %25 oranında iyileşme sağlanmıştır.	Brahma ve diğerleri (1999)
Paralel HEA	BMD	1. Batarya SOC 2. İstenen İYM torku	1. Kısmi komutunun değiştirilmesi	Yakıt ekonomisi iyileştirilmiş ve emisyonlar azaltılmıştır.	Bathae ve diğerleri (2005)
Seri HEA	BMD	1. Batarya SOC'si 2. Batarya SOC'sindeki değişim 3. Araçtan talep edilen ile gerçek güç arasındaki fark	1. Güç üretmek için k faktörü	Simülasyon sonuçlarına göre tasarlanan sistemin SOC'yi yönetebildiği görülmüştür.	Liu ve diğerleri (2008)
Paralel HEA	BMD	1. Akü şarjı 2. İstenen tork (sürücünün amacı)	1. EM ve İYM arasındaki güç ayrımı faktörü	Simülasyon sonuçlarına göre yakıt tasarrufu sağlanmış ve emisyonlar azaltılmıştır.	Qun Zeng ve Huang (2007)
Paralel HEA	BMD	1. İYM parametrelerinden optimum tork 2. Batarya SOC	1. İYM ve EM arasındaki çıkış torkunun oranı	Yakıt ekonomisi iyileştirilmiş ve emisyonlar azaltılmıştır.	Khoucha ve diğerleri (2010)
Çeşitli çekiş motoru topolojilerine sahip HEA'lar	BMD	1. 1. Hız hatası 2. Hata değişimi 1. Akı hatası 2. Hata değişimi	1. Pedal hareketi 1. i _s menzili	Aşımelerde azalma ve hızlı tepki süresi elde etmişlerdir.	Cash ve Olatunbosun (2017)

Çizelge 3.3. (Devam) Torku paylaşmak ve güç talebini karşılamak için BMD kullanan çalışmalar

Paralel HEA	BMD +GA	1. Sürücünün tork komutu 2. Batarya SOC 3. İYM hızı ve parametrelerinden hesaplanan İYM optimum torku (Burada ince ayar GA ile yapılır.)	1. İYM tork değeri	Yakıt ekonomisi iyileştirilmiş ve emisyonlar istenilen limitlerin altına düşürülmüştür.	Poursamad ve Montazeri (2008)
YH/UK HEA	Adaptif BMD +GA	1. Talep edilen güç 2. UK SOC	1. Yakıt hücresinden talep edilen güç oranı	Akım dalgalanmaları azaltılmış, hidrojen ve yakıt tüketimi düşürülmüştür.	Zhang ve diğerleri (2018a)
Paralel HEA	BMD +PSO	1. Talep edilen toplam tork 2. Batarya SOC	1. İYM torku	PSO ile, geleneksel bulanık mantığa kıyasla yakıt ve emisyonlarda önemli bir azalma kaydetmişlerdir.	Zhou ve diğerleri (2011)
Otonom elektrikli araç	Tip 2 BMD +PSO	1. Referans hız ile gerçek hız arasındaki fark 2. Bu farktaki değişiklik	1. Akım denetleyicisi tork referansı	Performanstan ödün vermeden sürüş döngüsüne daha düşük tepe gücü ve daha az toplam enerji sağlamışlardır.	Al-Jazaeri ve diğerleri (2014)
Güç bölünmüş HEA	BMD +PI	1. Talep edilen güç ile gerçek batarya gücü arasındaki fark. 2. Bu farkın değişim oranı 3. Gerçek ve hedef motor hızları arasındaki fark.	1. PI denetleyicisinin katsayı parametresi	Bulanık mantık denetleyicisi, PI denetleyicisinden daha iyi motor hızı çıkışı sağlamıştır. Bu da sürüş konforunu artırmıştır.	Syed ve diğerleri (2009b)
Dahili Sabit Mıknatıslı Senkron Motorlu EA	BMD +PID	1. Hız hatası 2. Hata değişimi	1. K_p , 2. K_d , 3. α	PID parametrelerini BMD ile optimize ettiklerinde daha iyi performans elde etmişlerdir.	Rohan ve diğerleri (2018)

Son zamanlarda, sürüş menziline ve batarya ömrünü uzatmak ve sistemin kütlesini azaltarak yakıt ekonomisi sağlamak için bazı elektrikli araç türlerinde vites değiştirme mekanizmasının iyileştirilmesi ve güç dağılımının optimize edilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Montazeri ve Mahmoodi (2015), güç bölünmüş hibrit elektrikli aracın geri besleme-ileri beslemeli birleşik mimarisi için bir BMD tasarlamıştır. Bu BMD ile gerçek ve modal (NEDC sürüş çevrimi) sürüş için sırasıyla %21 ve %6 yakıt ekonomisi sağlamıştır [127]. Silva, Eckert, F. Silva, L. Silva ve Dedini (2021) bir FHEA'da enerji ve emisyonları iyileştirirken güç dağıtımına ve vites değiştirmeye odaklanmıştır. ADVISOR üzerinde yaptıkları simülasyonlarda talep edilen tork ve motor çalışma parametrelerini girdi olarak alan BMD'ler ile akü ömrünü maksimize etmiş ve emisyon değerlerinde önemli düşüşler sağlamışlardır [128]. Miranda, Silva, Lourenço, Eckert ve L. Silva (2022) dört tekerlekten bağımsız tahrikli elektrikli bir aracın enerji verimliliğini ve dinamik performansını iyileştirmek için elektrik motorları arasındaki güç dağıtımını kontrol etmek istemiştir. Bunun için güç ayırma kontrolü ve elektronik diferansiyel kontrolden oluşan bir bulanık kontrol stratejisi önermişlerdir. Önerilen BMD'yi PSO ile optimize ederek en iyi takas çözümüne ulaşmışlardır [129]. Eckert, Barbosa ve Silva (2022) bir seri HEA'nın batarya ömrünü ve sürüş menziline artırmak için önerdikleri enerji dağıtım kontrolünün BMD ile gerekli optimizasyonunu yapmış, BMD'nin üyelik fonksiyonlarını ve kurallarını GA ile belirlemişlerdir [130]. Eckert, Silva, Lourenço, Corrêa, L. Silva ve Dedini (2021) tek şaftlı bir seri hibrit aracın batarya ömrü, şarj süresi ve yakıt ekonomisi için önerdikleri sistemde BMD ve GA ile güç dağıtımını ve vites değiştirme işlemini yapmışlardır. ADVISOR üzerinde yaptıkları simülasyonlarda, İYM motorunu doğru vites geçişleri ile yüksek verimli bölgede çalıştırarak yakıtı azaltmış ve performansı artırmışlardır [131]. Vites değiştirme ve güç dağıtım optimizasyonu için BMD kullanan çalışmalar Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

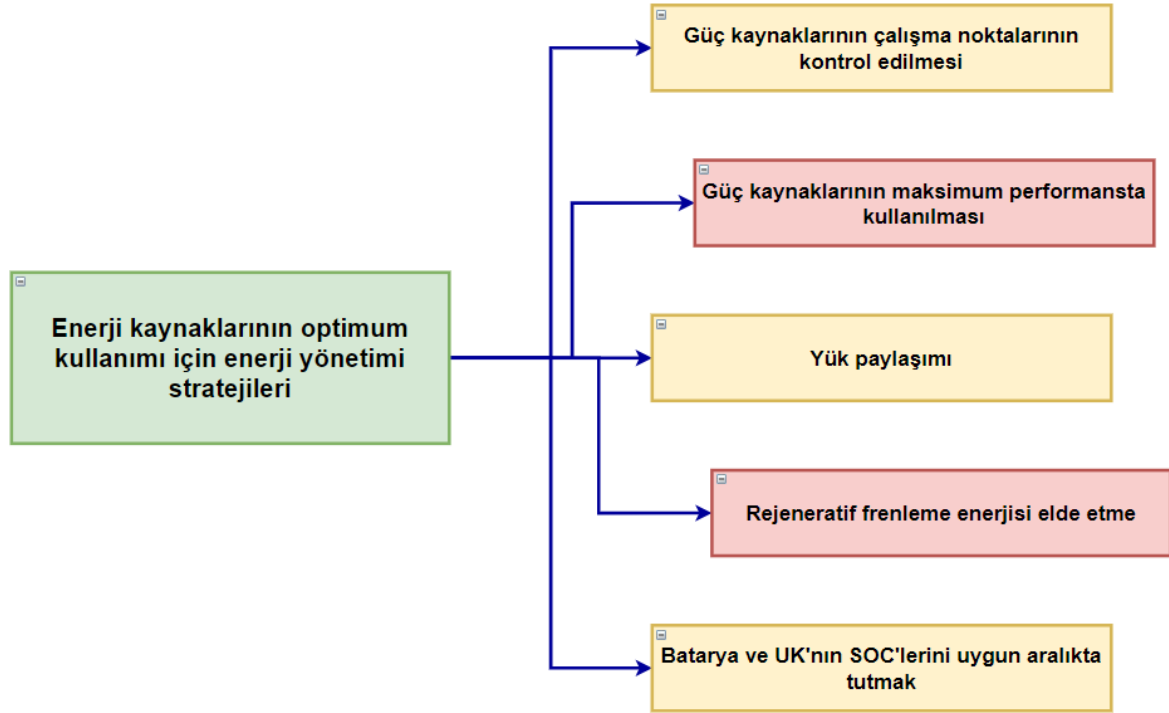
Çizelge 3.4. Vites değiştirme ve güç dağıtımı optimizasyonu için BMD kullanan alışmalar

Araç Tipi	Denetleyici	Girişler	ıkışlar	Başarı	Yazar
Güç bölünmüş HEA	Geleneksel BMD	1. İstenen tork 2. İstenen hız 3. SOC	1. Motor veya jeneratör torkları	Yakıt ekonomisi iyileştirilmiştir.	Montazeri ve Mahmoodi (2015)
Dört tekerlek bağımsız tahrikli EA	BMD +PSO	1. Tork talebi 2. Önden ve arkadan itme sistemleri için genel verimlilik <hr/> 1. Direksiyon açısı 2. Yan kayma açısı 3. Sapma açısı 4. Sapma oranı	(Her iki BMD için) 1. Akım limitleri 2. Tork limitleri 3. SOC limitleri	Direksiyon hareketinde %78,5 azalma sağlayarak yol tutuş performansını iyileştirmişlerdir.	Miranda ve diğerleri (2022)
Paralel FHEA	BMD	1. Gerekli tork 2. SOC 3. Motor sıcaklığı 4. Yakıt hava debisi 5. Elektrikli tahrik sistemi için gerekli tork ve efektif değeri arasındaki oran <hr/> 1. Gerekli tork 2. Motor devri 3. Motor sıcaklığı	1. Gerekli torkun kesri <hr/> 1. Vites değiştirme karar süreci için referans değer	Simülasyonlarında batarya ömrünün arttığını ve emisyonların azaldığını göstermişlerdir.	Silva ve diğerleri (2021)
Elektrikli hidrolik hibrit araç	BMD +GA	1. Batarya SOC 2. Araç hızı	1. EM'nin açık-kapalı durumu	Batarya ömrünü ve sürüş menzilini arttırmışlardır.	Eckert ve diğerleri (2022)
Tek şaftlı hibrit seri aktarma organlarına sahip hibrit elektrikli araç	BMD +GA	1. Motor devri 2. Motor sıcaklığı 3. Gerekli tork	1. EM kontrolü 2. Vites değiştirme kontrolü	Simülasyon sonuçlarına göre yakıtı azaltıp performansı arttırmışlardır.	Eckert ve diğerleri (2021)

3.3.2. Enerji kaynakları

Bir EA kontrol sisteminde enerji kaynaklarının optimum kullanımına yönelik enerji yönetimi stratejileri, şekil 3.11'de gösterilen amaçlar için belirlenir. Bu amaçlar; güç kaynağının çalışma noktalarını düzenlemek, güç kaynaklarını maksimum performansta

kullanmak, yükü paylaşmak, rejeneratif frenleme enerjisi elde etmek ve batarya ile ultra-kapasitörün şarj seviyelerini uygun aralıkta koruyarak ömürlerini artırmaktır [31,132].



Şekil 3.11. Enerji kaynaklarının optimum kullanımı için geliştirilen enerji yönetim stratejilerin hedefleri

Elektrikli bir araçta enerji tüketimi, aracın dinamik sisteminden, sürücünün sürüş tarzından, trafikten ve sıcaklık, eğim, rüzgâr gibi çevresel koşullardan etkilenir. Bu faktörler aynı zamanda aracın batarya sağlığını ve dolayısıyla ömrünü de etkilemektedir. Batarya ömrünü ve verimini artıran etkenlerden biri de farklı özelliklere sahip daha fazla enerji kaynağı kullanmaktır. Böyle bir yaklaşım aracın performansını ve menzilini de artırır [12]. Bu amaçla hibrit enerji depolama sistemleri (HEDS) için güç dağıtımı ve enerji yönetimi stratejileri çok önemlidir. Bir hibrit güç sisteminin iyi bir enerji yönetimi stratejisi varsa, avantajlarından tam olarak yararlanabilir ve istenen hedeflere ulaşabilir [132]. Bulanık mantık kontrolünün esnek olması, doğrusal olan veya olmayan yapılar için kullanılabilmesi, matematiksel bir model gerektirmemesi ve kesin olmayan verilerle başa çıkabilmesi gibi avantajları vardır. BMD'nin bu özellikleri, onu çok değişkenli, doğrusal olmayan ve matematiksel modellemenin oldukça zor olduğu hibrit bir sistemde güç yönetimi için en uygun araçlardan biri yapar [30,31]. Enerji kaynaklarının optimum kullanımı için bulanık mantık ile geliştirilen stratejileri incelediğimizde elektrikli aracın elektrik enerjisi kaynaklarının BAT ve UK'den veya YH'ye BAT ve/veya UK eklenerek oluşturduğu

görülmektedir. Birincisi BEV kategorisine, ikinciye yakıt hücreli hibrit elektrikli araç (YHHEA) kategorisine konulabilir. Bu alanda ayrıca enerji kaynaklarının tasarrufu açısından rejeneratif frenleme ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

BEV

Kullanılan enerji kaynağına göre bir sınıflandırma yapıldığında bu tanıma uyan iki tip araç görülmektedir:

- i. İYM'li, yani batarya ve/veya UK ile birlikte fosil yakıt kullanan araçlar
- ii. Sadece batarya ve UK'den oluşan tamamen elektrikli araçlar.

Ancak her iki durumda da UK kullanmanın nedeni enerji ve güç yoğunluğundan yararlanmak, böylece EA performansını iyileştirmek, yükü azaltmak ve batarya ömrünü uzatmaktır.

UK'lerin, enerji yoğunluğu itibariyle bataryaların gerisinde kalır ancak güç yoğunlukları çok daha yüksektir. UK'nin özel özelliklerinden dolayı, enerji kimyasal bir reaksiyona girmeden depolanabilir ve serbest bırakılabilir, bu da çok az enerji depolama ve dağıtım kaybına neden olur. Batarya, sürüş sırasında elektrik güç sisteminin ortalama güç ihtiyacını karşılamak için kullanılır ve UK, batarya ve UK'li bir hibrit sistemde şiddetli hızlanma ve yavaşlama koşullarında elektrik gücü talebindeki değişiklikleri telafi etmek için kullanılır. Yüksek güç yoğunlukları nedeniyle UK'ler, özellikle şiddetli frenleme sırasında enerji depolamak için daha uygundur [133].

BAT/UK hibrit enerji depolama sistemi karmaşık, çok değişkenli doğrusal olmayan bir süreçtir ve kesin bir matematiksel model tanımlamak çok zordur [134]. Böyle bir HEA'nın tahrik yükü ve tahrik değerleri kolayca hesaplanamaz. Bu amaçla EYS'de BMD gibi akıllı denetleyiciler tercih edilmektedir [133].

BAT ve UK kaynaklarına sahip bir EA'da EYS'nin aşağıdakileri başarıyla gerçekleştirmesi beklenir:

- i. Güç talebi tutarlı ve sağlıklı bir şekilde karşılanmalı ve sürücü bu araçta kendisini konvansiyonel bir araçtan farklı hissetmemelidir.
- ii. Bataryanın sağlık durumu, verimliliği ve kullanım ömrü dikkate alınmalıdır.
- iii. Batarya elektrikli aracın ana enerji kaynağıdır, UK yardımcı kaynaktır. Bu sebeple sürüşün sonunda, bataryanın şarj seviyesinin düşmesi ancak UK'nin SOC'sinin başlangıçtakiyle aynı olması beklenir [134].

BAT ve UK ile elektrikli araçlar için BMD ile geliştirilen EYS'ler incelendiğinde, yakıt ekonomisinin hedeflendiği [135,136] ve bataryadaki akım değişiminin makul sınırlar içinde tutularak bataryanın korunmaya çalışıldığı [137–139] görülmektedir. Hu, Jiang, Jia ve Zheng (2018) trafik koşullarını ve yol eğimini hesaba katan, böylece batarya ömrünü iyileştiren, uyarlanabilir kural tabanlı bir denetleyici ve bulanık mantık denetleyiciden oluşan bir sistem önermiştir [140]. Ma, Duan, Sun ve Chen (2018) lityum-iyon pil paketlerinin ömrünü uzatmak için SOC tabanlı çift yönlü eşitleme devresini BMD ile kontrol etmeyi önermiş, bu sayede SOC dalgalanmasını azaltmış ve verimliliği artırmışlardır. Ancak bu çalışmada bataryanın eskimesini ve ilerleyen zamanlardaki performansını dikkate almamışlardır [141]. Li, Xu, W. Li, Liu, F. Li, Hu ve L. Liu (2016) BAT/UK enerji kaynaklarından oluşan bir araçta BMD denetleyicili bir enerji yönetim sistemi önermiş ve bir EA'nın performansının kurulu yapıya olduğu kadar enerji yönetimi stratejisine de bağlı olduğunu göstermiştir [142]. Hu, Liu, Du, Yan ve Lv (2020) batarya ve UK içeren bir EA'da farklı sürüş döngülerine uyum sağlayabilen ve UK'nin SOC'sini istenen seviyede tutmak için bu sistemde bulanık mantık kullanan bir enerji yönetimi stratejisi önermişlerdir [143]. Akar, Tavlasoğlu ve Vural (2017) batarya ve UK'den oluşan çift yönlü çok girişli dönüştürücüye sahip bir HEDS'de BMD kullanarak enerji yönetimi stratejisini belirlemiştir [56]. Jin, Wang ve Hu (2016) UK ve bataryalı bir HEA'da enerji yönetim sistemini BMD kullanarak tasarlamıştır. Ek olarak, sıcaklığa bağlı batarya bozulmasını dikkate alacak bir EYS önermişler bu sayede batarya bozulmasını %17 oranında azaltmışlardır [144].

Yukarıdaki örneklere bakıldığında, geleneksel bulanık denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının ve bulanık kurallarının mühendislik sezgisi ve deneyimine dayalı olarak tasarlandığı görülmektedir. Ancak bu şekilde global optimizasyona ulaşmak zordur [83]. Bu zorluğun üstesinden gelmek ve bulanık sistemin parametrelerini optimize etmek için bazı

optimizasyon algoritmaları kullanılabilir. Eckert, Silva, Santiciolli, Costa, Corrêa ve Dedini (2018) batarya ve UK'den oluşan bir EA'da bulanık parametreleri GA ile optimize etmiştir. Sürüş ve performansta uzlaşmacı bir çözüm için HEDS'nin toplam kütlesini azaltmak, EA sürüş aralığını artırmak ve araç performansını en üst düzeye çıkarmak için testler gerçekleştirmiştir. Buna göre bataryaların ve UK'lerin optimum koşullarda birlikte kullanımına ilişkin çıkarımlarda bulunmuşlardır [145]. Yu, Castelli-Dezza, Cheli, Tang, Hu ve Lin (2021) bir lityum-iyon batarya ve UK'den oluşan bir HEDS'de boyutlandırma ve güç yönetimi sağlamak için BMD ve GA'ya dayalı bir sistem önermiştir. BMD'lerin paralel çalışmasını sağlayan vektörizasyon yaklaşımı ile en uygun kontrol parametrelerini elde etmeye çalışmışlardır. Bu sayede uygun UK ve batarya seçilerek batarya çevrim ömrünün artırılabilirliğini göstermişlerdir [146]. Eckert, Silva, Dedini ve Corrêa (2020) önde ve arkada bulunan EM için bir batarya ve UK'den oluşan bir HEDS önermiştir. Önerilen stratejilerini GA ile optimize ettikleri BMD ile uygulamış, sürüş menzilini iyileştirirken HEDS kütlesini %24 oranında azaltmışlardır [147]. Bu çalışmaların detayları Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. BAT+UK hibrit sistemine ilişkin çalışmalar

Araç Tipi	Denetleyici	Girişler	Çıktılar	Başarı	Yazar
Paralel BAT+UK HEA	BMD	İYM durumu, pozitif EM gücü, paralel sürüş modu ve negatif EM gücü modüllerine ait değerler	Güç oranları	UK ve BAT'ı uygun SOC aralığında tutmuş ve yalnızca batarya ile çalışan sisteme kıyasla %3,91'lik bir verimlilik artışı sağlamışlardır. HEA'nın yakıt ekonomisi, aynı sınıftaki geleneksel bir araca kıyasla %24,3 oranında iyileştirilmiştir.	Liang ve diğerleri (2013)
Seri-paralel BAT+UK HEA	BMD	1. Bat. enerji durumu 2. UK enerji durumu	1.İYM parametreleri	Yakıt tüketimini 100 kilometrede 22,76 litreden 21,18 litreye düşürmüşlerdir.	Liu ve diğerleri (2015)
Paralel aktif topolojiye sahip BAT+UK HEA	BMD	1. Güç talebi 2. Sürüş modu 3. UK SOC	1. Batarya çıkış akımı	Batarya akımı değişimi ve başlangıç-bitiş UK SOC farkı makul sınırdan altında tutulmuştur.	Yin ve diğerleri (2016)
Yarı Aktif Batarya-UK HEA	BMD	1. Batarya gücü 2. İstenen ve gerçek SOC arasındaki fark	1. UK'ye dağıtılan aşırı güç değeri	Batarya sağlığı tepe akımı azaltılarak korunmuştur.	Zhang ve Li (2020)
DC/DC dönüştürücüler ile BAT+UK HEA	BMD	1. Kontrol edilen değerlerde ve ayar noktasında hata 2. Hatanın türü	1.Görev döngüsünde değişiklik	Bataryadan alınabilecek güç miktarını kısıtlayarak bataryayı korumuşlardır.	Jaarsveld ve Gouws (2020)
Bataryalı ve ultra kapasiteli saf elektrikli araç	BMD	1. Güç talebi 2. Gelecekteki hız eğilimi 3. Gelecekteki yol derecesi	1. UK'nin çıkış gücünün düzeltme katsayısı	BMD sayesinde, uyarlanabilir kural tabanlı denetleyiciye kıyasla batarya ömrü kaybında ve bataryanın tüketiminde iyileşme kaydetmişlerdir.	Hu ve diğerleri (2018)
Seri bağlı lityum iyon bataryalara sahip elektrikli araç	BMD	1. Hücrelerin SOC fark değerleri 2. Hücrelerin SOC ortalama değerleri	1. Eşitleme akımı	Ortalama fark algoritmasına kıyasla enerji verimliliğini %5,54 oranında iyileştirmişlerdir.	Ma ve diğerleri (2018)
Ultra kapasitörlerle entegre lityum iyon bataryalı elektrikli araç	BMD	1. Gerekli güç 2. BAT SOC 3. UK SOC	1. UK gücünün istenen toplam güce oranı	Hibrit güç sisteminin enerji tüketimi %14,67 azaltılmış, sürüş mesafesi %17,8 artırılmıştır.	Li ve diğerleri (2016)
Çift yönlü DC/DC dönüştürücülü BAT+UK HEA	BMD	1. Bat. referans çıkış gücü 2. Bat SOC 3. UK SOC	1. Bataryanın çıkış gücü	Akünün maksimum şarj/deşarj akımını azaltırken, akü ömrünü artırmışlardır.	Hu ve diğerleri (2020)

Çizelge 3.5. (Devam) BAT+UK hibrit sistemine ilişkin çalışmalar

Çok girişli dönüştürücüler kullanan BAT+UK HEA	BMD	1. Batarya gücü 2. UK SOC	1. Batarya gücü referansı	Batarya gücü profili yumuşatılarak daha uzun bir batarya ömrü elde edilmiştir.	Akar ve diğerleri (2017)
Paralel konfigürasyonlu BAT+UK HEV	BMD	1. DC bağlantı hatası voltajı 2. Yük gücü 3. UK voltajı 4. Normalleştirilmiş araç hızı 5. UK SOC	1. Batarya gücü 2. UK gücü	Batarya bozulmasını %17 oranında azaltmışlardır.	Jin ve diğerleri (2016)
Güç yönetimi kontrollü BAT+UK HEA	BMD+GA	1. Gerekli tork 2,3. Ön ve arka sistemin genel verimliliği	1. Gerekli torku tahrik sistemleri arasında bölme katsayısı	HEDS toplam kütle azaltma, maksimum performans ve en uzun menzil için optimum değerleri hesaplamışlardır.	Javorski Eckert ve diğerleri (2018)
Lityum-iyon batarya ve süper kapasitörlere sahip elektrikli araç	BMD+GA	1. Güç talebi 2. Batarya SOC 3. UK enerji seviyesi	1. UK'den talep edilen güç	Batarya çevrim ömrünü artırmışlardır.	Yu ve diğerleri (2021)
Çift HEDS'li BAT+UK HEA	BMD+GA	1. Tork talebi 2. Arka ve ön itme sistemleri için genel verimlilik	1. Her tahrik sistemi tarafından karşılanacak tork yüzdesi	HEDS kütlesini %24 oranında azaltarak sürüş menziline iyileştirmişlerdir.	Eckert ve diğerleri (2020)

YHEA

Uzun vadede fosil yakıtların yerini alması beklenen yakıt hücreleri, yakıtın enerjisini elektrokimyasal reaksiyon sayesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen elektrokimyasal sistemlerdir. Yakıt hücreleri çok yüksek enerjiye ve neredeyse sıfır zararlı emisyonla sahiptir. Bununla birlikte, aşağıdaki dezavantajları vardır:

- i. Tek başlarına aracı hareket ettiremezler.
- ii. Sınırlı bir dinamik tepkileri vardır; yüksek güç talebini tek başlarına karşılayamazlar.
- iii. Enerjiyi rejeneratif frenlemeden depolayamazlar.
- iv. Maliyetleri yüksektir.

Bu nedenle YH sisteminin tek başına kullanılması aracın yük ihtiyacını karşılamada yetersiz ve maliyetli olmaktadır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için YH sisteminin batarya veya UK gibi güç kaynakları ile desteklenmesi gerekmektedir [148,149]. Böylece bataryaların yüksek enerji yoğunluğundan ve UK'lerin yüksek güç yoğunluğundan faydalanılabilir [93]. Bu şekilde, rejeneratif frenleme enerjisi depolanabilir, güç birimi başına maliyet azaltılabilir ve güç talebinin bir kısmı ikinci bir güç kaynağından sağlanarak yakıt hücreleri üzerindeki baskı azaltılabilir ve bu sayede yakıt hücrelerinin ömrü uzatılabilir [150]. Ancak böyle bir yapıda verimli bir araç güç aktarım sistemine ihtiyaç vardır. İyi bir enerji yönetimi stratejisi, yakıt hücreli hibrit elektrikli aracın (YHHEA) maliyetini ve yakıt tüketimini azaltmada seçilen kaynaklar ve boyutları kadar önemlidir [151]. Böyle bir stratejide, YH sisteminin yüksek verimli bölge içinde çalışması ve BAT veya UK'nin SOC'sinin hedeflenen aralık içinde kalması beklenir [134]. Yakıt hücresi içeren hibrit elektrikli araçlar, enerji kaynaklarına göre YH-BAT, YH-UK ve YH-BAT-UK olarak sınıflandırılabilir.

Yakıt hücreli ve bataryalı bir sistemde, sistemi başlatmak ve yakıt hücresinin bileşenlerine enerji vermek için bir batarya kullanılır. Yakıt hücresi aracın birincil güç kaynağıdır. Batarya ise yakıt pili yardımcı sistemlerine enerji sağlamak, güç talebi yüksek olduğunda gerekli gücü sağlamak ve rejeneratif frenlemeden elde edilen enerjiyi depolamak gibi görevleri üstlenir [150,152]. Bu yapının avantajı, yakıt hücresinden talep edilen gücün azalması ve frenleme enerjisinin geri kazanılmasıdır. Ancak bataryadan dolayı ek bir bakım maliyeti vardır [30]. Böyle bir yapı için tasarlanan enerji yönetimi stratejisinin amacı, performanstan ödün vermemek, verimliliği artırmak, frenleme enerjisi elde etmek ve hidrojen tüketimini azaltmak olmalıdır [31]. Yakıt pili ve pil hibridizasyonu ile ilgili yayınlar incelendiğinde aşağıdaki çalışmalar görülür: Ahn ve Lee (2005), batarya SOC'sinden yakıt hücresi akım talebini ve YH ve BAT ile sistemdeki batarya akımını hesaplamıştır [153]. Kim, Sohn, Lee ve Kim (2008) yakıt hücreleri ve bataryaları enerji kaynağı olarak kullanan bir minibüs için geliştirdikleri BMD sisteminde, bataryanın SOC girişlerinden DC/DC dönüştürücü gücünü ve talep edilen gücü hesaplamışlar ve performans optimizasyonu sağlamışlardır [152]. Jeong, Lee ve Kim (2005) YH ve BAT'tan oluşan hibrit sistemlerde BMD kullanarak DC/AC inverter giriş gücünden (talep gücü) ve batarya SOC girişlerinden DC/DC dönüştürücü çıkış gücünü hesaplamıştır [63]. Shen, Cui, Wang, Han ve Wang (2020), yakıt hücreli araç için geliştirdikleri bulanık kontrol stratejisinde gerekli güç, batarya SOC ve YH güç girişlerinden yakıt hücresindeki istenen artımlı gücü hesaplamıştır [154]. Zhang, Liu, Dai ve Lu talep edilen güç ve akü şarj durumu girdilerinden bulanık mantık kullanarak yakıt hücresinden

gelen güç talep oranını hesaplamış, böylece hidrojen tüketimini azaltmış ve bataryanın dayanıklılık süresini artırmıştır [155]. Li ve Liu (2009), 'DIRECT' optimizasyon yöntemiyle BMD kontrolünü bir adım öteye taşımış ve farklı sürüş çevrimleri için %6 ile %12 arasında daha yüksek yakıt verimliliği elde etmiştir [156]. Ahmadi ve Bathae (2015), BMD'yi GA ile optimize ederek daha iyi sonuçlar almayı hedeflemişler, hidrojen yakıt tüketimi ve batarya SOC'sindeki dalgalanma kriterlerine göre değerlendirildiğinde, bu optimizasyon ile en iyi sonucu elde ettiklerini bildirmişlerdir. Bu çalışmada dikkat çeken bir diğer nokta ise SOC değerindeki dalgalanmanın genel yakıt verimini olumsuz etkilediğinin gösterilmesidir [134]. Li, Liu, Wang ve Yao (2020) inşaat araçları için tasarladıkları sistemde YH dayanıklılığını artırmak ve batarya ömrünü artırmak için BMD kullanmıştır [157]. Essoufi, Hajji ve Rabhi (2020) YH ve BAT'tan oluşan EA'da BMD kullanarak geliştirdikleri strateji ile kaynakları etkin kullanarak yakıt ekonomisini iyileştirmişlerdir [158]. Chen, Xu, Wu ve Xu (2018) batarya SOC'sini istenen seviyede tutmak ve YH ile Li-ion batarya arasındaki güç akışını sürdürmek için BMD kullanmıştır. Normal, rejeneratif ve aşırı yük koşulları gibi farklı sürüş koşullarında performanstan ödün vermemek için uyarlanabilir bir yapı oluşturmuşlardır [159].

Ultrakapasitörler, ani bir güç dalgalanması durumunda gerekli gücü sağlayabilir, YH sisteminin gecikmeli tepki verme sorununu azaltabilir, frenleme sırasında çok daha yüksek enerji depolayabilir ve daha geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilir [132,148,150]. Kontrol sistemi, güç kaynaklarının farklı özelliklerini dikkate alarak araç yük profilini yönetmeli ve aracın temel ve yüksek güç taleplerini karşılamalıdır. Diğer yandan DC bara voltajı kararlılığını korumak için UK'yi yönetmelidir [148]. Ancak, YH/UK hibrit sisteminde, enerji depolama sisteminin doğrusal olmayan ve zamanla değişen özellikleri matematiksel modellemeyi zorlaştırır. Bununla birlikte, UK'lerin yüksek maliyetinin toplam maliyeti arttırdığı dikkate alındığında, UK'lerin en iyi şekilde kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır [132]. Bu bağlamda, YH/UK sisteminin kararlı çalışması maliyeti, verimliliği ve kullanım ömrünü doğrudan etkileyecektir. Kısacıkoğlu, Uzunoğlu ve Alam (2009) enerji kaynağı YH ve UK'den oluşan bir araç için geliştirdikleri BMD ile UK'nin şarj ve deşarj oranını hesaplamıştır. Kontrol stratejileri, talep edilen yakıt hücresi gücünü belirleyebilir ve itme gücü sağlayarak ve frenleme enerjisini geri kazanarak DC voltajını nominal miktar civarında tutabilir [148]. Vural ve diğerleri (2010) BMD ve kademeli dalgacık-BMD stratejilerini karşılaştırdıkları çalışmalarında YH dayanıklılığını, genel sistem performansını ve verimliliği arttırdıklarını bildirmişlerdir [160]. Kısacıkoğlu, Uzunoğlu ve Alam (2007)

YH'den aktarma organlarına güç akışını kontrol etmek için tam köprü DC/DC ve UK bankası için çift yönlü DC/DC dönüştürücü kullanmıştır. BMD ile geliştirilen kontrol stratejisinde, YH sistemi sabit güç sağlamış, UK SOC istenilen aralıkta kalmış, UK bank ise bara gerilimini tolere edilebilir aralıkta tutmuştur [161]. Lin ve Zheng (2011) uyarlamalı optimal kontrol tabanlı EYS çalışmalarına karşılaştırma için BMD'yi dahil etmiş ve BMD ile hidrojen tüketiminde %18,7'lik bir iyileşme sağlamıştır [162].

YH-BAT-UK içeren yapıda, talep edilen güç sırasıyla YH, UK ve BAT enerji sistemleri tarafından sağlanır. Yakıt bataryayı birincil kaynak olarak kullanılır çünkü bataryayı şarj etmek yerine doğrudan çekiş için kullanmak daha verimlidir. UK, bir bataryadan daha kolay şarj ve deşarj edilebildiği için ikinci sırada kullanılır. Bu yapıda batarya ünitesi yalnızca yüksek güç talebi olduğu zaman kullanılır [93]. Hem BAT hem de UK, yakıt hücresi tarafından veya frenlemeden elde edilen enerji ile yeniden şarj edilebilir. Fren yapıldığında, BAT veya UK şarjı arasındaki seçim, aracın yavaşlama derecesine bağlıdır. Hafif yavaşlama olduğunda batarya şarj olur, şiddetli yavaşlama olduğunda UK şarj olur [30,93]. Bu yapının faydaları arasında, UK'nin yüksek güç sağlama ve fren enerjisini geri kazanma, yakıt hücresi sistemi ve akü üzerindeki yükü azaltma ve daha az şarj ve deşarj ile akünün çalışma ömrünü uzatma yeteneği yer alır [135,136]. Bu avantajlarının yanında üç enerji kaynağına sahip bu yapının kontrol stratejisinin karmaşık olması göz ardı edilmemelidir [30].

Aşağıdaki çalışmalar, BMD'nin birden çok enerji kaynağına sahip bir yakıt hücreli hibrit araçta güç talebini optimum şekilde karşılamada çok etkili olduğunu göstermiştir: Li, Chen, Li, Liu ve Huang (2012) BMD'lerini YH, UK ve BAT kaynaklarını kullanan bir sisteme uygulamış, elektrik motorunun talep ettiği güçten ve batarya SOC girişlerinden yakıt hücresi sisteminin gücünü hesaplamışlardır [30]. Ferreira, Pomilio, Spiazzi ve Silva (2008) BMD kullanarak yük akımı, batarya enerjisi ve UK enerjisinden batarya çıkış akımı düzeltme terimini ve YH referans akımını hesaplamışlardır. Kuralları düz yol, yokuş yukarı ve iniş için ayrı ayrı belirlerken en yüksek önceliği UK ayarına vermişlerdir. Çünkü UK, hızlı akım değişikliklerini absorbe etme görevine sahiptir [163]. Gao, Jin ve Lu (2008) Pekin güzergahında çalışan bir otobüs üzerinde yaptıkları çalışmada, BMD sayesinde enerji kaynakları arasında iyi bir güç dağılımı sağlamıştır [28]. Erdinç, Vural ve Uzunoğlu (2009) çok seviyeli Haar dalgacık dönüşümü ve BMD'yi birlikte kullanmıştır. Tasarladıkları sistemde YH, BAT referans güç sinyalleri ve dalgacık tabanlı algoritma ile hesaplanan BAT, UK şarj durumları BMD'nin girdileridir. BMD'nin çıktısı, yakıt hücresi ve bataryadan talep

edilecek güçtür [164]. Melero-Pérez, Gao ve Fernández-Lozano (2009) yük gücü, UK SOC ve BAT SOC girişlerinden BMD ile batarya gücü düzeltme terimini ve yakıt hücresi referans gücünü hesaplamış, bu sayede BAT ve UK şarj durumlarını istenilen aralıkta tutmuş, DC bara gerilimini istenilen değerde sabitlemiş ve geri kazanılan enerjiyi maksimize etmişlerdir [31]. Hemi, Ghouili ve Cheritihemi (2014) farklı YH/BAT/UK konfigürasyonları üzerinde çalışmışlar ve geliştirdikleri bulanık sistemde yakıt hücresinden talep edilen gücün bataryanın şarj durumundan talep edilen güce oranını hesaplamışlardır [165]. Rahman, Zehra, Ahmad ve Armghan (2021) YH, BAT ve UK'den oluşan HEDS'te bataryanın maksimum şarj durumunu ve UK'yi kullanarak hidrojen tüketimini azaltmak için bir BMD tasarlamış, simülasyon sonuçlarına göre hidrojen yakıt tüketimini %29 oranında azaltmışlardır [166].

YHEA ile ilgili çalışmalara bakıldığında, beklendiği gibi araştırmacıların genellikle aynı girdi parametrelerine bakarak benzer sonuçları amaçladıkları görülmektedir. Bu hedefler, yakıt tüketiminde azalma, aracın stabilitesi ve YH sisteminin uzun ömürlü olmasıdır. Bulanık stratejilerin bu hedeflere ulaşmada sağlamlık, esneklik ve uyarlanabilirlik gibi avantajları olsa da çok güçlü bir teori ve iyi bir mühendislik deneyimi olmadan geliştirilen bir bulanık sistem optimizasyon sorunlarına sahip olacaktır. Bu durumda bulanık sistemin kontrol performansını artırmak için yapılması gereken BMD'yi optimizasyon algoritmaları ile desteklemektir. Optimal bir EYS tasarlamak, iyi bir kontrol yöntemi geliştirmeyi ve bunu uygun bir teknikle optimize etmeyi gerektirir. Kontrol stratejisi talep edilen gücü enerji kaynaklarına dağıtmaya çalışırken [91], optimum bir EYS araç performansını en üst düzeye çıkarmalı ve en iyi yakıt ekonomisini sağlamalıdır [134]. Ancak bu algoritmaların başarısının büyük ölçüde sürüş profillerine bağlı olduğu ve bazı sürüş koşullarında elde edilen hiperparametrelerin diğer koşullar için uygun olmayabileceği göz ardı edilmemelidir. Ahmadi, Bathae ve Hosseinpour (2018) tasarladıkları enerji yönetim sisteminde GA ile optimize edilmiş BMD kullanmış ve 22 farklı sürüş çevrimi ile testler gerçekleştirmişlerdir. Simülasyonlarına göre, aracın dinamik performansını artırmış, eşdeğer yakıt ekonomisini iyileştirmiş ve batarya şarj seviyesini stabilize etmişlerdir [91]. Zand, Nasab ve Hatami (2020) BMD sistemlerini başka bir evrimsel optimizasyon tekniği olan Social Spider Optimization (SSO) ile optimize ederek, optimize edilmemiş tasarıma kıyasla yakıt verimliliğinde ve kıyaslama hızında daha büyük başarı elde etmiştir [167]. YHEA ile ilgili çalışmaların detayları Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. YHEA kontrol sistemleri için BMD kullanılarak yapılan çalışmalar

Araç Tipi	Denetleyici	Girişler	Çıktılar	Başarı	Yazar
YH+BAT HEA	BMD	1. Gerekli güç 2. Batarya SOC 3. YH gücü	1. Yakıt hücresi akım talebi	Statik güç kontrolüne göre yakıt tüketiminde %5 oranında iyileşme sağlamışlardır.	Ahn ve Lee (2005)
YH+BAT hibrit minibüs	BMD	1. Talep edilen güç 2. Batarya SOC	1. DC/DC dönüştürücü çıkışı	Güç dağıtımı daha kararlı hale getirilmiş ve sistemin daha verimli çalışması sağlanmıştır.	Kim ve diğerleri (2008)
YH+BAT HEA	BMD	1. DC/AC dönüştürücünün giriş gücü (istenen güç) 2. Batarya SOC	1. DC/DC dönüştürücü çıkış gücü	Yakıt hücresi sisteminin verimliliğini artırmışlar ve batarya şarj durumunu istenen aralıkta tutmuşlardır.	Jeong ve diğerleri (2005)
HEA	BMD	1. Gerekli güç 2. Batarya SOC 3. YH gücü	1. YH'den istenen güç	Daha düzgün ve yüksek verimli YH gücü üretilmiştir.	Shen ve diğerleri (2020)
YH / bataryalı insansız hava araçları	BMD	1. Talep edilen güç 2. Batarya SOC	1. YH'den talep edilen güç oranı	Hidrojen tüketimi azaltılmış ve batarya dayanıklılık süresi artırılmıştır.	Zhang ve diğerleri (2018b)
YH+BAT HEA	BMD	1. Yük gücü talebi 2. SOC	1. DC/DC dönüştürücünün çalışma noktası	Üç farklı sürüş çevriminde optimize edilen model ile %6 ile %12 arasında yakıt verimliliği sağlamışlardır.	Li ve Liu (2009)
YH+BAT HEA	BMD+GA	1. Araçtan talep edilen güç 2. SOC	1. YH referans gücü	Beş farklı sürüş döngüsü için en iyi ortalama genel verimliliği elde etmişlerdir.	Ahmadi ve Bathaee (2015)
YH+BAT hibrit inşaat aracı	BMD	1. Araç yükü 2. Normalleştirilmiş SOC	1. YH dayanıklılık hedefi 2. Batarya ömrü	Hidrojen tüketimi ve işletme maliyetleri yaklaşık %3 oranında azaltılmıştır.	Li ve diğerleri (2020)
YH+BAT HEA	BMD	1. Talep edilen güç 2. Batarya SOC	1. YH'den talep edilen güç	Yakıt ekonomisi sağlamışlar ve referans hızı çok iyi koruyabilmişlerdir.	Essoufi ve diğerleri (2020)
YH+BAT HEA	Uyarlanabilir BMD	1. Yük akımının tahmini 2. Yük akımının türevi 3. Beklenen ile gerçekleşen batarya voltajı arasındaki sapma	1. Adaptif denetleyici katsayısı 2. Batarya açık devre voltajındaki değişiklik	Batarya SOC'si istenilen seviyede tutulmuş ve farklı sürüş koşullarında aynı performans korunmuştur.	Chen ve diğerleri (2018)

Çizelge 3.6. (Devam) YHEA kontrol sistemleri için BMD kullanılarak yapılan çalışmalar

YH+UK HEA	BMD	1. DC-DC dönüştürücünün çıkış akımı ile YH yük akımı arasındaki fark. 2. UK SOC 3. İstenen ile bara gerilimi arasındaki farkı 4. Hata geriliminin türevi 5. UK'den aktarılan akım	1. YH oranı 2. Şarj için UK oranı 3. Deşarj için UK oranı	UK'nin SOC değeri, bara gerilimi istenilen aralıkta tutularak frenleme enerjisi geri kazanılmıştır. YH sistem boyutu, UK kullanılarak küçültülmüştür.	Kısacıkoğlu ve diğerleri (2009)
YH+UK HEA	BMD	1. YH için Referans Güç Sinyali 2. UK SOC	1. YH'den talep edilecek güç talebi	Hibridizasyon ile YH dayanıklılığı, genel sistem performansı ve verimlilik artırılmıştır.	Vural ve diğerleri (2010)
Proton Değişirme Membranı yakıt hücresi / UK Hibrit Araç Güç Sistemi	BMD	1. YH sisteminin ortalama yük akımı ile DC/DC dönüştürücü çıkış akımı arasındaki akım farkı 2. UK SOC	1. YH sisteminin DC/DC dönüştürücü görev oranındaki değişiklik	YH sistemi sabit güç sağlamış ve SOC kabul edilebilir sınırlar içinde tutulmuştur. UK bankası ayrıca yük barası voltajını tolere edilebilir bir aralıkta tutmuştur.	Kısacıkoğlu ve diğerleri (2007)
YH+UK HEA	BMD	1. ESS yük gücü 2. UK SOC	1. ESS güç ayırma komutu	BMD sayesinde hidrojen tüketiminde %18,7 iyileşme sağlanmıştır.	Lin ve Zheng (2011)
YH+BAT HEA ve YH+BAT+UK HEA	BMD	1. Elektrik motorunun gücü 2. Batarya SOC	1. Yakıt hücresi sisteminin gerekli gücü	Dört farklı sürüş çevrimi için yakıt ekonomisinde iyileşme sağlanmıştır.	Li ve diğerleri (2012)
YH+BAT+UK HEA	BMD	1. Yük akımı 2. Batarya enerjisi 3. UK enerjisi	1. Batarya çıkış akımı düzeltme terimi 2. Yakıt hücresi referans akımı	Farklı koşullar altında talep edilen güç gereksinimleri en iyi şekilde farklı kaynaklardan elde edilmiştir.	Ferreira ve diğerleri (2008)
YH+BAT+UK hibrit veri yolu	BMD	1. Talep edilen güç 2. Batarya SOC 3. UK SOC	1. YH'den talep edilen güç 2. UK'den talep edilen güç	Üç farklı güç kaynağı arasında güç dağılımı başarıyla sağlanmıştır.	Gao ve diğerleri (2008)

Çizelge 3.6. (Devam) YHEA kontrol sistemleri için BMD kullanılarak yapılan çalışmalar

C+BAT+UK hibrit araç sistemi	BMD	1. 2. YH ve bataryanın referans güçleri 3. 4. Bataryanın ve UK'nin SOC'si	1.2. YH ve bataryadan talep edilecek güç	Yakıt tüketiminde hedeflenen iyileşmeyi sağlamışlardır.	Erdinç ve diğerleri (2009)
Çok girişli DC/DC dönüştürücülü YH+BAT+UK HEA.	BMD	1. Yük gücü 2. Bataryanın ve UK'nin SOC'si	1. Batarya gücü düzeltme terimi 2. YH referans gücü	Batarya ve ultra kapasitör şarj durumları istenilen aralıkta tutulmuştur. DC bara gerilimi istenen değerde tutularak kazanılan enerji miktarı artırılmıştır.	Melero-Perez ve diğerleri (2009)
YH+BAT+UK HEA	BMD	1. Talep edilen güç 2. Batarya SOC	1. YH'den talep edilen güç	Güç kaynakları arasında dağıtım sağlanmış ve hidrojen tüketimi azaltılmıştır.	Hemi ve diğerleri (2014)
YH+BAT+UK HEA	BMD	1. Yük akımı 2. Batarya SOC 3. UK SOC	1. Batarya referans akımı 2. UK referans akımı	Hidrojen yakıt tüketimini %29 oranında azaltmışlardır.	Rahman ve diğerleri (2021)
YH+BAT+UK HEA	BMD+GA	1. Komuta edilen güç 2. SOC	1. Yakıt hücresi gücü	Eşdeğer enerjiyi ve hidrojen yakıtını azaltmışlar, aracın genel performansını iyileştirmişler ve bataryanın SOC'sinin %2'den daha az dalgalanmasını başarmışlardır.	Ahmadi ve diğerleri (2018)
YH+BAT+UK HEA	Uyarlanabilir BMD	1. Otobüs tarafından talep edilen güç	1. Motor gücü 2. BAT Gücü 3. UK Gücü	Yakıt verimliliği artırılmış, referans hızı ulaşılmıştır.	Zand ve diğerleri (2020)

Rejeneratif frenleme

Elektrikli araçlarda başka bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilecek olan rejeneratif frenleme, hareket halindeki bir aracın kinetik enerjisini hemen ya da daha sonra kullanılabilir bir forma dönüştüren bir enerji geri kazanım mekanizmasıdır. Elektrik motorları ters yönde kullanıldığında jeneratör görevi görerek aracın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirirler. Sonuç olarak, aracın enerji tasarrufu iyileşir ve mekanik parçalar eskisi kadar hızlı aşınmadığından fren sisteminin ömrü uzar. Rejeneratif frenleme

işlemi sırasında, güvenlik unsuru ihmal edilmeden yol sürtünmesine bağlı olarak %70'e varan enerji kazancı elde edilebilir [168]. Rejeneratif frenleme sırasında, motorun hızına bağlı olarak zıt elektromotor kuvveti (EMK) oluşur. Zıt-EMK'nin değerine bağlı olarak, BAT veya UK'yi şarj etmek için bir buck-boost dönüştürücü gereklidir [169].

Rejeneratif frenlemenin özellikleri incelendiğinde, rejeneratif frenleme enerjisinin belirli hızların altında sınırlı olduğu görülmektedir. Rejeneratif frenlemenin yapılabilmesi için Eş. 3.3'de gösterildiği gibi tüm voltaj düşüşleri giderildikten sonra EMK'nin BAT veya UK voltajından yüksek olması gerekir. Bu durum dışında rejeneratif frenleme olmayacaktır [170]. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer konu ise bataryaların dolunca direnç görevi yapması, buna bağlı olarak ısınmaya ve hatta patlamaya başlamasıdır.

$$E_a > V_b + (R_b + R_p + R_s) \times I_b \quad (3.3)$$

Burada E_a , frenleme sırasında indüklenen voltajdır, V_b , frenleme anında akünün voltajıdır, R_b , akünün iç direncidir, R_p , elektrik makinesinin faz-faz direncidir, R_s , gerilim düşüşüyle ilişkili yarı iletkenlerin direncidir ve I_b , frenleme akımıdır.

HEDS, UK ve batarya enerji kaynaklarını içerir ve bir batarya yönetim birimi tarafından kontrol edilir. Daha önce belirtildiği gibi, UK'ler, özellikle güçlü yavaşlama sırasında maksimum rejenerasyon elde etmek için frenleme işleminden elde edilen enerjiyi depolamak için kullanılır. Rejeneratif frenleme sırasında, UK şarj edilirken akü voltajı sabit kalır [169]. Rejeneratif sistemlerde stabilite, hassasiyet ve pürüzsüzlük, kontrol stratejilerine bağlıdır. Bu sistemlerde kullanılan BMD matematiksel bir model gerektirmez, insan zekâsı ve deneyimini içerir ve hızlıdır [171]. BMD, rejeneratif frenleme ile ilgili birçok çalışmada kullanılmıştır: Xiao, Lu, Wang, Ruan ve Zhang (2017) yüksek manevra kabiliyeti ve stabiliteyi korurken maksimum enerji geri kazanımı sağlamayı amaçlamıştır. Seri ve ekonomik fren moduna karşı birçok girdi içeren bulanık kontrol mantığına dayalı yeni bir rejeneratif fren dağıtım tekniği önerip bunu Çin sürüş döngüsünde test etmişlerdir [172]. Gökçe ve Üstün, elektrikli bir araçta en verimli frenlemeyi araştırırken BMD'yi kullanmışlardır [170]. Xu, Li, Xu ve Song (2011) sürtünme ve rejeneratif frenleme kuvvetlerinin dağılımını belirlemek için BMD kullanmıştır [173]. Yaptıkları simülasyonda, YH/BAT kaynaklarına sahip bir elektrikli aracın verimliliğini artırmak için BMD kullanarak rejeneratif bir fren kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Maia, Silva, Araújo ve Nunes (2015) aracın hızlanma, sarsıntı ve yol eğimi verilerinden yenileme faktörünü hesaplamış ve

modelin sonuçlarını Nissan Leaf sürüş testleriyle doğrulamıştır [174]. Chougale ve Lakade (2017), bulanık tabanlı bir rejeneratif fren sistemi ile fren torku üretmek için gerekli fren akımının hesaplanabileceğini öne sürmüştür. BMD ve PID denetleyicilerin birlikte kullanılmasıyla daha iyi sonuçlar alınabileceğini de göstermiştir [175].

Genellikle, BMD kontrolünde bir sabit durum hatasıyla karşılaşılır. Bunun için PI kontrollü hibrit çalışmalar yapılmaktadır. PI/BMD hibrit yapısında, ölçekleme faktörleri ve bulanık kural tabanı birlikte işlenir, böylece hem denetleyicinin basitliği hem de otomatik ayarlama yeteneği korunur [176]. PI/BMD yönteminde, BMD sayesinde pik aşımı olmadan ve PI sayesinde kararlı durum hatası olmadan daha uygun bir çözüm bulunur [177,178]. BMD tasarımı, ilgili konuda uzmanlık gerektirdiğinden ve denetleyicinin optimizasyonu uzun zaman aldığından, dinamik bulanık kontrolün genetik algoritmalarla optimize edilmesine yönelik çalışmalar da mevcuttur. Bulanık denetleyici ve PI/PID denetleyicinin hata katsayısı, hata değiştirme oranı, kontrol çıkışı ve integrali genetik algoritma ile optimize edilir ve denetleyicinin performansı iyileştirilir [169]. Rejeneratif frenleme konusunda BMD ile yapılan çalışmaların detayları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. BMD kullanılarak rejeneratif frenleme üzerine yapılan çalışmalar

Araç Tipi	Denetleyici	Girişler	Çıktılar	Başarı	Yazar
Akülü elektrikli araç	BMD	1. Batarya SOC 2. Fren gücü 3. Motor hızı	1. Rejeneratif fren dağıtım oranı	Manevra kabiliyeti ve denge korunurken daha yüksek enerji geri kazanımı sağlanmıştır.	Xiao ve diğerleri (2017)
Elektrikli mobilet	BMD	1. Batarya SOC 2. Fren talebi 3. Araç hızı	1. Rejeneratif frenleme oranı 2. Dinamik frenleme oranı 3. Ters akım frenleme oranı	Doğru fren seçimi sayesinde güvenli durma ve enerji geri kazanımı sağlanmıştır.	Gökçe ve Üstün (2015)
Önden çekişli elektrikli araç	BMD	1. Fren talebi 2. Araç hızı 3. Akü SOC 4. Akü sıcaklığı	1. Sürtünme ve rejeneratif fren kuvvetleri arasındaki oran	Motor verimliliği %16, enerji verimliliği %22 ve menzil %26 artırılmıştır.	Xu ve diğerleri (2011)
Tüm elektrikli araç	BMD	1. Hızlanma 2. Sarsıntı 3. Yol eğimi	1. Yenilenme faktörü	Bulanık model, Nissan Leaf'in gerçek verilerine çok yakın sonuçlar elde ederek enerji geri kazanımı sağlamıştır.	Maia ve diğerleri (2015)
Fırçasız DC motora uygulanır	BMD +PID	1. Hız 2. SOC 3. F_{on}	1. Elektriksel ve mekanik frenleme oranı	SOC artışı	Chougale ve Lakade (2017)
Plug-in Elektrikli Araç	BMD +PI	1. Voltaj farkı 2. Bu farkın değişimi	1. Çıkış voltajı	BMD ile geliştirilen hibrit sistemde gerilim kazancı, dalgalanma ve verimde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.	Sunddararaj ve diğerleri (2019)
Fırçasız DC motora uygulanır.	Nöro-Bulanık+PID	1. Frenleme kuvveti 2. Batarya SOC 3. Motorun hızı	1. Fren Kuvveti Oranı	Menzil artışı	Sindhuja ve Ranjitham (2014)
Fırçasız DC motora uygulanır.	ANFIS	1. Frenleme kuvveti 2. Batarya SOC 3. EV Hızı	1. Referans akımı	Verimlilik artışı	Akhila ve Ratnan (2016)
Fırçasız DC motora uygulanır.	BMD +PI	1. Motor hızı hatası 2. Bu hatada değişiklik	1. Referans akımı	Menzil artışı	Kommula ve Kota (2016)

3.3.3. Araç dinamik sistemi

Elektrikli araçlarda kontrol stratejisi geliştirilmesi gereken bir diğer alan da frenleme, stabilite ve süspansiyon gibi dinamik sistemlerdir. Araç dinamik sisteminin performans ve kontrol yeteneklerinin artırılması araç güvenliğini artıracaktır [158].

Araçlarda önemli bir güvenlik organı olan kilitlenme önleyici fren sisteminin (ABS) ana kontrol amacı, aşırı tekerlek kaymasını önlemek ve mümkün olan en yüksek frenleme kuvvetini sağlamak için mevcut sürtünme katsayısını mümkün olduğu kadar yüksek tutmaktır. Elektrikli araç teknolojisindeki ihtiyaçlar, ABS kontrolü konusunda araştırma yapmak için iyi bir motivasyon kaynağıdır. Diğer araç sistemlerinde olduğu gibi ABS'den etkili bir yanıt almak için doğru, uygun ve etkili bir kontrol yöntemi seçmek önemlidir. ABS uygulamalarında, bulanık mantık tabanlı denetleyiciler, frenleme sürecinin doğrusal olmayan, belirsiz, karmaşık ve değişken dinamikleriyle başa çıkan etkili bir çözüm sunar [48]. Khatun, Bingham, Schofield ve Mellor (2003) ABS'li elektrikli bir araçta BMD kullanarak kayma ve yük tork girişlerinden tork talebini hesaplamıştır. Bu çalışma ile frenlemede daha iyi performans elde edilmiştir. Ayrıca geliştirilen sistem ile buzlu yollarda daha iyi sonuçlar alınmıştır [179]. Wang, Lian, Han ve Tang (2016) ABS için üç farklı denetleyici (eşdeğer denetleyici, sağlam denetleyici ve bulanık mantık denetleyici) kullanmıştır. Bu çalışmada, uyarlanabilir bir bulanık kesirli sıralı kayan kipli kontrol (SMC) tasarım yöntemi kullanılarak kayma hızının kesirli dereceli kayma modu çıktısı ve bunun türevinden kayma düzeltme değeri hesaplanmıştır [180].

Araç stabilite kontrol sistemleri, fren sistemine ve/veya aktarma organlarına doğru bir şekilde müdahale ederek aracın frenleme ve yol tutuş tepkisini iyileştirmek için tasarlanmış kapalı döngü bir algoritmalara sahip olan teknoloji ürünleridir [48]. Bu sistemlerin kontrolünde bulanık mantık etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Jalali, Uchida, Mcphee ve Lambert (2018) ABS ve çekiş kontrol sistemleri ile entegre BMD sayesinde dört tekerlekteki kayma oranını kontrol etmiş, kayma oranı hatasından motor tork düzeltmesini ve bu hatadaki değişimi hesaplamışlardır [181]. Aksjonov, Vodovozov ve Petlenkov (2016) BMD kullanarak bir ABS için kayma ve araç hızı girişlerinden fren torkunu hesaplamıştır. Bu sistem ile minimum kayma oranı ve en kısa fren mesafesi hedeflenmektedir [182]. Jin, Xie, Shen ve Wang (2017) yan kayma açısını optimum aralıkta tutmak için arka tekerlek yönlendirme açısını, ekstra yalpalama momentini ve arka tekerlek yönlendirme açısını kullanmıştır. Geliştirdikleri BMD ile gerçek yanıtın beklenen değerden sapmasını azaltmaya

çalışmışlardır [183]. Boada, Boada B, Munoz ve Diaz (2015) aracın yol tutuşunu ve dengesini artırmak için ön direksiyon ve ön fren dağıtım kuvvetlerini kontrol eden bulanık bir sistem geliştirmiştir [184]. Jianhua, Liang, Feikun ve Liang (2011) aracın yol tutuşunu ve stabilitesini iyileştirmek için bulanık mantıkla aktif ön yönlendirme (AFS) ve elektronik stabilite programı (ESP) sistemleri tasarlamışlardır [185]. Silva, Silva LCA, Eckert ve Lourenço (2022) modüler dört tekerlekten çekişli EA'ların ve HEA'ların stabilitesini sağlamak için GA ile optimize edilmiş bir BMD önermiştir. Simülasyonlarında, konumun ortalama kare hatasını EA için 1,29 m'ye ve HEA için 2,48 m'ye düşürmüşlerdir [186]. Geng, Mostefai, Denai ve Hori (2009) Kalman filtresi ile optimize ettikleri bir bulanık denetleyici ile gövde kayma açısını kontrol ederek tekerlek içi motorlu bir elektrikli aracın durum sapmalarını azaltmışlardır [187].

Araçlardaki bir diğer konfor ve güvenlik aracı da süspansiyon sistemleridir. Süspansiyon sistemleri, sürücü ve yolcuların sürüş konforunu artırmak için daha yumuşak ve güvenli bir sürüş sağlamak amacıyla tekerleklerin dikey hareketini kontrol etmek için kullanılır. Bu sayede aracın seviye değişiminin dengelenmesi sağlanır. Lastik bir tümsekle karşılaştığında veya bir çukura girdiğinde, araç gövdesini dengede tutmak için elektrikli aktüatörün nasıl davranması gerektiğini bilmek gerekir. Yağız, Sakman ve Güçlü (2008) böyle bir süspansiyon sistemini bulanık mantıkla kontrol etmiştir [188]. Araç dinamiği sistemi üzerinde BMD ile yapılan çalışmaların detayları Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Araç dinamik sistemi ile ilgili çalışmalar

Denetleyici	Girişler	Çıktılar	Başarı	Yazar
BMD	1. Kayma 2. Yük torku	1. Tork talebi	Frenlemede daha iyi performans elde edilmiş, ayrıca buzlu yollarda bulanık kontrolün daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.	Khatun ve diğerleri (2003)
Uyarlanabilir BMD	1. Kayma hızının kesirli sıralı kayan mod çıktısı 2. Bu çıktının türevi	1. Kayma düzeltme değeri. Bu değer diğer iki denetleyiciden gelen değer ile toplanır ve ABS'ye gönderilir.	Simülasyon sonuçlarına göre PI ve SMC PD kayan kontrole göre daha sağlam bir yapı kurulmuş, daha yüksek tepki hızı ve daha az aşım elde edilmiştir.	Wang ve diğerleri (2016)
BMD	1. Kayma oranı hatası 2. Bu hatadaki değişiklik	1. Düzeltici motor torku	Hidrolik fren sistemi veya içten yanmalı motora dayalı diğer geleneksel kayma kontrol sistemlerinden çok daha hızlı bir kayma kontrolü reaksiyonu elde edilmiştir.	Jalali ve diğerleri (2018)
Uyarlanabilir BMD	1. Tekerlek kayması 2. Araç hızı	1. Fren torku	Geliştirilen sistem hem tekerlek sıkışıklığını önlemek için minimum kayma oranını hem de aracın en kısa fren mesafesini sağlayarak diğer trafik cisimleriyle çarpışmaları azaltmıştır.	Aksjonov ve diğerleri (2016)
BMD +GA	1. Yan kayma açısı 2. Sapma oranı	1. Sapma momenti 2. Yönlendirme katsayısı	Bulanık denetleyici kullanılarak yan kayma açısı istenilen aralıkta tutulmuş ve sapma hızı ideale yakın değerler almıştır. GA sayesinde sapma hızı ideale yaklaştırılır, kararlı durum hatası en aza indirilir ve aşım azaltılır.	Jin ve diğerleri (2017)
BMD	1. Sapma oranı 2. Yan kayma açısı	1. Sapma momenti 2. Yönlendirme katsayısı	Bulanık denetleyicinin farklı hız ve manevralarla yapılan testlerde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.	Boada ve diğerleri (2015)
BMD	1. Sapma oranı hatası 2. Yanal ivmenin mutlak değeri	1. AFS ve ESP denetleyicilerinin kontrol değişkenleri	Araç manevra kabiliyeti ve sürtüş kalitesi iyileştirilmiştir.	Jianhua ve diğerleri (2011)
BMD +Kalman filtresi	1. Yanal hızlanma	1. Gövde kayma açısı	Araç stabilitesi artırılmıştır.	Geng ve diğerleri (2009)
BMD	1. Araç gövde hızı 2. İvme	1. Kontrol kuvveti	Sürtüş konforu iyileştirilmiştir.	Yağız ve diğerleri (2008)

3.3.4. Çevresel etkiler

Elektrikli araçların performansını, ekonomisini ve emisyonlarını belirlemede araç yükü, sürüş koşulları, sürüş ortamı ve sürücünün sürüş tarzı gibi faktörler büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmalarda araç kullanma davranışının batarya performansını etkilediği [189,190] ve sıcaklık artışının batarya ömrünü azalttığı [191] sonuçları elde edilmiştir. Bu bölümde, sürüş koşulları ve sürüş ortamı gibi lineer olmayan girdilerin araç performansı ve ekonomisine etkisi, emisyon sayısı ve aracın menzilin belirlenmesine yönelik çalışmalar üzerinde durulmaktadır.

Bir sürüş stratejisi tasarlarken, sürüş koşulları ve araç yükleri doğrusal olmadığından, sürüş torkuna yardımcı olan veya aküyü yeniden şarj eden elektrikli tahrikin ne zaman düzenlenmesi gerektiğini belirlemek zor olacaktır. Ayrıca, sürüş stilleri farklı olan her sürücü, araçtan farklı bir performans bekler. Bu nedenle, sürüş stratejisi deterministik kurullarla belirlendiğinde, akü dengesi istenilen ölçüde sağlanamayacaktır [192]. Bu problemlerin üstesinden gelmek için bulanık mantık stratejisi kullanılabilir. Bulanık mantık denetleyicinin karar vermesi, elektrikli araç uygulamaları gibi doğrusal olmayan ve öngörülemez sistemler için yararlıdır ve çeşitli araç yükleri ve yol koşullarından etkilenmez [192]. Sürüş koşullarının yanı sıra, sürücülerin sürüş tarzı da yakıt ekonomisi ve emisyonlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Üç tür sürüş tarzı yaygın olarak kabul edilmektedir [193]: sakin sürücüler (ekonomik ve güvenli sürüş tarzını benimseyenler), normal sürücüler (orta seviyeli sürüş tarzı) ve agresif sürücüler (spor kullanımını benimseyen hızlı ve nispeten güvensiz sürüş tarzı). Agresif bir sürücü tarafından kullanılan bir araçta yakıt ekonomisi çok kötü olurken, sakin bir sürüş tarzı yakıt tasarrufunu artıracaktır. Sürüş tarzının yakıt verimliliğini artırma potansiyelinin %20 ila %60 olduğu tahmin edilmektedir [193]. Bu sebeple sürücü davranışı, araştırmalarda uzun süredir dikkate alınmaktadır [192,194,195]. Yoğun trafik koşullarında, sakin sürücüler bile sıklıkla hızlanmak ve yavaşlamak zorunda kalmaktadır. Diğer yandan şehir içi otoyollarda, agresif sürücüler bile nispeten sabit bir pedal pozisyonunu koruyacaktır [193]. Bu nedenle sürücü davranışları ve yol koşulları birlikte değerlendirilmelidir. BMD hem sürüş ortamlarının özelliklerini hem de sürücü taleplerini dikkate alabilen ve bu değişkenlerdeki belirsizliğin üstesinden gelebilen etkili bir araçtır [195].

Farrall ve Jones (1993) sürücünün niyetini göz önünde bulundurarak, pedal talebinden sürücü niyetini belirlemiş, gaz keleşi ve armatür akım talebini kontrol ederek yakıt veriminin ve akü şarjının artmasını sağlamışlardır [194]. Benzer şekilde, Lee, Koo, Sul ve Kim (2000) araç yükü değişiklikleri ve yol düzenindeki değişikliklerden etkilenmeyen bir bulanık kontrol stratejisi sunmuştur. İki aşamalı olarak geliştirdikleri sistemde birinci denetleyici sürücünün pedala basma hızı ve bu hızdaki değişimden niyetini belirler. İkinci denetleyici motor dönüş hızı ve araç hızından referans gücü hesaplar. İYM referans torku bu iki çıkıştan hesaplanır [192]. Mohd, Hassan, Aris, Azura ve Ibrahim (2017) BMD ile sürüş çevriminden sürüş modunu tespit etmiş ve bu sürüş moduna göre bir enerji yönetim sistemi tasarlayarak enerji tüketimini azaltmıştır [52]. Başka bir çalışmada, Ghaemi, Khanmohammadi ve Tinati (2010) iklim, yol ve araç koşullarını dikkate alan bir bulanık sistem tasarlamıştır. Sürücünün kişisel tercihlerini, iklim, yol ve araç koşullarını değerlendirip direksiyon, hız ve zaman-mesafe katsayılarını hesaplamışlardır [195]. Syed, Filev, Tseng ve Ying (2008) çalışmalarında iki aşamalı bir bulanık sistem geliştirmiştir. İlk aşamada gaz pedalının üst limitini, buna ek olarak ikinci aşamada maksimum ve minimum entegratör ofset değerlerini hesaplamış ve yaklaşık %10 yakıt tasarrufu sağlamışlardır [196]. Daha sonra bu çalışmayı sürücü davranışını dikkate alarak güncellemişler ve agresif sürücülerin kullandığı araçlarda %22 yakıt tasarrufu sağlamışlardır [197]. Michalczuk, Ufnalski ve Grzesiak (2015) batarya ve UK enerji kaynakları ile bir araçta BMD ile enerji yönetimi stratejisini kurduktan sonra, çalışmalarına topografya verilerini dahil ederek batarya tepe akımlarını daha da düşürmeyi başarmışlardır [198].

Elektrikli araçlarda seyahat menzilini tahmin etmek karmaşık bir problemdir. EV menzili araca, sürücüye ve sürüş ortamına göre değişir. Araç konfigürasyonu (akü tipi, araç ağırlığı, şanzıman tipi) gibi sabit parametrelere ek olarak sürücü davranışı, akü sağlığı ve trafik yoğunluğu gibi değişken parametreler de bulunmaktadır [199]. Menzili hesaplamak ve buna göre sürüş stratejisini belirlemek için mevcut enerjiyi doğru ölçmek ve bu enerjiyi verimli kullanmak gerekir. Bunun için yol, sürüş ve araç koşullarına göre uygun enerji yönetimi algoritmaları kullanılmalıdır. Örneğin, İYM ve elektrik motoruna sahip bir HEA'da yakıt ekonomisini en üst düzeye çıkarmak için İYM'yi kullanmaya başlamadan önce elektrik enerjisinin kullanılmasına izin veren bir kontrol stratejisi oluşturulabilir. SOC alt sınıra düştükten sonra İYM uzun süre çalışırsa SOC yükselecektir. Yüksek verimlilik için, yolculuk sonunda bataryanın daha yüksek bir SOC'ye yükselmemesi ve batarya enerjisinin mümkün olduğunca kullanılması beklenir. Bunu başarmak için seyahat süresini ve menzilini

tahmin etmek çok doğru bir yaklaşım olacaktır [193]. Tahmine dayalı bulanık kural tabanlı kontrol, özellikle yoğun trafik olduğunda, zaman ve aralık tahmini için iyi bir çözüm sağlayabilir. Yol bilgileri önceden mevcutsa, yakıt tüketimini ve emisyonları en aza indirmek için bu strateji ile bir çözüm bulunabilir. Trafik yoğunluğu, arazi gibi bilgileri önceden elde etmemizi sağlayan GPS gibi teknolojilerle her durum için farklı bir kontrol stratejisi geliştirilebilmektedir. Ayrıca akıllı taşıma sistemi (ITS) sayesinde yol koşulları, hız limitleri ve trafik yoğunluğu yüksek doğrulukta elde edilebilmektedir. GPS, ITS ve geçmiş verileri birleştirilerek seyahat profili çok daha az belirsizlikle tahmin edilebilir [193]. Örneğin, GPS'e yoğun trafikle karşılaşacağımız bildirildiğinde bataryayı şarj etmek mümkün olacaktır. Aksine, seyrek trafiğe doğru gidiyorsak veya bizi yokuş aşağı bir yol bekliyorsa, o zaman aküyü boşaltmak daha uygun olacaktır. Öngörülü bir BMD, araçlara düzenli bir GPS sinyali göndererek onlara bataryaları şarj etme veya boşaltma talimatı verebilir [19]. Bu, gerçek zamanlı model çözümlerinin kestirimci kontrol ile daha uygun çözümlere yükseltilebileceği anlamına gelir [107].

Trafik yoğunluğu göz önünde bulundurularak geliştirilen enerji yönetimi stratejileri incelendiğinde bulanık mantığın öngörücü BMD yönü görülür. Rajagopalan, Washington, Rizzoni ve Guezennec (2003) Ohio Üniversitesi'nde BMD ile trafik yoğunluğunu tahmin ederek bataryanın optimum şekilde şarj edilmesini sağlamıştır. Hız ve irtifadaki değişimden trafik yoğunluğunu belirleyerek elektrik motorunun ne amaçla kullanılacağını önceden belirlemişlerdir [108]. Yol koşullarıyla ilgili başka bir yayında Langari ve Won (2003) IEMA adlı çalışmalarında "trafik durumu farkındalığına" dikkat çekmiştir. Araç bilgisi, sürücü davranışı, yol durumu ve akü şarj durumu bilgilerini BMD'ye uygulayarak gerekli tork değişimini hesaplamışlardır [200]. Hajimiri ve Salmasi (2006), çalışmalarında iki öngörü ve koruyucu sistem tasarlamış, ilkinde, yakıt ve emisyonları azaltmada daha başarılı olmuş ancak ikincisinde batarya ömrünü (SOH) uzatmışlardır [27]. Montazeri-Gh ve Mahmoodi-K (2016) trafik durumu tanıma ve tahminine dayalı başka bir çalışma yürütmüş, dört farklı yol tipindeki trafik yoğunluğuna bağlı olarak bir FHEA için farklı bulanık denetleyiciler tasarlamış ve bunları GA ile optimize etmişlerdir. Trafik tahminine dayalı olarak çalışan denetleyicilerin iki farklı sürüş çevrimi için yakıt ve emisyonları azalttığını göstermişlerdir [127]. Çevresel etkiler dikkate alınarak elektrikli araçların verimliliğini BMD ile artırma konusunda yapılan çalışmalar Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Çevresel etkileri dikkate alan çalışmalar

Araç Tipi	Denetleyici	Girişler	Çıktılar	Başarı	Yazar
Paralel HEA	BMD	1. Sürücü niyeti (pedal talebi)	1. Kısmi supabı değeri 2. Armatür akım talebi	Yakıt ekonomisi ve batarya şarjı geliştirilmiştir.	Farall ve Jones (1993)
Paralel HEA	BMD	1. Gaz pedalının basma oranı 2. Pedal çalışmasında değişiklik <hr/> 1. Motor dönüş hızı 2. Araç hızı	1. Sürücünün niyeti <hr/> 1. Referans gücü İYM referans torku, bunların her ikisinden hesaplanır.	Akü şarj dengesi sağlanmış, sürüş konforu artırılmış ve dizel motorun NO _x değeri %20 oranında düşürülmüştür.	Lee ve diğerleri (2000)
Akülü elektrikli araç	BMD	Sürüş döngüsü	Sürüş modu	Enerji tüketiminde %32,25'e varan azalma ve sürüş menziline %4,21 artış sağlanmıştır.	Mohd ve diğerleri (2017)
Dört tekerlekten çekişli (4WD) araç	Sugeno BMD	İklim, yol ve araç koşulları	Direksiyon, hız, zaman-mesafe katsayıları	Sürücü modelleme için çalışmışlardır.	Ghaemi ve diğerleri (2010)
Güç bölünmüş hibrit araç	BMD	1. Pedal yanıtı 2. Hızlanma 3. Yakıt tüketimi 4. Araç hızı	1. Maks. ofset 2. Min. ofset 3. Gaz pedalı konumunda önerilen değişiklik	Agresif sürücüler için %22 yakıt tasarrufu sağlanmıştır.	Syed ve diğerleri (2008, 2009a)
DC/DC dönüştürücüler ile BAT / UK HEA	BMD	1. Çıkış voltajı hibrit kaynak hatası 2. Güç yükü 3. Hız 4. UK gerilimi 5. Maks. değere normleştirilmiş hızın karesi 6. Maks. değere normalize edilmiş UK geriliminin karesi 7. Arazi eğimi	1. Batarya gücü 2. UK gücü	Navigasyon sistemlerinden alınan topografya bilgilerinin hibrit depolama performansını iyileştirdiği gösterilmiştir.	Michalczuk ve diğerleri (2015)
Paralel HEA	Uyarlanabilir bulanık mantık	1. Gerekli tork 2. Batarya şarj durumu <hr/> 1. Hız değişikliği 2. Yükseklik değişikliği	1. İYM tork değeri <hr/> 1. Trafik sıklığı	Emisyon azaltımı ve yakıt tasarrufu sağlanmıştır.	Rajagopalan ve diğerleri (2003)

Çizelge 3.9. (Devam) Çevresel etkileri dikkate alan çalışmalar

Paralel HEA	BMD	1. Araç bilgileri 2. Sürücü davranışı 3. Yol durumu 4. Akü şarj durumu	1. Tork değişimi	Simülasyon sonuçlarına göre farklı sürüş ortamlarına uyum sağlayabilen bir enerji yönetim sistemi tanıtılmıştır.	Langari ve Won (2003)
Seri HEA	BMD	1. Gerçek ile tahmin edilen hız farkı 2. Tahmini araç konumu ile mevcut konum arasındaki fark	1. Bataryanın şarj ve deşarjını yöneten bir kontrol sinyali	İlk modelde emisyonlar ve yakıt tüketimi azaltılmıştır. İkinci modelde, bataryanın SOH'si bir giriş olarak eklenmiş, bu durumda, emisyonlar ve yakıt biraz artmış, ancak batarya ömrü uzamıştır.	Hajimiri ve Salmasi (2006)
Paralel FHEA	BMD+GA	1. Gerekli tork 2. SOC	1. İYM torku	Yakıt ve emisyonları azaltılmışlardır.	Montazeri-Gh ve Mahmoodi-K (2016)

3.3.5. Veri odaklı yaklaşımla kontrol stratejisi geliştirme

Elektrikli araçlarda sürüş tarzı, çevre ve araç, yakıt ekonomisini etkileyen en etkili faktörlerdir [201,202]. Sürüş tarzı, kişilik, tutum, sosyo-ekonomik durum, yaş, cinsiyet gibi kişisel özellikler ile araç tipi, modeli, gücü, seyahat mesafesi, trafik durumu, yol tipi, hava durumu gibi çevresel özelliklerden etkilenebilir [203]. Araç kontrol sistemlerini insanların sürüş tarzlarına uyacak şekilde tasarlamak için sürücülerin sürüş tarzlarını bilmek ya da sürüş verilerinden bunu doğru bir şekilde tahmin edebilmek çok önemlidir. Kolaylıkla tahmin edileceği üzere, agresif ve sportif bir sürüş tarzı enerji tüketimini artırırken, düşük hızlı ve ivmeli sakin bir sürüş tarzı enerji tüketimini azaltacaktır [204]. Günümüzde son teknoloji araçlar için geliştirilen akıllı araç kontrol sistemleri, sürücünün sürüş tarzına göre aracı kontrol edebilmektedir. Bu sayede araç sürücüsü performans talep ettiğinde performansa ve ataklığa, sakin bir sürüş istediğinde ise yakıt ekonomisine ve sürüş konforuna öncelik veren bir enerji kontrol mekanizması kurulabilmektedir. Bu mekanizmalar için sürüş tarzının doğru belirlenmesi ve aracın yönetimini buna göre sağlayacak bir kontrol sağlanması sürücü güvenliğine, sürüş konforuna, kolaylığına, keyfine [205] ve yakıt ekonomisine [206–208] katkıda bulunur.

Bir sürücünün sürüş stilini ayırt etmek ve tanımlamak için farklı disiplinlerde yapılan çok sayıda başarılı çalışma vardır. Bu konuda öne çıkan yöntemler sinir ağları [202], Markov

modeli [209], bulanık mantık [210,211], rastgele orman algoritması [212], destek vektör makineleri [213] ve derin öğrenme [214] gibi yöntemlerdir. Araştırmacılar bu yöntemlerle hızlanma, yavaşlama, hız, şeritler arasında yer değiştirme, direksiyon açısı, gaz ve fren pedallarının konumları, sürüş sırasında yapılan manevralar gibi parametrelere bakarak sürüş stilini belirlemişlerdir. Kamera sinyalleri işlenerek görüntü işleme yöntemi ile kafa pozisyonu, yüz ifadesi, trafikte sürücünün verdiği diğer tepkiler gibi parametreler analiz edilmiş ve sınıflandırma [215] veya kümeleme [216] ile sürüş tarzları ortaya konulmuştur. Sürüş tarzını belirleme ile ilgili yapılan çalışmalardan bazılarında da aracın hız profiline, yatay ve dikey hızlanma ve yavaşlama gibi kinetik parametrelerine bakılmıştır. Hız göstergesi, ivmeölçer veya jiroskop gibi hareket sensörlerinden elde edilen veriler çeşitli şekillerde analiz edilmiş bu analiz sonuçlarından elde edilen çıkarımlara göre sürücünün sürüş şekli sınıflandırılmıştır [3,217–219].

Sürüş stilini belirlemeye yönelik çalışmalardan biri de çok sayıda sürüş verisi toplamak, bu verilerden öznitelik değerlerini saptayıp değerlerini hesaplamak ve bu bilgileri veri bilimi ve makine öğrenmesini içeren yöntemlerle değerlendirmektir. Johnson ve Trivedi (2011) tehlikeli sürüşü tespit etmek için üç farklı araç ve sürücü ile üç farklı yolda 200'den fazla sürüş verisini incelemiş ve bunları k-NN algoritması ile sınıflandırmıştır [220]. Quintero, López ve Cuervo (2012) aynı rota üzerinde 11 sürücüye yaptırdıkları toplam 304 sürüşün verilerini kullanmıştır. Bu verileri sinir ağlarına uygulamış ve sürüşün uygun bir şekilde yapılıp yapılmadığını belirlemek için kullanmıştır. Sonra bu verileri bulanık mantık denetleyicisine sahip bir sisteme girip normal veya agresif sürücü tiplerini belirlemişlerdir [221]. Castignani, Derrmann, Frank ve Engel (2015) toplamda 2360 km uzunluğunda 87 sürüşten elde ettikleri yol verisinden üç farklı sürüş tipi çıkarmıştır [222]. Castignani, Frank ve Engel (2013) yaptıkları başka bir çalışmada daha çok veri toplamış 566 sürüş ve 8609 km yol verisi elde etmişlerdir. Topladıkları verilerden bir sürücü tespit ve sürüş puanlama sistemi geliştirmişlerdir [223]. Van Ly, Martin ve Trivedi (2013) iki sürücü ile testler yapmış, topladıkları 951 adet sürüş verisi ile SVM ve k-means yöntemlerini kullanarak hızlanma, yavaşlama ve dönüş olaylarına bakarak sürücü profili üretmişlerdir [224]. Zhang ve diğerleri (2016) telefon ve araba sensörlerinden elde ettikleri verilerden sürüş alışkanlığını gösteren özellikler çıkarıp bu özelliklere göre destek vektör makineleri ile sürücü sınıflandırması yapmıştır [225]. Shahverdy, Fathy, Berangi ve Sabokrou (2020) hız, ivme, yerçekimi, gaz keleşliği ve motor devri verilerinden derin öğrenme ile normal, agresif, dikkati dağılmış, uykulu ve sarhoş olmak üzere beş farklı sürücü tipi tahminini çok yüksek

isabetle yapmıştır [214]. Ancak bu çalışmada sadece üç sürücüyle ve tek araçla test yapılmıştır ve sürücüler sürüş öncesi aldıkları talimata göre araç kullanmışlardır. Dolayısıyla bu çalışmanın daha gerçekçi ve sayıca çok sürüş verileri ile genişletilmesi gerekir. Vaitkus, Lengvenis ve Zylius (2014) tekrar eden bir rota üzerinde yapılan sürüşler için üç eksenli ivme ölçer verilerinden ortalama, medyan, mod, varyans, standart sapma, aralık, minimum, maksimum, çarpıklık, basıklık gibi istatistiksel özellikler çıkarmışlardır. Bu özelliklere ait bilgilerden k-NN ile agresif ya da normal olarak iki farklı sürüş tarzı tahmini yapmışlardır [226]. Ancak kendilerinin de belirttiği gibi aynı mevsimde, aynı trafik koşullarında ve aynı güzergâhta yapılan testlerde elde edilen yüksek isabet oranı yanıltıcı olabilir, bu testlerin daha farklı ve çok sayıda sürüş verisi ile yapılması modelin güvenilirliğini artıracaktır. Kedar-Dongarkar ve Das (2012) aracın ivme, frenleme, hızlanma ve gaz keleşbeği değerlerini toplamış, bu verilerden basit bir sınıflandırıcı yöntemiyle araç sürücüsünü agresif, orta ve muhafazakâr profillerinden biri olarak tahmin etmiştir [227]. Brombacher, Masino, Frey ve Gauterin (2017) sensör verilerini iki farklı sinir ağına uyguladıktan sonra defansif ve sportif sürüş manevralarını algılamış ve beş kategoride sürüş stili sınıflandırma puanı hesaplamıştır [228]. Saleh, Hossny ve Nahavandi (2017) akıllı telefondan elde ettikleri dokuz farklı sensör verisinden zaman serisi sınıflandırma modeli ile normal, agresif ve uykulu olmak üzere üç farklı sürüş davranışını çıkarmıştır [229]. Wang, Xi, Chong ve Li (2017) bir sürüş simülatöründe 20 sürücüden 400 adet sürüş verisi toplamış, bu veri setinden araç hızı ve gaz keleşbeği açıklığı özelliklerini yarı denetimli bir destek vektör makinesine uygulamıştır. Bu yöntemle normal ya da agresif olmak üzere iki farklı sürüş tarzını tahmin etmiştir [230].

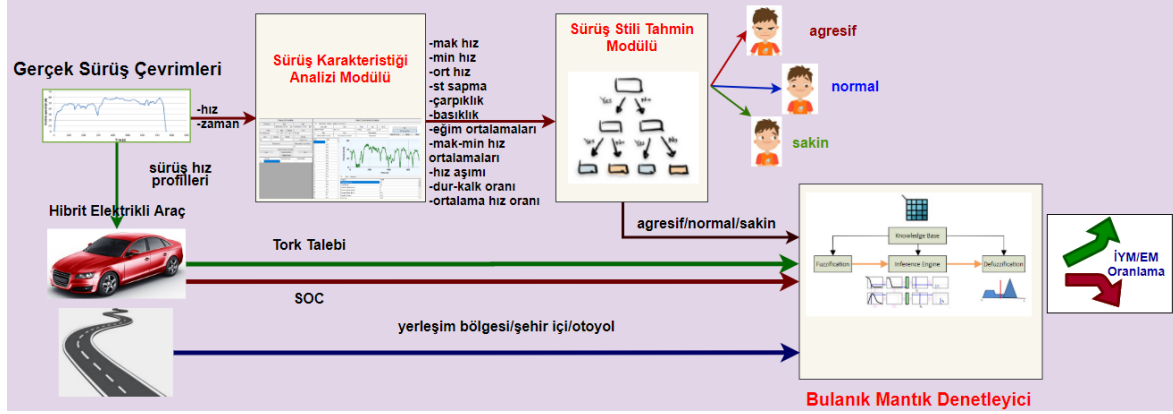
Sun, Chen, Dubey ve Pugliese'nin (2021) belirttiği gibi, gerçek trafik koşulları (hibrit) araçların yakıt tüketiminin daha doğru hesaplanmasını sağlar [231]. Bu konuda Eckert ve diğerleri onaylanmış sürüş döngülerinin araç performanslarının belirlenmesinde çok önemli bir rolü olduğunu kabul etmekle birlikte, farklı yol ve trafik koşullarında elde edilen daha çok ve çeşitli sürüş döngülerinin daha gerçekçi sonuçlar vereceğine dikkat çekmiştir [131].

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, gerçekçi belirsizlikleri göz önünde bulunduran veri odaklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu amaçla, Türkiye'nin coğrafi konumu, engebeleri, nüfusu ve trafik durumu birbirinden oldukça farklı olan bölgelerinden üç farklı yol tipinde farklı sürücülere ait sürüş verilerinden üç sürüş stili çıkarılmıştır. Dokuz profesyonel sürücünün katıldığı bu araştırmada sürücülere araçlarını nasıl kullanacaklarına dair herhangi bir talimat verilmemiştir. Gerçekleştirilen sürüşler sonrasında sürücünün sakin, normal ya da agresif gibi sürüş isteğine, yol tipine ve trafiğe bağlı olarak bir sürüş tarzı ortaya çıkarılmıştır. Sürücülerin, sürüşten sonra benimsedikleri sürüş tarzı, sürüş deneyimlerine ve sürücülerin öznel değerlendirmelerine göre etiketlenmiştir. Bu sürüşler sırasında toplanan hız-zaman verileri analiz edilerek çok sayıda (on yedi adet) sürüş özelliği (öznitelik) oluşturulmuş ve yerleşim bölgesi (YB), şehir içi (Şİ) ve otoyol (OY) olmak üzere üç farklı yol tipi için üç farklı sürüş tarzı (sakin, normal, agresif) modellenmiştir. Bu modellere dayanarak, hibrit bir elektrikli araç için bulanık mantık tabanlı bir EYS geliştirilmiştir.

4.1. Sistem Tasarımı

Geliştirilen sistemde öncelikle toplanan sürüş verilerinden öznitelikler çıkarılmakta ve bu özelliklere göre sınıflandırma yöntemi kullanılarak yüksek doğrulukta sürüş tarzı tahmin edilmektedir. Daha sonra yol tipi ve sürüş tarzına göre belirlenen bulanık kurallar ile geliştirilen bulanık mantık denetleyici, elektrikli hibrit aracın sürüş çevrimi boyunca İYM veya EM kullanım durumunu ayarlamaktadır. Tasarlanan yapının görsel olarak Şekil 4.1'de özetlenmiştir. Bu yapının ilk aşaması sürüş verilerinin toplanması, bu verilerden gerekli özniteliklerin belirlenmesi, bunların değerinin hesaplanması ve bu değerlerden oluşan veri seti üzerinde veri madenciliği işlemlerinin yapılmasıdır. İkinci aşamada toplanan verilerden en uygun sınıflandırma modeli kurulmuştur. Üçüncü aşamada ise kuralları sınıflandırılan sürüş stiline göre belirlenmiş bulanık mantık denetleyici sistemi geliştirilmiştir. Bu aşamada, önerilen kontrol sistemi MATLAB/SIMULINK/ADVISOR araç simülatörü üzerinde test ve simüle edilmiştir.



Şekil 4.1. Tasarlanan sistem

4.1.1. Verilerin hazırlanması ve veri madenciliğine hazır hale getirilmesi

Sürüş çevrimleri

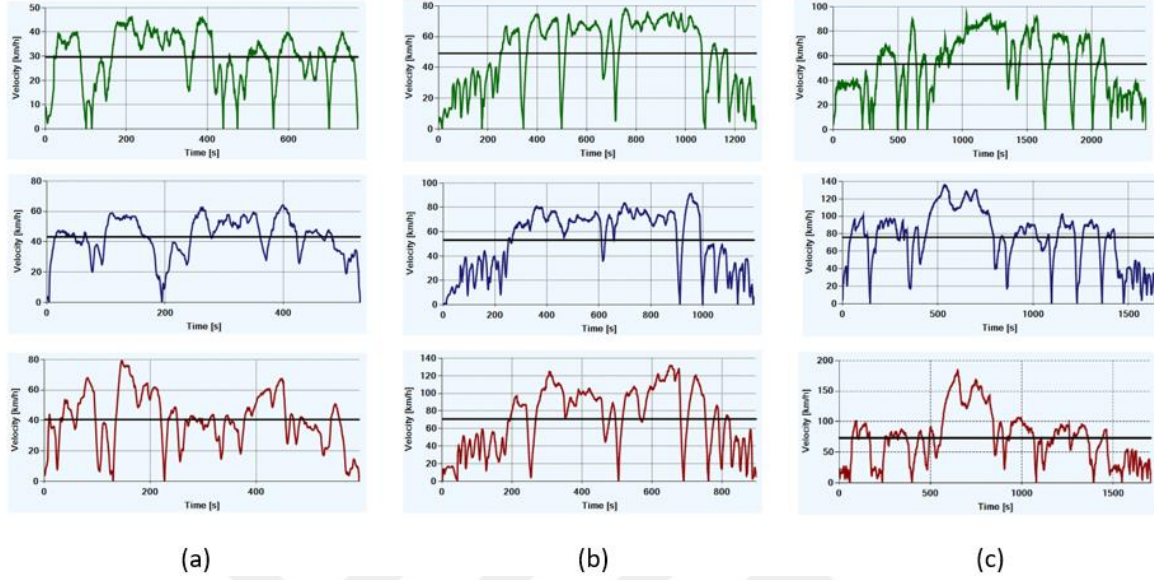
Sürüş stilini tanımlamak için çok titiz bir çalışma ile 9 profesyonel sürücünün farklı yollarda, farklı araçlarla, farklı coğrafik bölge ve zamanlarda, günün her saatinde ve farklı trafik koşulları altında yaptıkları sürüşlere ait sürüş çevrimleri kaydedilmiştir. Bu veriler GPS sinyalleri üzerinden sürüş bilgilerini toplayan bir akıllı telefon uygulaması ile elde edilmiştir. Sürüş çevrimlerinin hız ve zaman bilgisi ile ilgilenilmiş, bu bilgiler ilişkisel bir veri tabanında kaydedilmiştir. Çizelge 4.1’de bu sürüş çevrimlerinin özeti gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Sürüş döngüleri hakkında istatistiksel bilgiler

Sürüş Çevrimleri Özeti	
Bölge	Hatay, Ankara, Adana, İstanbul, Afyonkarahisar yoğun olmak üzere Türkiye'nin çeşitli bölgeleri
Sürücü sayısı	9
Kadın sürücü sayısı	2
Erkek sürücü sayısı	7
Akşam sürüş sayısı	789
Öğlen sürüş sayısı	524
Sabah sürüş sayısı	619
Yerleşim bölgesinde yapılan sürüş sayısı	978
Şehir içi yollarda yapılan sürüş sayısı	750
Otoyolda yapılan sürüş sayısı	204
Sakin trafikte araç kullanma sayısı	1881
Yoğun trafikte araç kullanma sayısı	51
Toplam kayıt sayısı	1932
Tüm sürüşlerin toplam süresi [saat]	611,4
Tüm sürüşlerin toplam mesafesi [km]	37808,3
Maksimum sürüş mesafesi [km]	758,1

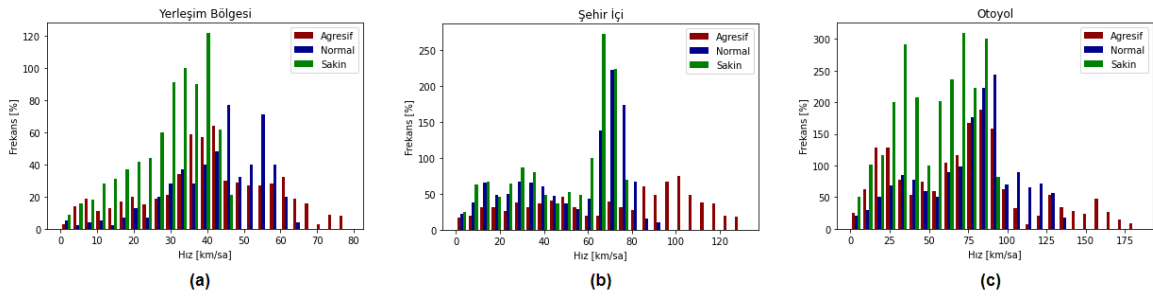
Araçların gerçek dünyadaki hız değerlerinden oluşan sürüş çevrimleri 19 ayda toplanmıştır. Dokuz farklı profesyonel sürücü ile gerçekleştirilen bu sürüş çevrimleri, sabah, öğle ve akşam olmak üzere günün üç farklı saatinde, sakin ve sıkışık olmak üzere iki farklı trafikte, yerleşim bölgesi, şehir içi yol ve otoyol olmak üzere üç farklı yolda toplanan ve bir zaman serisi şeklinde toplanan hız verilerinden oluşmaktadır. Profesyonel sürücüler, sürüşü bittikten sonra sürüşlerinin sakin, normal veya agresif olduğunu belirtmiş ancak sürücülere sürüş öncesinde sürüş şekli ile ilgili herhangi bir yönlendirmede veya talimatta

bulunulmamıştır. Üç farklı yol koşullarında kaydedilen hız profillerinden 9 tanesi Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Yerleşim bölgesi (a), şehir içi yol (b) ve otoyollarda (c) gerçekleştirilen sürüşlerin hız profilleri

Şekil 4.2'de, yeşil çizgiler sakin sürüşü, lacivert çizgiler normal sürüşü, koyu kırmızı çizgiler agresif sürüşü göstermektedir. Grafiklerin ortasındaki düz siyah çizgi ortalama sürüş hızını gösterir. İlk sütun yerleşim bölgesi, ikinci sütun şehir içi yol, üçüncü sütun otoyol verisine aittir. Sakin sürüşlerde ortalama hız daha düşüktür buna bağlı olarak yolculuk süresi daha uzundur ve kırmızı ışık ya da güvenlik kontrolü gibi duraklar dışında hız değerinde daha az iniş çıkış gerçekleşmiştir. Normal ve agresif sürüşte sürüş hızlarında önemli artışlar görülür, bundan dolayı yolculuk süreleri kısalmıştır. Bu sürüşlerde hız profilindeki iniş çıkış sayısı ve bu iniş-çıkışların keskinliği de artar. Bu grafiklerden sakin bir sürüşün telaşsız, ölçülü ve sabırlı bir sürüş olduğu ve bu sürüşün hız sınırlarına ve trafik kurallarına daha fazla uyum gösterdiği anlaşılmaktadır. Sürüş agresifleştikçe ani hızlanma ve yavaşlamaların sayısı artar ve hız sınırları daha çok aşılır. Şekil 4.3'teki üç sürüş tipinin üç farklı yol için hız dağılımları bu durumu daha iyi açıklamaktadır.

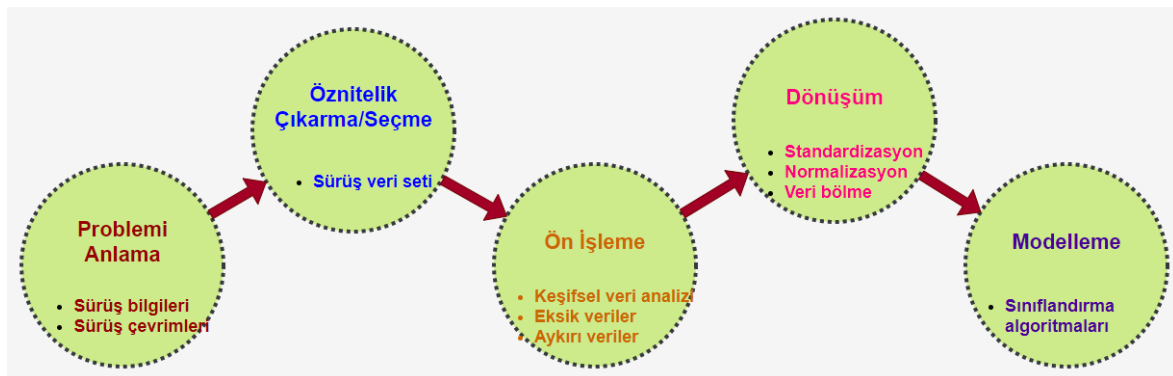


Şekil 4.3. Test sürüş döngülerinde hızın dağılımı: (a) yerleşim bölgesi, (b) şehir içi, (c) otoyol

Şekil 4.3'te gösterilen hız dağılım grafiklerinde, sakin sürüşte düşük hızda seyahat süresinin daha uzun olduğu, ancak sürüş daha agresif hale geldikçe yüksek hızda seyahat süresinin arttığı görülmektedir. Hız dağılımlarına dikkat edildiğinde agresif sürüşün, özellikle şehir içi ve otoyol sürüşlerinde net bir şekilde ayırt edilebildiği görülür.

Veri madenciliği

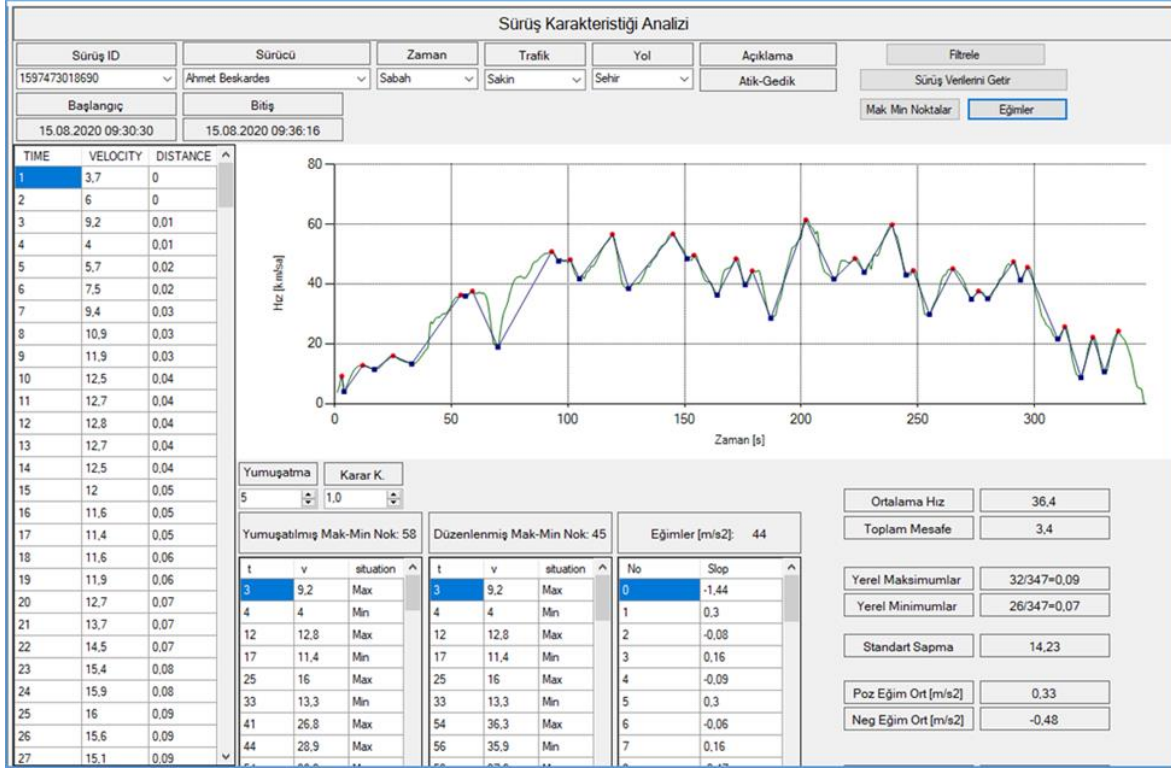
Bu çalışma Şekil 4.4'de gösterildiği gibi beş aşamada tamamlanmıştır. Veri madenciliğinin ilk aşaması yukarıdaki bölümde anlatıldığı üzere problemin en kolay anlaşılacağı ve tespit edileceği veriyi toplamaktır. İkinci aşama, bu verilerden sürüş stili ile ilgili fikir verecek anlamlı özniteliklerin çıkarılmasıdır. Üçüncü aşamada elde edilen bu veri seti üzerinde temel veri ön işlemleri gerçekleştirilir. Son olarak bu veriler sınıflandırma algoritmalarına uygulanacak şekilde dönüştürülür ve makine öğrenmesi yöntemleriyle sürüş stilini tanıma uygulamasına geçilir.



Şekil 4.4. Sürüş stilini tahmin etme aşamaları

Test sürüşleri sırasında iki farklı veri toplanmıştır. Bunlardan ilki sürüşün zamanı, trafik bilgileri, nereden nereye olduğu ve sürücüsünün kim olduğunu içeren bilgilerdir. İkincisi bu sürüşün hız zaman değerlerinden ibaret olan sürüş çevrim verileridir. İkinci aşamada toplanan bu iki veri setinden sürüş stili tahmini için gerekli olan öznitelikler çıkarılmıştır.

Bu çalışmada, farklı sürüş tarzlarını belirlemede etkili olan 13 etkili öznitelik belirlenmiştir. Bu özniteliklere detay bilgiler Çizelge 4.2'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. C# yazılım dili ile .NET ortamında geliştirilen ve Şekil 4.5'de gösterilen bir uygulama sayesinde bu özelliklerin değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Sürüş karakteristik analizi uygulaması

Çizelge 4.2. Sürüş sınıflandırması için belirlenen özellikler

Öznitelik	Veri Tipi	Açıklama
Maksimum Hız [km/h]	Sayısal	Sürüşün maksimum hızı
Ortalama Hız [km/h]	Sayısal	Sürüşün ortalama hızı
Standart Sapma [km/h]	Sayısal	Sürüş hız değerlerinin standart sapması
Çarpıklık	Sayısal	Hız değerlerinin nasıl dağıtıldığını belirtir. Sağa çarpık olarak görülen dağılım, aykırı değerlerin yüksek hızlardan kaynaklandığını gösterir. Sola çarpık dağılımda ise aykırı değerleri düşük hızlar oluşturur.
Basıklık	Sayısal	Hız değerlerinden oluşan normal dağılım eğrisinin ne kadar ağır kuyruklu veya hafif kuyruklu olduğunu belirtir.
Pozitif Eğim Ortalaması [m/s ²]	Sayısal	Sürüş sırasındaki pozitif ivmelerin ortalaması
Negatif Eğim Ortalaması [m/s ²]	Sayısal	Sürüş sırasındaki negatif ivmelerin ortalaması
Hız Tepe Noktalarının Oranı [%]	Sayısal	Maksimum hız noktalarının toplam süreye oranı
Hız Dip Noktalarının Oranı [%]	Sayısal	Minimum hız noktalarının toplam süreye oranı
Sert Hızlanma Oranı [%]	Sayısal	Belirlenmiş değer üstündeki sert hızlanmaların oranı
Sert Yavaşlama Oranı [%]	Sayısal	Belirlenmiş değer altındaki sert yavaşlamaların oranı
Aşırı Hız [%]	Sayısal	Her yol türü için belirtilen hızların üzerindeki sürüş hızı (Örneğin otoyol için 120 km/h)
Dur-Kalk Oranı [%]	Sayısal	Dur-kalk süresinin toplam süreye oranı
Ortalama Hız Oranı [%]	Sayısal	Ortalama hızda seyahat edilen zamanın toplam zamana oranı
Sürüş Stili	Kategorik	Sürüşün sonunda atanan sürüş stili

Çizelge 4.2’de birçok özneliğin (maksimum, ortalama) nasıl hesaplandığı açıktır, diğer özneliklerin nasıl hesaplandığı da Eş. 4.1-4.12 ’de verilmiştir. Görsel olarak açıklamanın daha kolay olduğu bazı özneliklerin nasıl hesaplandığı da Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

$$\text{Standart Sapma} = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4.1)$$

$$\text{Çarpıklık} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n - 1) \cdot s^3} \quad (4.2)$$

$$\text{Basıklık} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n - 1) \cdot s^4} \quad (4.3)$$

Eş. 4.1-4.3’te s standart sapma, \bar{x} ortalama değer, n toplam örnek sayısıdır.

$$\text{Pozitif Eğim Ortalama} = \frac{\sum_{i=0}^m f(i + 1) - f(i)}{m}, \quad f(i + 1) > f(i) \quad (4.4)$$

$$\text{Negatif Eğim Ortalama} = \frac{\sum_{i=0}^n f(i + 1) - f(i)}{n}, \quad f(i + 1) < f(i) \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.4 ve 4.5’de $f(i)$ sürüşün i . saniyesindeki hız değeri, m pozitif ivme sayısı, n negatif ivme sayısıdır.

$$\text{Hız Tepe Nok. Oranı} = 100 \times \frac{\text{Hız tepe noktalarının sayısı}}{\text{Toplam süre}} \quad (4.6)$$

$$\text{Hız Dip Nok. Oranı} = 100 \times \frac{\text{Hız dip noktalarının sayısı}}{\text{Toplam süre}} \quad (4.7)$$

Hız tepe ve dip noktalarını daha iyi anlatmak için Şekil 4.5’de maksimum noktalar kırmızı daireler içinde, minimum noktalar yeşil daireler içinde gösterilmiştir.

$$\text{Sert Hızlanma Oranı} = 100 \times \frac{\text{Pozitif eğimlerin sayısı}}{\text{Toplam süre}}, \quad (4.8)$$

pozitif eğim > 0,5 m/s²

$$\text{Sert Yavaşlama Oranı} = 100 \times \frac{\text{Negatif eğimlerin sayısı}}{\text{Toplam süre}}, \quad (4.9)$$

negatif eğim < -0,5 m/s²

Sert hızlanma ve yavaşlama oranlarını hesaplarırken parametre olarak kullanılan $\pm 0,5 \text{ m/s}^2$ değeri sürüş sırasında yapılan testler sonucunda belirlenmiştir.

$$\text{Aşırı hız} = 100 \times \frac{\text{Hız değerlerinin sayısı}}{\text{Toplam süre}}, \quad \text{hız} > 120 \text{ km/h} \quad (4.10)$$

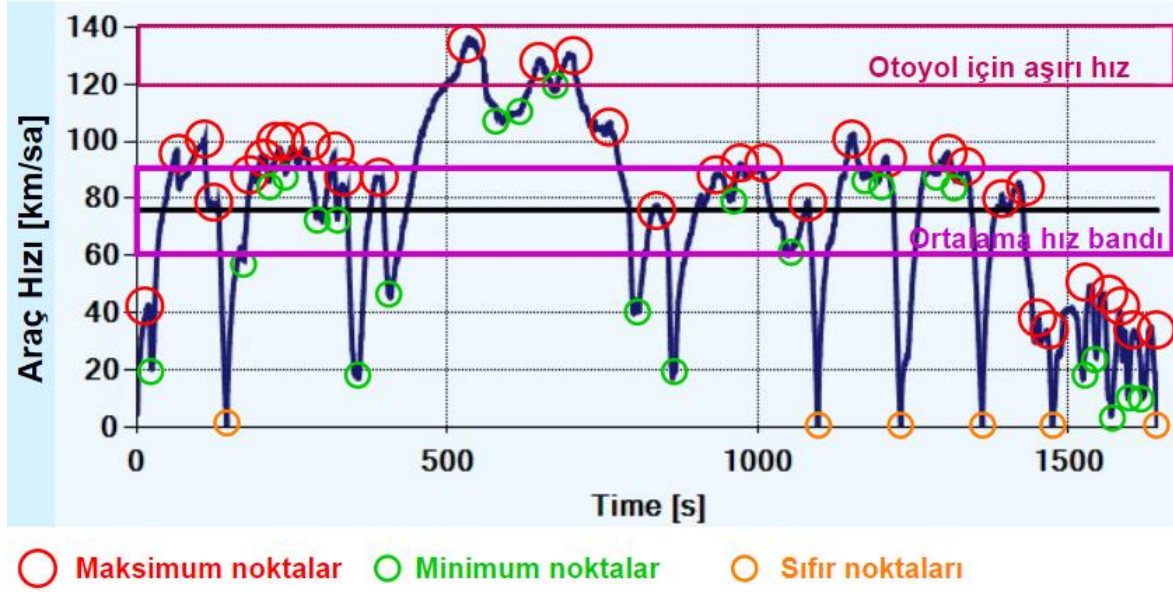
Otoyol sürüşleri için geçerli bu öznitelikte 120 km/h üzerindeki hızlarda gidilen sürenin toplam süreye oranı hesaplanmıştır.

$$\text{Dur – Kalk Oranı} = 100 \times \frac{\text{Hızın sıfır olma sayısı}}{\text{Toplam süre}} \quad (4.11)$$

Daha çok trafik durumunu saptamak için tanımlanan bu parametre Şekil 4.5’de turuncu noktalar ile gösterilen sıfır noktalarının toplam süreye oranından hesaplanmaktadır.

$$\text{Ortalama Hız Oranı} = 100 \times \frac{\text{Ortalama hız bandında geçirilen süre}}{\text{Toplam süre}} \quad (4.12)$$

Ortalama hız bandını hesaplarırken ortalama hızın %20 üstünde ve %20 altında gerçekleşen hızlar dikkate alınmıştır. %20 değeri konunun uzmanlarına danışılarak belirlenmiştir. Şekil 4.6’da ortalama hız bandı gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Bazı özelliklerin hesaplanmasında kullanılan maksimum-minimum noktalar ve dur-kalk noktalarının örnek bir hız-zaman grafiğinde gösterimi

Çizelge 4.2’de gösterilen özniteliklerin değerleri hesaplanarak üç yol tipi için ayrı ayrı veri setleri oluşturulmuştur. Çizelge 4.3-4.5 sırasıyla 977 kayıt içeren yerleşim bölgesi yolu, 750 kayıt içeren şehir içi yolu ve 204 kayıt içeren otoyol için oluşturulan veri setlerinin özetini göstermektedir.

Çizelge 4.3. Yerleşim bölgesi veri seti özeti

	Ortalama	St. Sapma	Minimum	%25	%50	%75	Maksimum
Maksimum Hız	59,95	8,18	34,2	53,6	60	65,2	87,8
Ortalama Hız	34,54	4,28	11,4	31,7	34,7	37,4	50,2
Standart Sapma	13,54	2,01	6,38	12,21	13,44	14,7	28,24
Çarpıklık	-0,48	0,3	-1,43	-0,68	-0,51	-0,33	1,45
Basıklık	2,62	0,44	1,45	2,33	2,56	2,85	5,2
Pozitif Eğim Ortalaması	0,41	0,08	0,22	0,36	0,4	0,45	0,86
Negatif Eğim Ortalaması	-0,41	0,09	-0,78	-0,45	-0,39	-0,35	-0,21
Hız Tepe Noktaları Oranı	7,66	1,57	3,6	6,48	7,44	8,69	12,81
Hız Dip Noktaları Oranı	7,58	1,59	3,24	6,37	7,38	8,64	13,3
Sert Hızlanma Oranı	2,08	0,79	0,37	1,53	2,02	2,5	5,91
Sert Yavaşlama Oranı	2,01	0,78	0	1,5	1,94	2,46	5,01
Aşırı Hız	0	0	0	0	0	0	0
Dur-Kalk Oranı	0,84	1,24	0	0,45	0,72	1,05	35,06
Ortalama Hız Oranı	35,87	8,9	8,2	29,8	35,4	41,4	69,4

Çizelge 4.4. Şehir içi veri seti özeti

	Ortalama	St. Sapma	Minimum	%25	%50	%75	Maksimum
Maksimum Hız	86,68	19,19	38,20	72,93	90,85	100,90	137,10
Ortalama Hız	43,69	12,28	14,70	32,82	44,70	53,48	74,70
Standart Sapma	22,72	6,19	7,94	17,99	24,04	27,43	41,53
Çarpıklık	-0,04	0,48	-1,82	-0,34	-0,05	0,25	1,96
Basıklık	2,18	0,69	1,32	1,73	1,96	2,41	7,34
Pozitif Eğim Ortalaması	0,47	0,11	0,20	0,39	0,45	0,53	1,06
Negatif Eğim Ortalaması	-0,48	0,10	-1,18	-0,54	-0,48	-0,42	-0,23
Hız Tepe Noktaları Oranı	6,21	1,48	2,86	5,14	6,02	7,11	12,77
Hız Dip Noktaları Oranı	6,14	1,49	2,48	5,09	5,96	6,97	12,77
Sert Hızlanma Oranı	2,17	1,01	0,09	1,49	1,98	2,65	6,97
Sert Yavaşlama Oranı	2,26	0,91	0	1,63	2,17	2,75	6,36
Aşırı Hız	0	0	0	0	0	0	9
Dur-Kalk Oranı	1,09	1,05	0	0,62	0,86	1,31	21,17
Ortalama Hız Oranı	22,76	10,49	3,30	15,03	20,60	28,10	80,60

Çizelge 4.5. Otoyol veri seti özeti

	Ortalama	St. Sapma	Minimum	%25	%50	%75	Maksimum
Maksimum Hız	132,45	24,73	91,30	112,70	133,70	151,28	200,60
Ortalama Hız	76,85	16,53	48,40	63,75	75,25	89,78	116,40
Standart Sapma	30,84	6,80	12,18	26,43	30,24	36,06	47,51
Çarpıklık	-0,67	0,75	-3,27	-1,20	-0,39	-0,10	0,58
Basıklık	3,34	2,43	1,56	1,94	2,30	3,67	18,62
Pozitif Eğim Ortalaması	0,37	0,08	0,11	0,33	0,38	0,43	0,58
Negatif Eğim Ortalaması	-0,41	0,09	-0,66	-0,46	-0,40	-0,35	-0,18
Hız Tepe Noktaları Oranı	4,72	1,80	0,91	3,55	4,43	5,96	9,42
Hız Dip Noktaları Oranı	4,71	1,80	0,91	3,53	4,44	5,96	9,38
Sert Hızlanma Oranı	1,23	0,69	0	0,76	1,19	1,68	3,31
Sert Yavaşlama Oranı	1,34	0,65	0	0,85	1,42	1,77	3,12
Aşırı Hız	10	13	0	0	4	15	57
Dur-Kalk Oranı	0,48	0,32	0	0,25	0,43	0,66	2,39
Ortalama Hız Oranı	37,73	20,86	5,00	22,50	30,35	46,47	94,50

Öznitelikler çıkarılıp değerleri hesaplandıktan sonra veri seti üzerinde keşifsel veri analizi yapılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak yerleşim bölgesi veri setinde tüm değerleri 0 olan aşırı hız özniteliği kaldırılmıştır. Daha sonra üç veri setinde de korelasyon analizi yapılarak birbirinden etkilenen ya da birlikte hareket eden öznitelikler tespit edilmiştir. Üç veri setine ait korelasyon analizi sonuçları Çizelge 4.6-4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Yerleşim bölgesi veri setinde korelasyon analizi sonuçları

	Maksimum Hız	Ortalama Hız	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Pozitif Eğim	Negatif Eğim	Hız Tepe Noktaları	Hız Dip Noktaları	Sert Hızlanma	Sert Yavaşlama	Dur-Kalk Oranı	Ortalama Hız Oranı
Maksimum Hız	1	0,70	0,73	0,32	0,05	0,20	-0,36	-0,45	-0,45	0,07	0,14	-0,20	0,19
Ortalama Hız	0,70	1	0,44	-0,32	0,25	-0,08	-0,07	-0,37	-0,38	-0,19	-0,13	-0,36	0,43
Standart Sapma	0,73	0,44	1	0,31	-0,44	0,32	-0,43	-0,47	-0,46	0,16	0,22	0,00	-0,38
Çarpıklık	0,32	-0,32	0,31	1	-0,37	0,36	-0,39	-0,12	-0,12	0,32	0,36	0,17	-0,32
Basıklık	0,05	0,25	-0,44	-0,37	1	-0,28	0,25	0,11	0,10	-0,25	-0,25	-0,14	0,84
Pozitif Eğim	0,20	-0,08	0,32	0,36	-0,28	1	-0,72	-0,01	-0,01	0,80	0,65	0,16	-0,31
Negatif Eğim	-0,36	-0,07	-0,43	-0,39	0,25	-0,72	1	0,22	0,23	-0,58	-0,80	-0,07	0,24
Hız Tepe Noktaları	-0,45	-0,37	-0,47	-0,12	0,11	-0,01	0,22	1	1	0,34	0,19	0,08	0,02
Hız Dip Noktaları	-0,45	-0,38	-0,46	-0,12	0,10	-0,01	0,23	1	1	0,34	0,19	0,09	0,02
Sert Hızlanma	0,07	-0,19	0,16	0,32	-0,25	0,80	-0,58	0,34	0,34	1	0,71	0,14	-0,29
Sert Yavaşlama	0,14	-0,13	0,22	0,36	-0,25	0,65	-0,80	0,19	0,19	0,71	1	0,10	-0,28
Dur-Kalk Oranı	-0,20	-0,36	0,00	0,17	-0,14	0,16	-0,07	0,08	0,09	0,14	0,10	1	-0,29
Ortalama Hız Oranı	0,19	0,43	-0,38	-0,32	0,84	-0,31	0,24	0,02	0,02	-0,29	-0,28	-0,29	1

Çizelge 4.7. Şehir içi veri setinde korelasyon analizi sonuçları

	Maksimum Hız	Ortalama Hız	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Pozitif Eğim Ortalaması	Negatif Eğim	Hız Tepe Noktaları	Hız Dip Noktaları	Sert Hızlanma	Sert Yavaşlama	Aşırı Hız	Dur-Kalk Oranı	Ortalama Hız Oranı
Maksimum Hız	1	0,83	0,90	-0,14	-0,28	-0,02	-0,14	-0,42	-0,41	-0,15	-0,14	0,21	-0,15	-0,35
Ortalama Hız	0,83	1	0,75	-0,61	-0,28	-0,22	0,04	-0,57	-0,56	-0,40	-0,36	0,20	-0,33	-0,12
Standart Sapma	0,90	0,75	1	-0,11	-0,55	0,06	-0,20	-0,41	-0,40	-0,08	-0,09	0,18	-0,05	-0,61
Çarpıklık	-0,14	-0,61	-0,11	1	0,11	0,30	-0,19	0,34	0,34	0,40	0,34	-0,03	0,28	-0,23
Basıklık	-0,28	-0,28	-0,55	0,11	1	-0,09	0,16	0,22	0,22	0,00	0,01	-0,03	0,04	0,74
Pozitif Eğim Ortalaması	-0,02	-0,22	0,06	0,30	-0,09	1	-0,70	0,25	0,24	0,78	0,65	0,06	0,21	-0,22
Negatif Eğim	-0,14	0,04	-0,20	-0,19	0,16	-0,70	1	-0,10	-0,08	-0,60	-0,74	-0,06	-0,15	0,22
Hız Tepe Noktaları	-0,42	-0,57	-0,41	0,34	0,22	0,25	-0,10	1	1	0,63	0,60	-0,06	0,13	0,08
Hız Dip Noktaları	-0,41	-0,56	-0,40	0,34	0,22	0,24	-0,08	1	1	0,63	0,59	-0,06	0,13	0,07
Sert Hızlanma	-0,15	-0,40	-0,08	0,40	0,00	0,78	-0,60	0,63	0,63	1	0,81	0,02	0,22	-0,18
Sert Yavaşlama	-0,14	-0,36	-0,09	0,34	0,01	0,65	-0,74	0,60	0,59	0,81	1	0	0,20	-0,12
Aşırı Hız	0,21	0,20	0,18	-0,03	-0,03	0,06	-0,06	-0,06	-0,06	0,02	0	1	-0,04	0,01
Dur-Kalk Oranı	-0,15	-0,33	-0,05	0,28	0,04	0,21	-0,15	0,13	0,13	0,22	0,20	-0,04	1	-0,16
Ortalama Hız Oranı	-0,35	-0,12	-0,61	-0,23	0,74	-0,22	0,22	0,08	0,07	-0,18	-0,12	0,01	-0,16	1

Çizelge 4.8. Otoyol veri setinde korelasyon analizi sonuçları

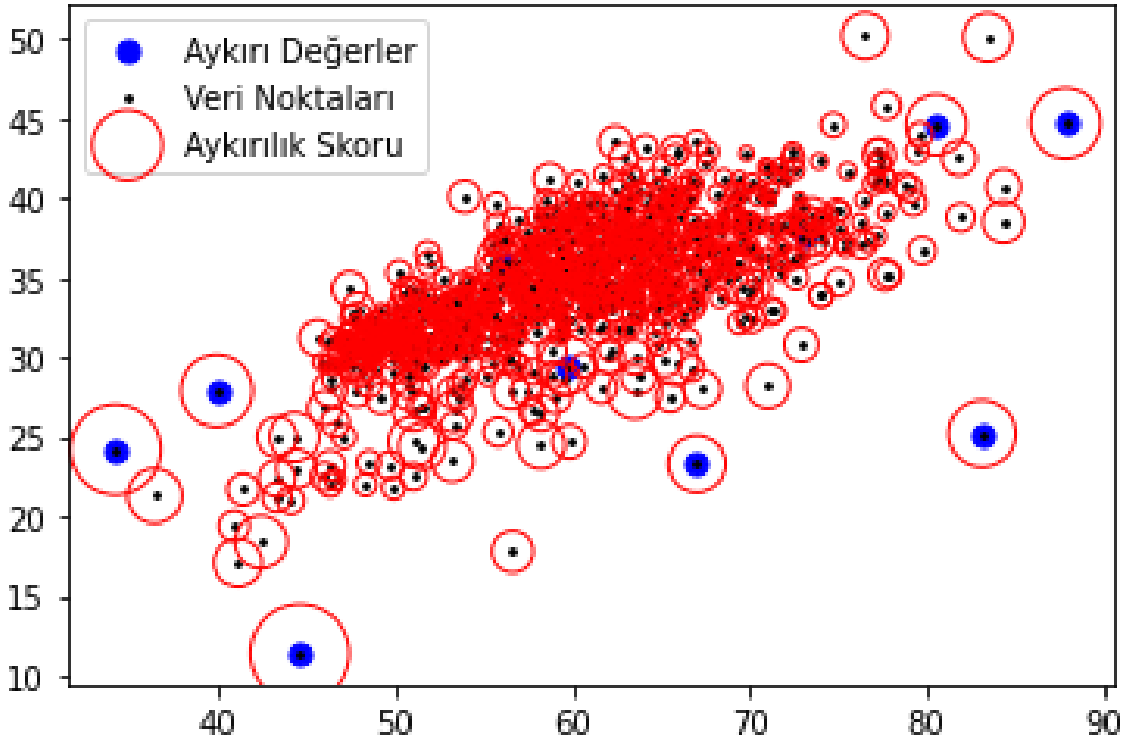
	Max Speed	Mean Speed	Standard Deviation	Skewness	Kurtosis	Positive Slop Avg	Negative Slop Avg	Max Point Ratio	Min Point Ratio	Hard Acc Ratio	Hard Dec Ratio	Overspeed	Stop and Go Ratio	Mean Band Ratio
Max Speed	1	0,64	0,62	0,00	0,09	0,12	-0,34	-0,46	-0,46	-0,26	-0,16	0,72	-0,29	0,14
Mean Speed	0,64	1	0,04	-0,71	0,62	-0,44	0,25	-0,65	-0,65	-0,64	-0,66	0,69	-0,66	0,69
Standard Deviation	0,62	0,04	1	0,54	-0,58	0,64	-0,68	0,03	0,03	0,32	0,38	0,50	0,26	-0,59
Skewness	0,00	-0,71	0,54	1	-0,85	0,69	-0,63	0,45	0,45	0,62	0,72	-0,15	0,55	-0,85
Kurtosis	0,09	0,62	-0,58	-0,85	1	-0,70	0,57	-0,49	-0,49	-0,60	-0,66	0,10	-0,53	0,90
Positive Slop Avg	0,12	-0,44	0,64	0,69	-0,70	1	-0,80	0,49	0,48	0,81	0,81	0,01	0,63	-0,72
Negative Slop Avg	-0,34	0,25	-0,68	-0,63	0,57	-0,80	1	-0,14	-0,14	-0,51	-0,68	-0,12	-0,42	0,57
Max Point Ratio	-0,46	-0,65	0,03	0,45	-0,49	0,49	-0,14	1	1	0,83	0,76	-0,34	0,64	-0,54
Min Point Ratio	-0,46	-0,65	0,03	0,45	-0,49	0,48	-0,14	1	1	0,83	0,76	-0,34	0,64	-0,54
Hard Acc Ratio	-0,26	-0,64	0,32	0,62	-0,60	0,81	-0,51	0,83	0,83	1	0,91	-0,24	0,76	-0,67
Hard Dec Ratio	-0,16	-0,66	0,38	0,72	-0,66	0,81	-0,68	0,76	0,76	0,91	1	0	0,71	-0,71
Overspeed	0,72	0,69	0,50	-0,15	0,10	0,01	-0,12	-0,34	-0,34	-0,24	0	1	-0,28	0,14
Stop and Go Ratio	-0,29	-0,66	0,26	0,55	-0,53	0,63	-0,42	0,64	0,64	0,76	0,71	-0,28	1	-0,63
Mean Band Ratio	0,14	0,69	-0,59	-0,85	0,90	-0,72	0,57	-0,54	-0,54	-0,67	-0,71	0,14	-0,63	1

Korelasyon analizinde eşik değeri olarak belirlenen ± 0.8 değerinden daha yüksek/düşük değerde korelasyona sahip özneliklerden biri elenmiştir. Çünkü birbirinden etkilenen ya da birlikte hareket eden özneliklerin tümünü kullanmak sistem kaynaklarını gereksiz olarak fazla kullanmanın yanında modelin çalışmasında bozucu etkilere yol açar. Korelasyon analizinden sonra üç veri seti için dikkate alınacak öznelikler Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

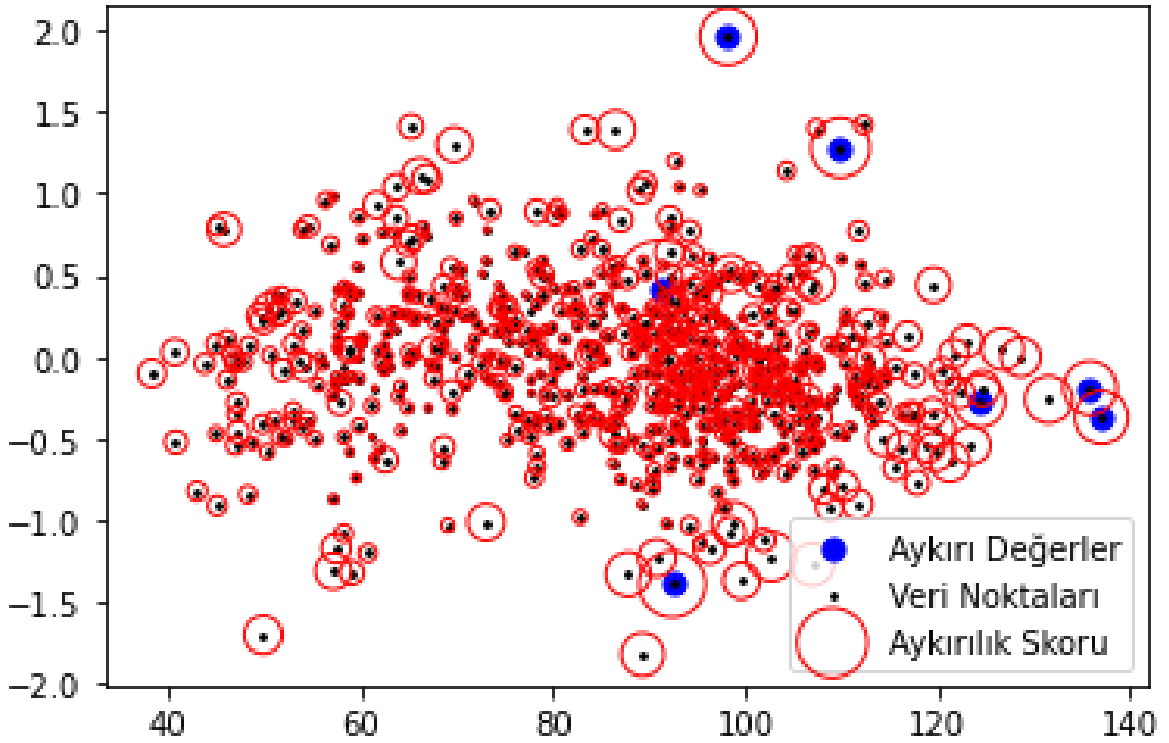
Yerleşim Bölgesi Veri Seti	Şehir İçi Veri Seti	Otoyol Veri Seti
Maksimum Hız	Maksimum Hız	Maksimum Hız
Dur-Kalk Oranı	Dur-Kalk Oranı	Dur-Kalk Oranı
Ortalama Hız Oranı	Ortalama Hız Oranı	Ortalama Hız Oranı
Çarpıklık	Çarpıklık	Negatif Eğim Ortalaması
Standart Sapma	Negatif Eğim Ortalaması	Standart Sapma
Ortalama Hız	Hız Dip Noktaları Oranı	Ortalama Hız
Sert Yavaşlama Oranı	Sert Yavaşlama Oranı	Hız Tepe Noktaları Oranı
Sert Hızlanma Oranı	Aşırı Hız	Aşırı Hız
Hız Dip Noktaları Oranı	Pozitif Eğim Ortalaması	Pozitif Eğim Ortalaması
	Basıklık	

Şekil 4.7. Üç veri seti için özniteliklerin listesi

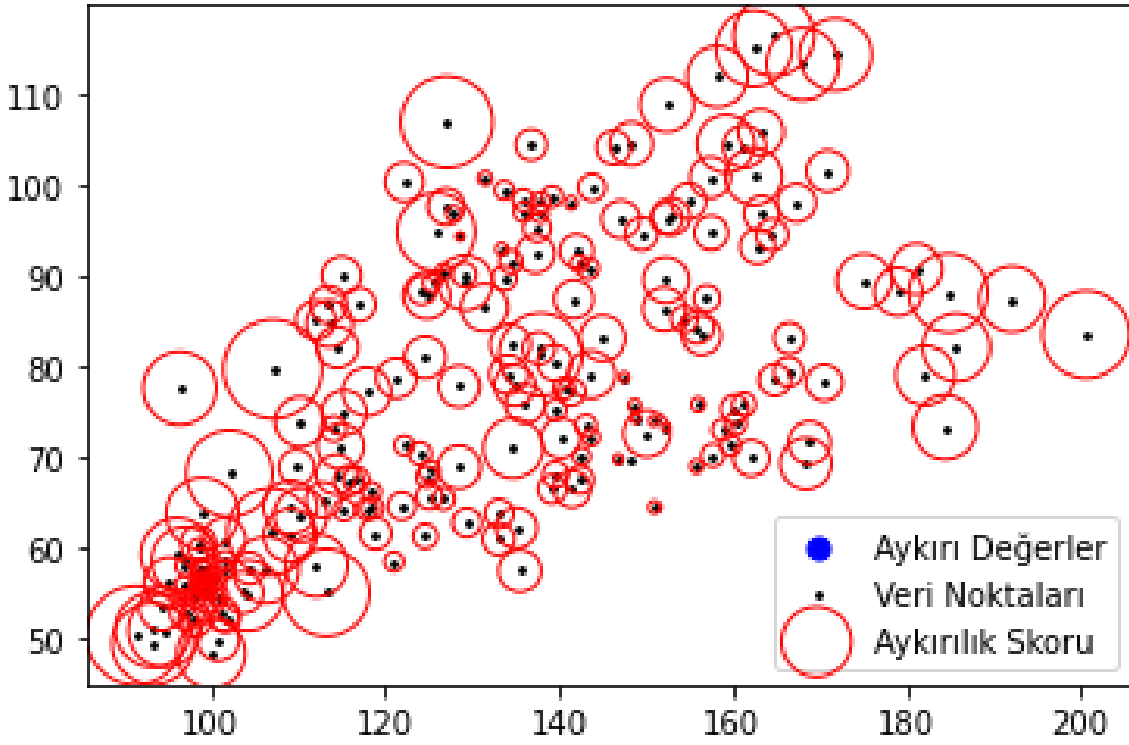
Veri ön işleme aşamasında yapılan işlemlerden biri de kayıp ya da eksik veri kontrolüdür. Ancak üç veri setinde de böyle kusurlu bir veri çıkmamıştır. Daha sonra aykırı veri olup olmadığına bakılmıştır. Aykırı verileri temizlemek için yerel aykırı faktör yöntemi kullanılmıştır. Her noktanın etrafındaki 20 komşuya bakarak yapılan bu aykırılık analiziyle, belirlenen eşik değerinin üstünde değer alan yani diğer verilerden farklılık gösteren veriler veri setinden temizlenmiştir. Aykırı veriler temizlenerek makine öğrenmesi modellerinin aşırı öğrenme sorunu ile karşı karşıya kalmaması sağlanmıştır. Şekil 4.8-4.10'da üç veri setine ilişkin aykırılık analizi sonuçları gösterilmiştir. Bu şekillerdeki eksenlerin birimi yoktur.



Şekil 4.8. Yerleşim bölgesi verisi için aykırı değer analizi



Şekil 4.9. Şehir içi verisi için aykırı değer analizi



Şekil 4.10. Otoyol verisi için aykırı değer analizi

Şekil 4.8-4.10'da küçük siyah noktalar veri noktalarını, kırmızı çemberler her nokta için hesaplanan aykırılık değerini, mavi noktalar ise belirlenen eşik değerini aşan aykırılık skoruna sahip örnekleri göstermektedir. Bu işlemin sonunda yerleşim bölgesi veri setinden 10, şehir içi veri setinden 7 adet veri kaldırılmıştır. Otoyol veri setinde aykırı veri çıkmamıştır. Aykırı veriler çıkarıldıktan sonra örnek sayıları yerleşim bölgesi için 967, şehir içi için 743, ve otoyol için 204 olmuştur.

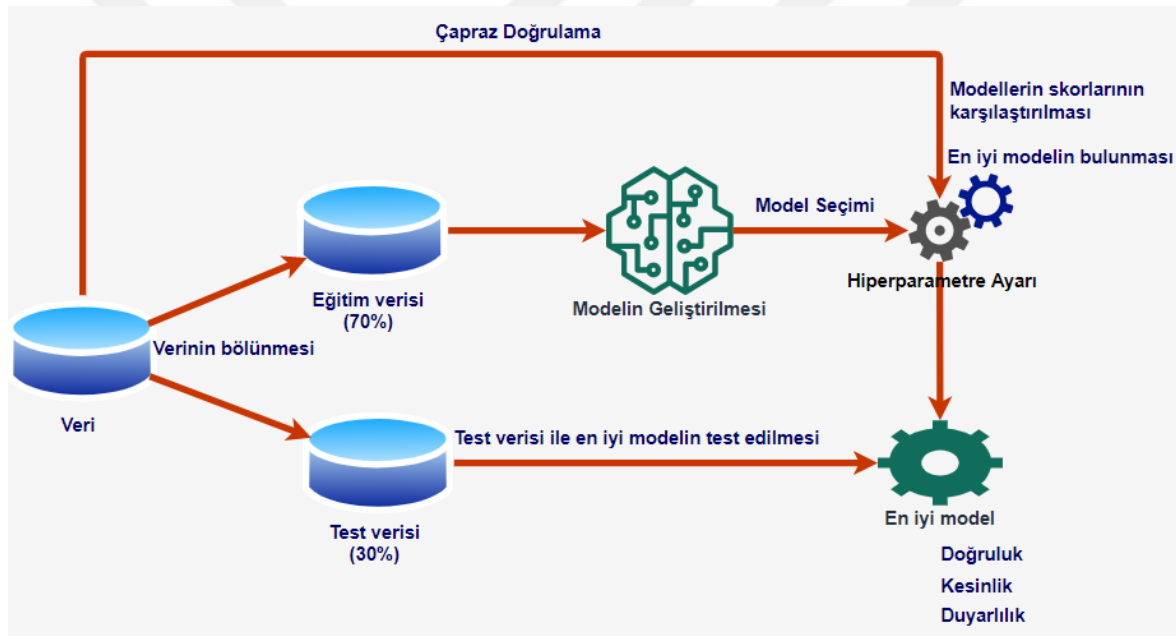
Aykırı veriler silindikten sonra veri setleri eğitim ve test verileri olarak ayrılmış ve bu verilere standartlaştırma işlemi uygulanmıştır. Veri setini eğitim ve test verilerine bölmek sınıflandırma algoritmalarında en iyi parametreleri bulurken eğitim ve test bölümlerindeki doğruluk değerlerini karşılaştırma imkânı verecektir. Üç veri setinde de veri seti %70 eğitim, %30 test verisi olacak şekilde bölünmüştür. Daha sonra öznitelikler arasındaki ölçek farkını gidermek için standardizasyon işlemi yapılmıştır. Eş. 4.13'de gösterilen standardizasyon işlemi ile bir özelliğe ait verilerin ortalamasının 0, standart sapmasının 1 olması sağlanmaktadır. Bu işlem özellikle uzaklık bazlı hesaplamaları kullanan modellerin başarısına önemli katkı sağlamaktadır.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4.13)$$

Burada x değişken değeri, μ ortalama değeri σ ise standart sapmadır.

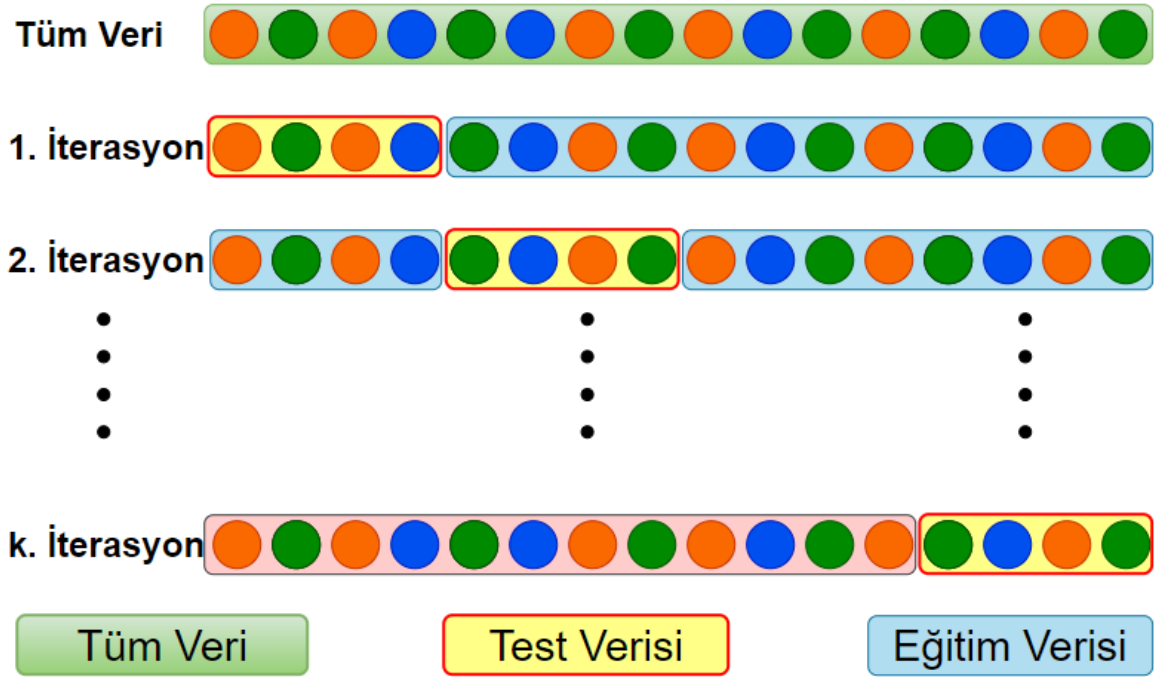
4.1.2. Sınıflandırma modellerinin kurulması

Verinin ön işleme aşaması tamamlandıktan sonra yapılması gereken probleme uygun olarak bir algoritma seçilip sınıflandırma modelinin çalıştırılmasıdır. Şekil 4.11’de verinin eğitim ve test veri setlerine ayrılması, modelin eğitim verisi ile eğitilmesi, bu modelde en iyi sonucu verecek olan hiperparametrelerin tespiti ve bu parametrelere sahip modelin test verisi ile test edilmesi gösterilmektedir.



Şekil 4.11. En iyi modeli bulma ve test verileriyle test etme

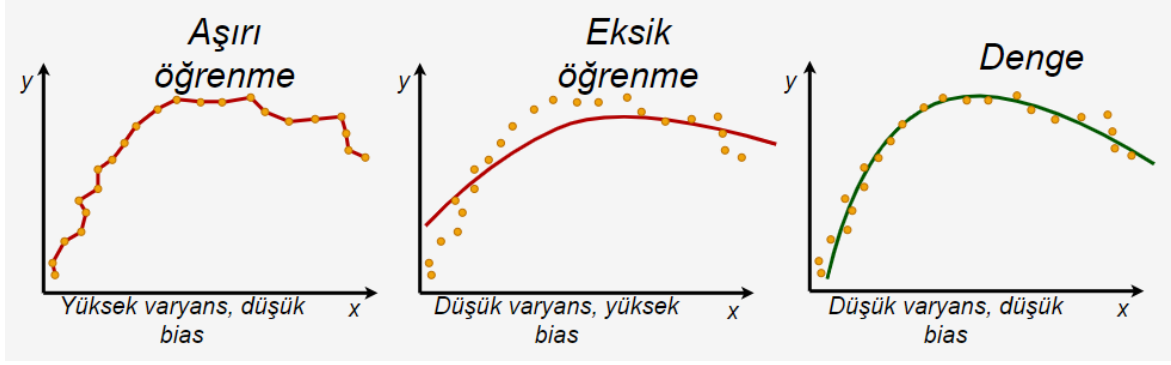
Bir modelin en iyi parametreleri bulunurken GridSearchCV [232] algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma kullanılırken Şekil 4.12’de gösterildiği üzere tüm veri 10 adet parçaya bölüp her bir iterasyonda farklı bir bölümü test, diğerleri eğitim verisi olarak kullanılmıştır. Her sınıflandırma modelinin ayarlanacak parametresi sırayla denenerek en yüksek doğruluk değerini veren parametreler tespit edilmiştir.



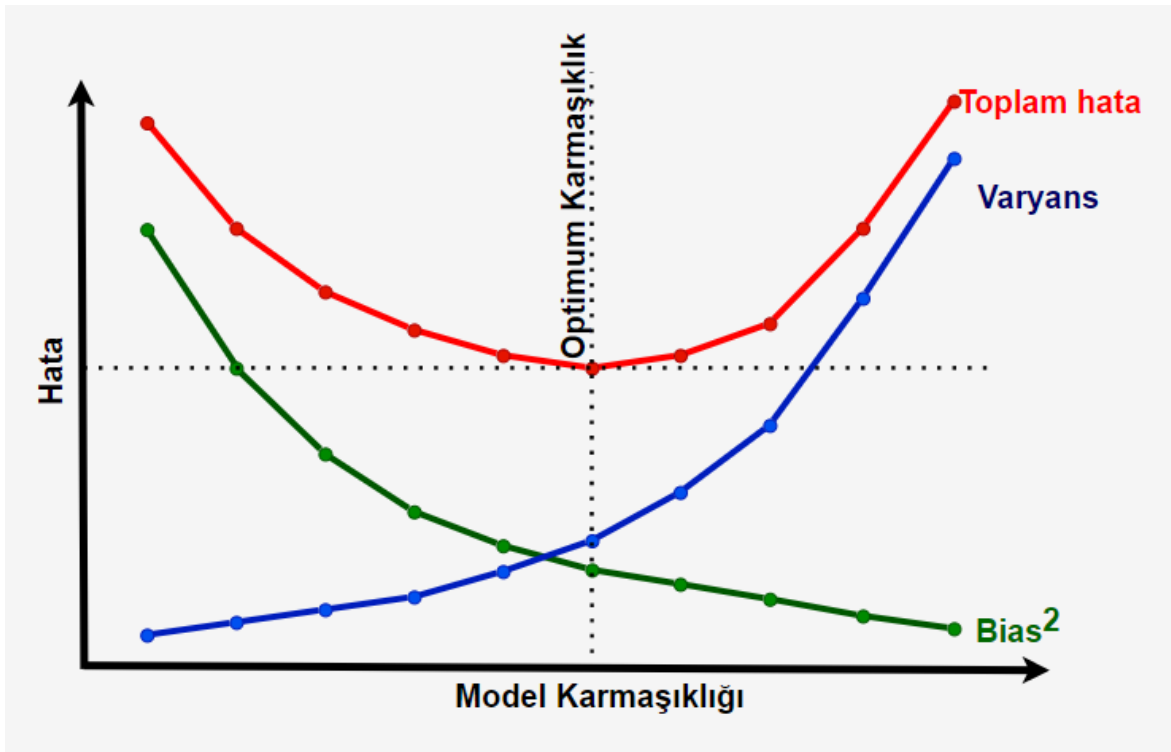
Şekil 4.12. Çapraz doğrulama yöntemi

Çapraz doğrulama yönteminde, tüm veriler k katına bölünür, her seferinde farklı bir kat test verisi olarak ayrılırken, diğer katlar eğitim verisi olarak kullanılır. Tüm iterasyonlarda elde edilen sonucun ortalaması alınarak modelin başarısı hesaplanır.

GridSearchCV ile en iyi parametreleri bulmanın yanında aşırı öğrenme ya da eksik öğrenme durumlarının olmaması için modelin eğitim ve test veri setlerinde yakaladığı doğruluk oranları da karşılaştırılmalıdır. Şekil 4.13’de gösterildiği gibi eğer model eğitim veri setinde çok iyi başarı gösterip test veri setinde aynı başarıyı gösteremiyorsa burada bir aşırı öğrenme sorunu vardır. Yani modelin varyansı yüksektir, eğitim verilerini ezberlemiştir ve kendini yeni veriler için genelleymemektedir. Her iki veri setinde de sonuçlar kötü ise model aşırı basit olmuş yüksek biaslar üretmiş ve genelleme yapacak kadar eğitilememiştir. Modelin en iyi parametrelerine karar verirken Şekil 4.14’de gösterildiği gibi varyans ve bias arasındaki en iyi takası bulmak gerekir.



Şekil 4.13. Aşırı, eksik öğrenme ve denge durumları



Şekil 4.14. Bir modelin en uygun parametreleri bulunurken varyans ve bias arasında bir takas yaparak optimum denge elde edilir

Makine öğrenmesi algoritmaları, bir sistemde çıkış ve girişler arasında net bir ilişki kurulamadığında geçmiş deneyimlerden öğrenerek çözümler sunmak, yapılandırılmamış karmaşık veri yığınlarından anlamlı sonuçlar çıkarmak, büyük veri kümeleri içindeki örüntüleri tespit edebilmek için çeşitli istatistiksel, olasılıksal ve optimizasyon yöntemleri kullanır [233]. Denetimli, denetimsiz, yarı denetimli olarak kategorize edilmiş bu algoritmalar izinsiz giriş tespiti [234], e-posta filtreleme [235], müşteri satın alma davranışı tespiti [236], sürüş stili tanıma [237], imalat süreci [238] gibi alanlarda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Denetimli öğrenmede etiketli bir veri kümesinde girdi seti ile çıktı arasında bir ilişki kuracak şekilde model eğitilmekte ve yeni verilere en uygun çıktılar

üretilmektedir. Bir sürücünün sürüş stilini tanılayan bu çalışmamız bir denetimli makine öğrenmesi yöntemi gerektirmektedir. Bunun için k-NN, destek vektör makineleri, karar ağaçları, yapay sinir ağları, lojistik regresyon ve naive Bayes algoritmaları ile çözümler aranmıştır.

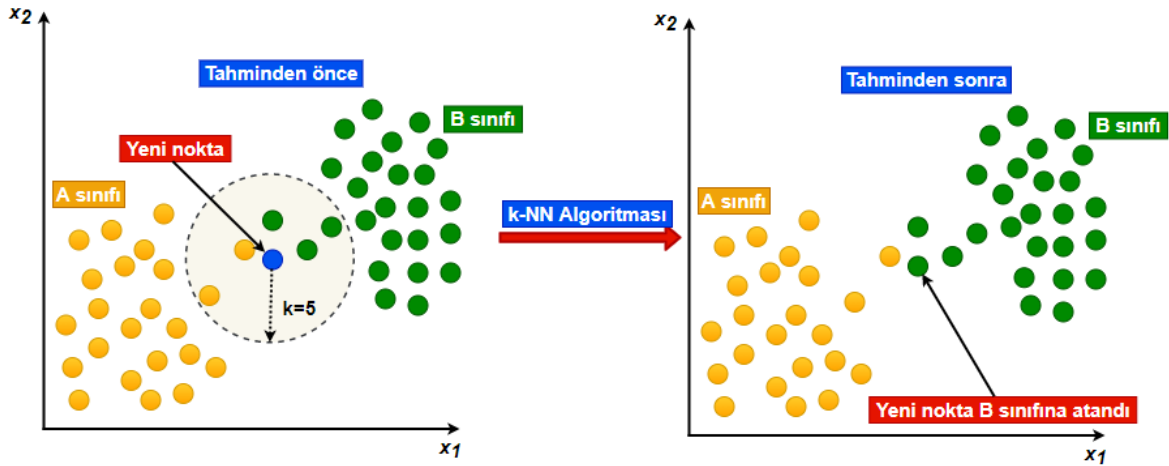
k-NN sınıflandırıcı

k en yakın komşu (k-NN) algoritması çok basit, anlaşılması ve kullanılması kolay makine öğrenimi algoritmalarından biridir. En yakın komşu yöntemleri, yeni noktaya en yakın mesafede daha önce tanımlanmış eğitim örneklerini bulur ve buna göre yeni noktanın sınıfını tahmin eder. k parametresi, test verilerini sınıflandırmak için kaç tane en yakın komşunun dikkate alınacağını gösterir [239]. Uzaklık hesaplaması Eş. 4.14'de gösterildiği gibi Manhattan, Euclidean, Minkowski gibi yöntemlerle belirlenir.

$$d(x, y) = \left(\sum_{i=1}^n (|x_i - y_i|)^q \right)^{\frac{1}{q}} \quad (4.14)$$

Minkowski yöntemi olarak bilinen bu denklemde q=1 alınırsa Manhattan, q=2 alınırsa Öklid yöntemine göre hesaplama yapılır.

k-NN gibi genelleştirici olmayan makine öğrenimi yöntemleri olarak bilinen komşu tabanlı yöntemler tüm eğitim verilerini hızlıca ve kolayca değerlendirebilir. k-NN sınıflandırıcı basit bir algoritmaya sahip olmasına rağmen çok sayıda sınıflandırma probleminde başarılı olmuştur. Çok sayıda parametre gerektirmez ve karar sınırının çok düzensiz olduğu sınıflandırma durumlarında genellikle başarılı sonuçlar çıkarır. Eğitim verilerinin örneklerini depolar ancak bu verilerle bir model oluşturmaz. Bu yöntemle yapılan sınıflandırmada, Şekil 4.15'de gösterildiği gibi, her noktanın sınıfı, en yakın komşularının basit çoğunluk oylamasıyla belirlenir.

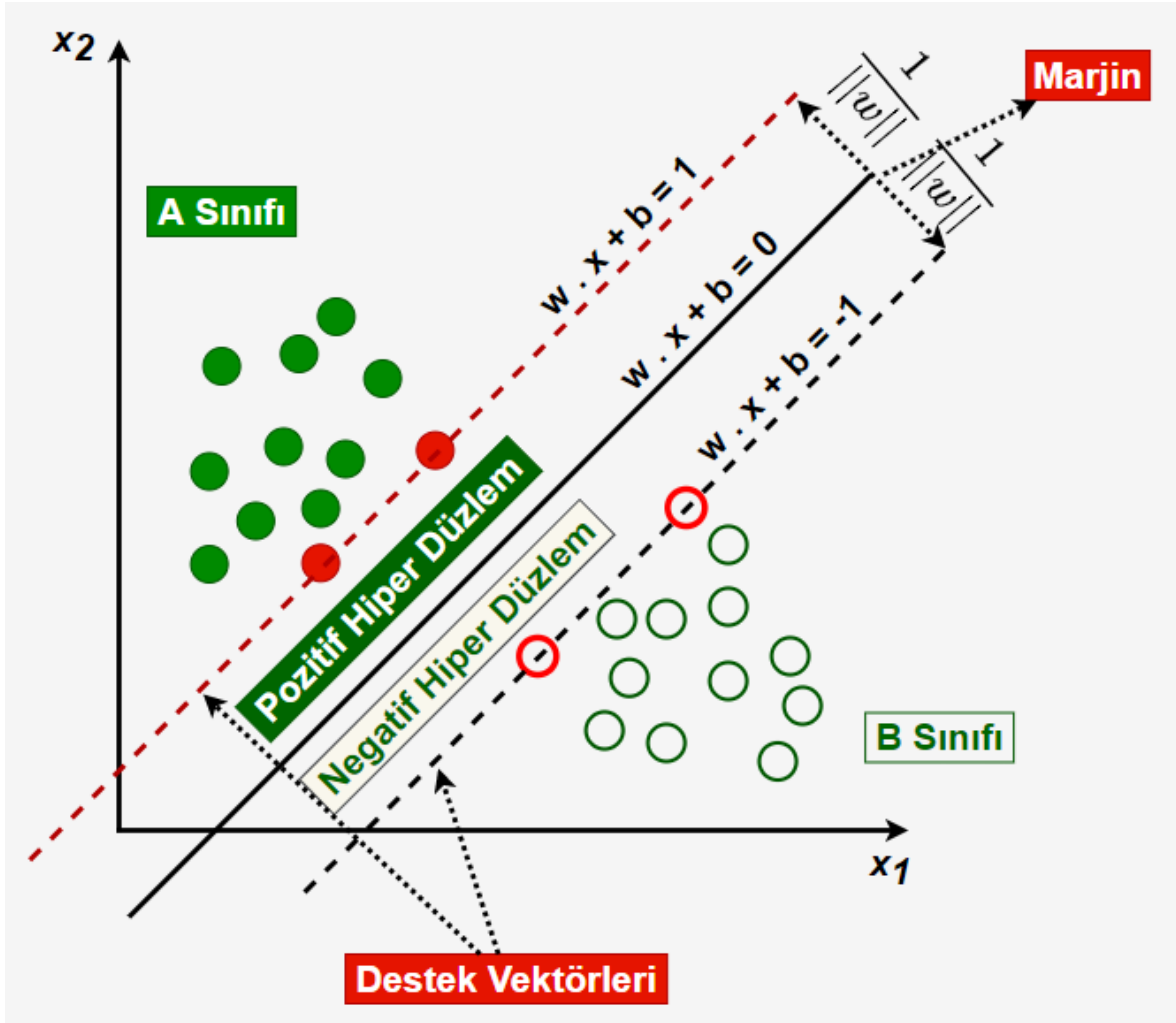


Şekil 4.15. En yakın komşu parametresi $k=5$ olan k-NN algoritması ile mavi ile gösterilen yeni bir örneğin yeşil sınıfa atanması

Tembel algoritmalarından biri olan k-NN, herhangi bir model oluşturmadığı için eğitim aşaması maliyetsizdir ve zaman almaz. Ancak test aşaması, daha fazla zaman ve bellek gerektirir. Eğer veri seti çok sayıda veri içeriyorsa bunların tümünün taranması ve depolanması bilgisayarı bellek kullanımı yönünden zorlayabilir. Çok yüksek boyutlu ve dengesiz dağılıma sahip veri setlerinde başarı oranı düşer. k-NN ile daha iyi sonuçlar elde etmek için veri setindeki aykırı veriler temizlenmeli ve ölçeklendirme yapılmalıdır.

Destek vektör sınıflandırıcı

Destek vektör makineleri (DVM), Vladimir Vapnik ve Alexey Chervonenkis tarafından istatistiksel öğrenme teorisine dayanarak geliştirilen denetimli öğrenme yöntemlerinden biridir [240]. DVM hem doğrusal hem de doğrusal olmayan verileri sınıflandırabilir. Bu yöntemde girdi uzayı adı verilen girişler, sınıflandırıcının genelleme yeteneğini artırmak için en uygun düzlemlerin belirlendiği özellik uzayı adı verilen çok boyutlu bir iç çarpım uzayı üzerine haritalanır. Optimal düzlemler bulunurken optimizasyon teorisi ve istatistiksel öğrenme teorisi kullanılır. Bir sınıf için hesaplanan marjinal uzaklık, karar hiperdüzlemi ile o sınıfın bir üyesi olan en yakın örnek arasındaki mesafeyi belirtir. DVM’de sınıflandırma yapabilmek için, Şekil 4.16’daki gibi iki sınıfı maksimum farkla ayıran hiperdüzlemi bulmak gerekir. DVM, çok sayıda bağımsız değişkenle çalışabilmesi, çok az girdi ile öğrenebilmesi, doğrusal olarak ayrılabilen veya ayrılamayan verilere uygulanabilmesi ve yüksek doğrulukta sonuçlar vermesi açısından avantajlıdır.



Şekil 4.16. Bir hiper düzlem, iki sınıf arasındaki en uzak mesafeyi sağlayan DVM sınıflandırıcısı tarafından belirlenir

N boyutlu gerçek uzayda her biri bir veri çiftinden oluşan N veri vektörü olsun ve bu veri vektörlerine karşılık gelen sınıf etiketi $y_i \in \{-1, +1\}$ olsun. Bu durumda $y_i = -1$ ise x_i birinci sınıfa, $y_i = +1$ ise x_i ikinci sınıfa atanır. Doğrusal olarak ayrılabilen veriler için, x_i pozitif sınıfa aitse $f(x) \geq 0$ ve x_i negatif sınıfa aitse $f(x) < 0$ olmak üzere bu verileri birbirinden ayıran bir $f(x)$ hiperdüzlemi Eş. 4.15 ve 4.16'da olduğu gibi tanımlanabilir:

$$f(x) = w \cdot x + b = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_j + b \quad (4.15)$$

$$y_i f(x_i) = y_i (w \cdot x + b) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.16)$$

Burada w , n -boyutlu bir vektördür ve b , eşittir. Ayrıca, w ve x 'in uç düzleme $1/||w||$ uzaklıkta en yakın nokta olması koşulu ile Eş. 4.16'daki ifade Eş. 17'deki gibi yazılabilir:

$$y_i(w \cdot x + b) \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.17)$$

Karar ağacı sınıflandırıcı

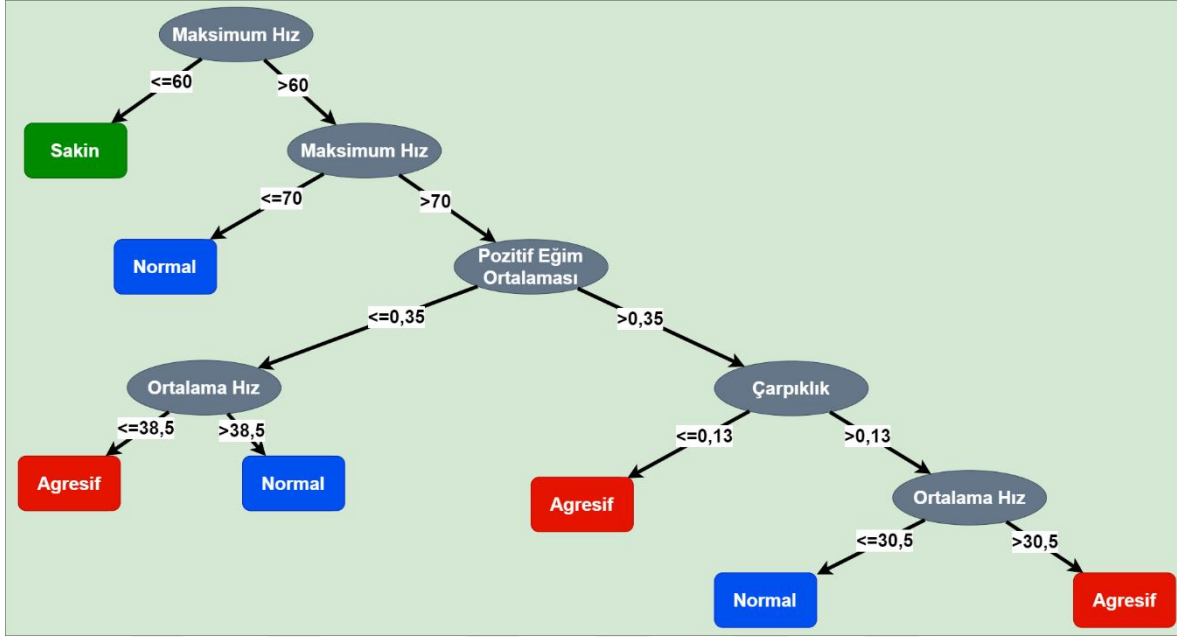
Karar ağaçları, en eski ve önde gelen makine öğrenimi algoritmalarından biridir. Bu tekniğin yapısı verinin hiyerarşik bir şekilde ayrıştırılmasına dayanır [241]. Karar ağacı bir sınıflandırıcı olarak D. Morgan [242] tarafından tanıtılmış ve JR Quinlan [243] tarafından geliştirilmiştir. Bir karar ağacı, daha önce gerçekleşmiş veriler üzerinden bir karar mantığı modeller. Karar ağacındaki tüm dahili düğümler girdi değişkenlerini veya ilgili öznitelik üzerindeki testleri temsil eder. Test sonucuna bağlı olarak, sınıflandırma algoritması, yaprak düğüme [243] ulaşana kadar test ve dallanma sürecini devam ettirir. Yaprak adı verilen en uçtaki düğümler, modelin kararını gösterir. Karar ağacı bir beyaz kutu modelidir, bir örneğin neden başka bir sınıfta değil de bu sınıfta olduğunun tam olarak anlaşılmasını sağlar. Ayrıca karar ağacının sonuçlarına bakarak çıkış için hangi girişin ya da özelliğin daha kritik olduğunu görmek de mümkün olur. Bu algoritma kurduğu karar mekanizmasını hesapladığı bilgi entropisine dayandırır. Entropi, beklenmedik bir olayın olma olasılığını ve belirsizliğini gösterir. S veri setinin bilgi entropisi olan $E(S)$ Eş. 4.18'deki gibi hesaplanır:

$$E(S) = \sum_{i=1}^c -p_i \log_2 p_i \quad (4.18)$$

Burada p , başarı olasılığıdır. Tüm giriş özniteliklerinin entropisi, Eş. 4.19'deki gibi hesaplanır:

$$E(T, x) = \sum_{c \in X} P(c)E(c) \quad (4.19)$$

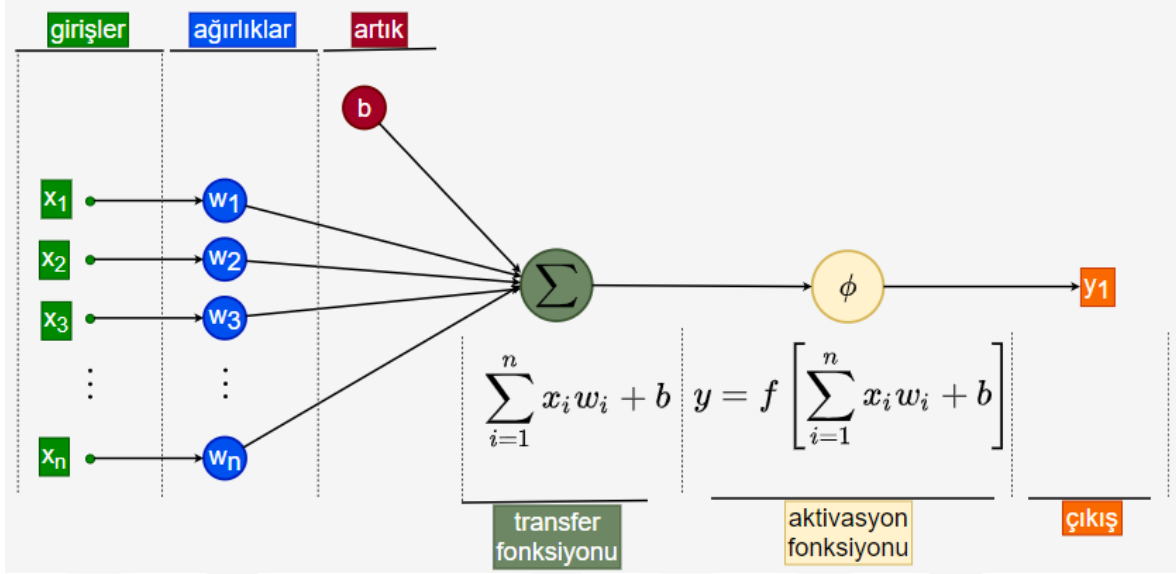
Burada T çıktı niteliği, x girdi niteliği, $P(c)$ x 'teki olası veri noktasının olasılığı ve $E(c)$ bunun değeridir. Şekil 4.17'de bir yerleşim bölgesinde yapılan sürüş kaydından çıkarılan özniteliklere göre sürüş stiline karar ağacı ile sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 4.17. Sürüş döngüsünden çıkarılan özelliklere dayalı olarak sürüş stilinin karar ağacı ile sınıflandırılması

Yapay sinir ağı sınıflandırıcı

Yapay sinir ağları (YSA), belirli bir görevi ya da işlevi yerine getirmek için insan beyninden ilham alan makine öğrenimi algoritmasıdır. Warren McCulloch ve Walter Pitts, girdileri alan, bu girdileri işleyen ve bir çıktı döndüren bir nöron için basit matematiksel modeli tanımlayarak bu algoritmanın temellerini atmıştır [244]. Bir yapay sinir ağı her bir sinirin kendisiyle ilişkili bir öneme (ağırlığa) sahip olduğu bir dizi giriş/çıkış birimidir. Öğrenme aşamasında, YSA verilen girdilerin doğru sınıf etiketini tahmin etmek için ağırlıkları sürekli olarak değiştirir. Bir yapay sinir ağında girişler bir ağırlık faktörü ile çarpılıp toplanır ve bir transfer fonksiyonuna aktarılır. Şekil 4.18'de bir yapay sinirin giriş ve çıkış parametreleri, ağırlık değerleri, transfer ve aktivasyon fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Bir nörondaki hesaplamalar

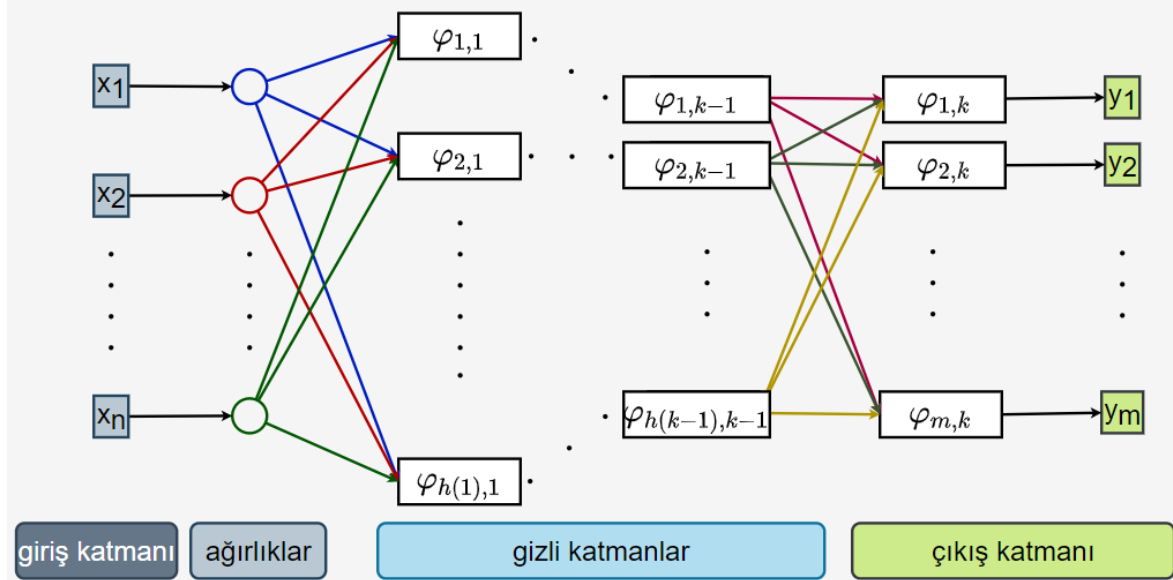
Şekil 4.18'de gösterilen yapay sinir modelinin matematiksel ifadesi Eş. 4.20'de gösterilmiştir.

$$y = f \left[\sum_{i=1}^n x_i w_i + b \right] \quad (4.20)$$

Burada x_i girişler, w_i ağırlıklar, b artık (bias), y ise çikıştır. f aktivasyon fonksiyonunu gösterir. Beklenen çıkış ile elde edilen çıkış arasındaki fark hata olarak adlandırılır. Hata, belirlenmiş eşik değerinden büyük olduğunda ağırlık faktörlerini değiştirmek gerekir. Geri yayılım işlemi olarak adlandırılan bu işlemle sinirler yeni hesaplamalar için bir kez daha eğitilir ve hataların azaltılması sağlanır [245]. Geriye yayılmanın ilk fazı düğümdeki giriş bilgilerinin çıkış bilgisini hesaplaması için ileri doğru ilerletildiği ileri besleme aşamasıdır. İkinci faz ise çıkış birimlerinde hesaplanan ile gerçek bilgi arasındaki farklara dayanarak ağırlık değerlerinde değişikliklerin yapıldığı aşamadır. Burada ana kural tekrarlanan prosedürler ile hesaplanan çıkış ile gerçek çıkış arasındaki hatayı en aza indirmektir [246]. Bu işleme yapay sinir ağının öğrenmesi denir.

İleri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere iki tür yapay sinir ağı vardır. İleri beslemeli sinir ağı, yinelemeli değildir. Bir katmandaki nöronlar sadece bir sonraki katmandaki nöronlarla bağlantılıdır ve bir döngü oluşturmazlar, sinyaller sadece çıktı katmanına doğru hareket eder. İleri beslemeli yapay sinir ağında sinirler katmanlar halinde düzenlenir ve bir katmandaki sinirlerin çıkışları bir sonraki katmana girişler olarak verilir [247]. Şekil 4.19'da gösterilen yapının matematiksel ifadesi Eş. 4.21'de verilmiştir. Tekrarlayan sinir ağları

olarak da bilinen geri beslemeli sinir ağı birtakım döngüler içerir. Sinyaller, sinir ağına döngüler oluşturarak her iki yönde de hareket eder. Geri bildirim döngüleri, girdisine bağlı olarak ağı davranışının zaman içinde değişmesine neden olabilir.



Şekil 4.19. İleri beslemeli sinir ağı yapısı

$$y_{i,k} = \varphi_{i,k} \left(\sum_{j=1}^{n_{k-1}} w_{j,k-1}^{i,k} y_{j,k-1} + b_{i,k} \right) \quad (4.21)$$

Şekil 4.19'da n giriş sayısı, m çıkış sayısı, k katman sayısı, $h(k)$ k numaralı katmandaki sinir sayısıdır. Eş. 4.21'de $y_{i,k}$ k katmanındaki i numaralı sinirin çıktısıdır. $n_{(k-1)}$, $(k-1)$ numaralı katmandaki sinir sayısıdır. $w_{j,k-1}^{i,k}$ k katmanındaki i numaralı sinir ile $(k-1)$ katmanındaki j numaralı sinir arasındaki bağlantı ağırlığıdır. $b_{i,k}$ k katmanındaki i numaralı sinir için artık (bias) değeridir. $\varphi_{i,k}$ k katmanındaki i numaralı sinirde uygulanan aktivasyon işlemidir. Aktivasyon fonksiyonu olarak doğrusal, eşik, sigmoid ya da tanjant hiperbolik fonksiyonları kullanılmaktadır.

Lojistik regresyon sınıflandırıcı

Lojistik regresyon adına rağmen makine öğrenmesi uygulamalarında regresyondan daha çok sınıflandırma problemleri için kullanılmaktadır. Literatürde logit regresyon, maksimum entropi sınıflandırması ya da log-lineer sınıflandırıcı olarak da bilinir. Lojistik regresyonda, kategorik veya sayısal bağımsız değişkenlerin değerlerine dayalı olarak bir olayın meydana gelme olasılığını istatistiksel olarak modellemek mümkündür [248]. Lojistik regresyon,

matematikte x ve y arasındaki ilişkiyi lojistik veya logit fonksiyonu kullanarak bulan istatistiksel bir modeldir. Logit fonksiyonu, Eş. 4.22'deki gibi y 'yi x 'in sigmoid fonksiyonu olarak eşler ve Şekil 4.20'de görüldüğü gibi 0 ile 1 arasında bir değer üretir. Lineer regresyonda Eş.4.23'deki denklem kullanılıyordu. Bu denklemde, X 'teki her birim değişim $p(X)$ 'i β_1 kadar etkiliyordu ve sonuç sürekli bir değişkendi. Lojistik regresyonun amacı bağımlı değişkenin bir kategoriye girme olasılığını bulmak olduğu için Eş.4.23'deki denklemin sol tarafı Eş. 4.24-4.26'daki gibi 0 ile 1 arasında değer alacak şekilde düzenlenmelidir.

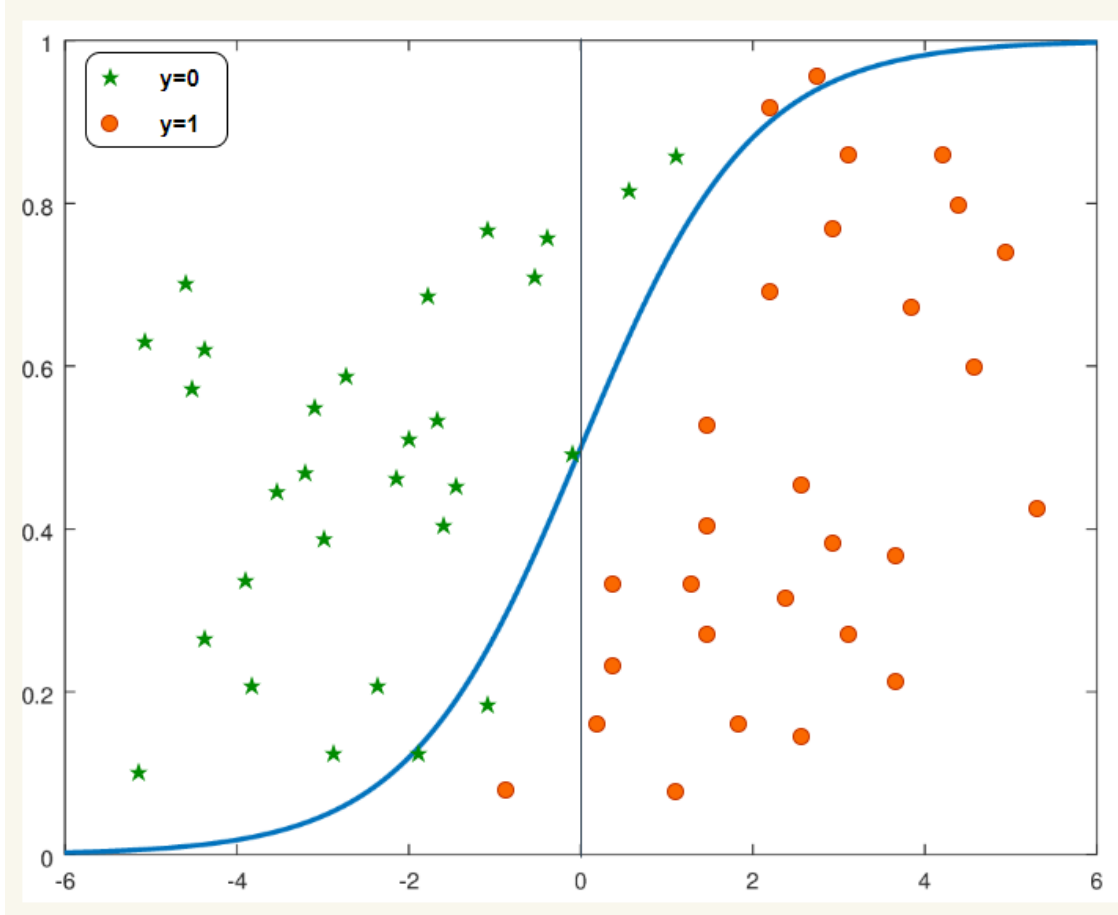
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} = \frac{e^x}{1 + e^x} \quad (4.22)$$

$$p(X) = \beta_0 + \beta_1 X \quad (4.23)$$

$$p(X) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X}} \quad (4.24)$$

$$\frac{p(X)}{1 - p(X)} = e^{\beta_0 + \beta_1 X} \quad (4.25)$$

$$\log\left(\frac{p(X)}{1 - p(X)}\right) = \beta_0 + \beta_1 X \quad (4.26)$$



Şekil 4.20. Lojistik regresyonda çıktı sınıfını belirleyecek olan y değerleri 0 ile 1 arasında değerler almaktadır

Naive Bayes sınıflandırıcı

Naive Bayes, en basit ve hızlı denetimli öğrenme algoritmalarından biridir. Naive Bayes sınıflandırıcısı serbestlik özelliklerine sahip Bayes teoremine dayanır, bu teorem bir sınıftaki belirli bir özelliğin diğer özelliklerden bağımsız olduğunu varsayar. Bu özellikler birbirine bağımlı olsa bile bağımsız kabul edilir ve bu şekilde hesaplama basitleştirilir. Naive ismi de buradan gelmektedir. Bu algorithmada önceki giriş ve çıkışlar arasında istatistiksel ve olasılıksal çıkarımlar yapılır [97]. Önceki bir örneğin olasılığı, belirli her bir sınıfa yaklaşmak için kullanılır.

Bayes kuralına göre hem A hem de B farklı olayların meydana gelme olasılığı, Eş. 4.27'de gösterildiği gibi verilen A'nın olma olasılığının ve A olmuşsa B'nin de olma olasılığının çarpımıdır.

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B|A) \quad (4.27)$$

Burada $P(A)$, A'nın tek başına olma olasılığıdır ve $P(B/A)$, A zaten olmuşsa B'nin de olma olasılığıdır. Bu denklemi, Eş. 4.28'de olduğu gibi ifade etmek de mümkündür.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (4.28)$$

Bir Bayes ağının X_1, X_2, \dots, X_n bağımsız değişkenlerinden tam olarak birleştirilmiş olasılık dağılımı, Eş. 4.29 ile temsil edilir.

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = P(X_1|X_2, X_3, \dots, X_n)P(X_2|X_3, \dots, X_n) \dots P(X_{n-1}|X_n)P(X_n) \quad (4.29)$$

$$= \prod_{i=1}^n P(X_i|X_{i+1}, \dots, X_n)$$

Zhang'ın (2004) makalesinde teorisinin daha detaylı olarak açıklandığı Naive Bayes algoritması, basitleştirilmiş varsayımlarına rağmen belge sınıflandırması, spam filtreleme gibi konularda hem hızlı hem de başarılı sonuçlar üretmektedir [249].

Model başarı ölçütleri

Bir sınıflandırma algoritmasının performansı, modelin test için ayrılan veriyle test edilmesi ve modelin bu veriler için hesapladığı sonuçlara bakılıp bazı başarı oranlarının bulunmasıyla ölçülür. Sınıflandırma algoritmaları kullanılarak yapılan çalışmalarda sadece doğruluk oranına bakmak yeterli değildir. Özellikle dengesiz veri setlerinde doğruluk oranı tek başına sınıflandırma performansı hakkında doğru bilgiyi veremez. Bunun için sınıflandırma performansını değerlendirmek üzere veri setindeki var olan (gerçek) durum ile sınıflandırma modelinin doğru ve yanlış tahminlerinin sayısını tablo olarak gösteren bir hata matrisi (confusion matrix) oluşturulur. Daha sonra bu matrise yazılan değerlerden doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skoru değerleri hesaplanır. Çizelge 4.9'da bir hata matrisi gösterilmekte, Eş. 4.30-4.33 eşitliklerinde de yukarıda sayılan başarı ölçütlerinin matematiksel ifadeleri verilmektedir.

Çizelge 4.9. Hata matrisi

	Tahmin	
Gerçek	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Negatif (YP)
	Yanlış Pozitif (YN)	Doğru Negatif (DN)

Tahmin işleminde gerçekte pozitif olarak var olan bir durum pozitif olarak tahmin ediliyorsa DP bir tahmin yapılmış yani pozitif olan durum doğru tahmin edilmiştir. Eğer var olan durum negatif ve modelin tahmini de negatif ise DN bir tahmin yapılmış yani negatif durum doğru tahmin edilmiştir. Eğer var olan durum negatif ise ancak model sonucu pozitif olarak tahmin ederse birinci tip hata olan YN durumu oluşur. Eğer var olan durum pozitif ise ve model sonucu negatif olarak tahmin ederse ikinci tip hata olan YP durumu oluşur.

Çizelge 4.9’da oluşan değerlere göre yukarıda anılan performans ölçütleri şöyle hesaplanır:

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + YN + YP + DN} \quad (4.30)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (4.31)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (4.32)$$

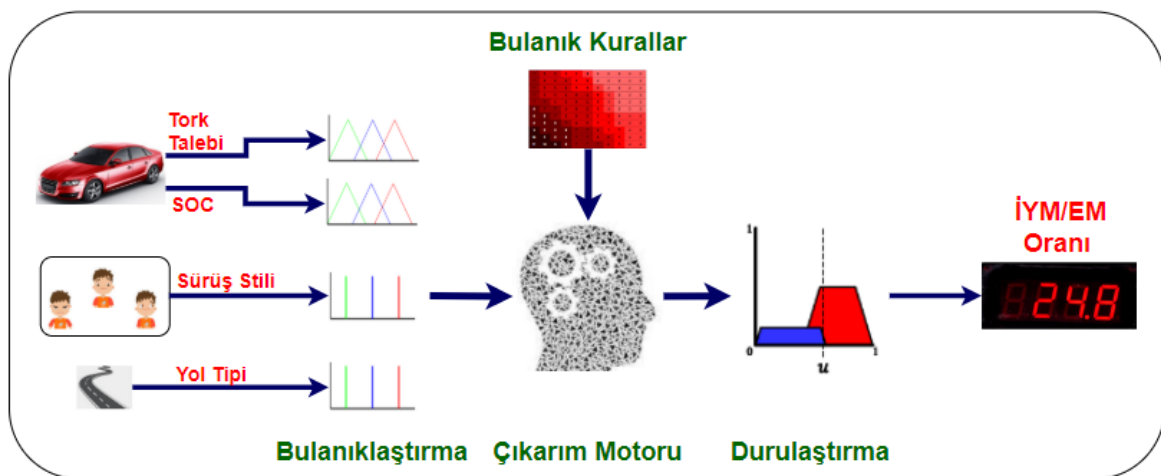
$$F1 \text{ Skoru} = 2 \times \frac{\text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4.33)$$

4.1.3. Bulanık mantık denetleyici ile geliştirilen kontrol uygulaması

Bulanık mantık, Bölüm 3.1’de detaylı olarak anlatıldığı üzere, kesinlik yerine aşamalı değerlendirmeye dayalı muhakeme sağlayan bulanık küme teorisinden türetilen bir mantık

biçimidir [19]. Bulanık mantığa göre, bir elemanın bir kümeye üyeliği, kesin ve tam bir değer ile değil de üyelik derecesi olarak adlandırılan sıfır ile bir arasında bir değerle ifade edilir [14]. Bulanık mantığın kesinlik içermeyen bu yapısı ile daha esnek bir kontrol mekanizması geliştirilebilmektedir. Bulanık mantık denetleyicinin önemli avantajları, sağlamlığı, uyarlanabilirliği ve doğrusal olmayan sistemlere uygulanabilir olmasıdır. Sağlamlık, kesin olmayan ölçümlerin tolere edilmesi, bu ölçümlerden dolayı modelin bozulmaması anlamına gelir. Uyarlanabilirlik, tanımlanan değişkenlerin ve belirlenen kuralların kolayca atanabilmesi, ayarlanabilmesi ve gerektiğinde yeniden güncellenebilmesi anlamına gelir [27]. Bu işlem, özellikle çalışılan proseste yeni bir değişken veya kural değişikliği gerektiğinde kolayca yapılabilir ve önemli ölçüde pratiklik ve hız kazandırır. BMD sistemlerinin girdileri sürekli fonksiyonlar olarak tanımlandığından, bulanık model giriş değerlerindeki belirsizliklere duyarsız yani sağlam ve gürültüye dayanıklıdır.

Yukarıda anlatılan avantajlarından dolayı bu tez çalışmasında bulanık mantık tabanlı bir denetleyici tercih edilmiştir. Bu denetleyicinin amacı, yol tipi ve sürüş tarzını göz önünde bulundurarak enerji yönetim sistemini HEA tork değeri ve batarya SOC değerine göre optimize ederek yakıt verimliliğini arttırmak, zararlı emisyon değerlerini düşürmektir. Bunu sağlamak için, birçok çalışmada geliştirilen BMD'lerin aksine, bulanık kurallar oluşturulurken yol tipi ve sürücünün sürüş stili de göz önünde bulundurulmuştur [50,83,90,97,101,139]. Şekil 4.21'de tasarlanan bulanık sistemin ögeleri ve çalışma şekli özetlenmektedir.

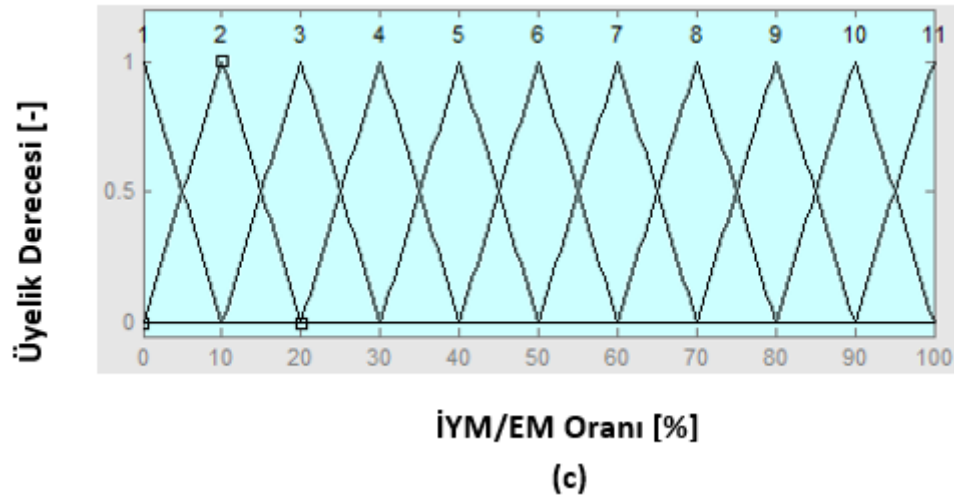
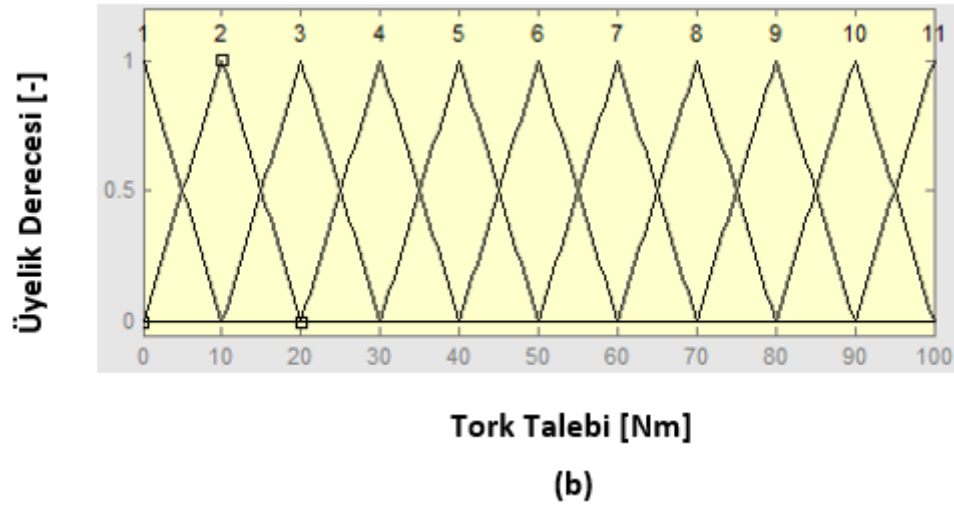
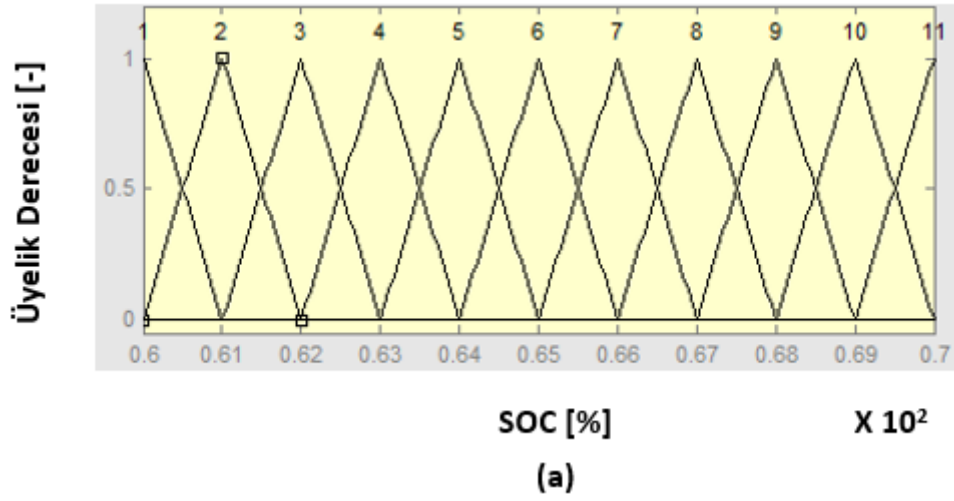


Şekil 4.21. Tasarlanan bulanık mantık tabanlı denetleyici

Şekil 4.21'de gösterilen bulanık sistemde Mamdani çıkarım sistemi kullanılmıştır. Girişler üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılmış ve aşağıda verilen ayrıntılara göre bulanık

kuralları belirlenmiştir. Bulanık girişler bulanık kurallara göre birleştirilirken VE yöntemi için minimum operatörü kullanılmıştır. Her bir kuralda, kesişim işleminde yine minimum operatörü kullanılmıştır. Çıkış fonksiyonunu hesaplamak için her kuralın sonucunu toplarken maksimum operatörü kullanılmıştır. Durulaştırma için ağırlık merkezi yöntemi tercih edilmiş ve bu işlemin sonunda çıkış değeri hesaplanmıştır.

Bulanık sistemin bulanıklaştırma aşamasında basitliği, giriş ve çıkış değişkenlerinin değişikliklerine duyarlı olduğu ve yeterli doğruluğu sağladığı için üçgen fonksiyonu seçilmiştir [71]. Basit ve etkili bir strateji kurmak için üçgen üyelik fonksiyonları “düşük”, “orta”, “yüksek” yerine “1”, “2”, “3”, ... “11” gibi dilsel ifadelerle ifade edilmiştir. Yani çok düşük durumu anlatmak için "1" ifadesi kullanılmıştır. Aynı şekilde çok yüksek durumu anlatmak için "11" ifadesi kullanılmıştır. Diğer durumlar da 1'den 11'e kadar bu şekilde sıralanmıştır. Geliştirilen bulanık sistemin çıkış ve girişleri için tanımlanan üyelik fonksiyonları Şekil 4.22'de gösterilmektedir.



Şekil 4.22. Bulanık üyelik fonksiyonları. (a) SOC girişi (b) Talep edilen tork girişi (c) İYM/EM oranı çıkışı

Yukarıda açıklandığı gibi, BMD kuralları belirlenirken yol tipi ve sürüş tarzı da dikkate alınmıştır. Tasarlanan bulanık sistemin dokuz adet kural tablosu Şekil 4.23'deki gibi her yol ve sürüş tipi için ayrı ayrı gösterilmiştir.

		Batarya SOC																																	
		Yerleşim Bölgesi								Şehir İçi								Otoyol																	
Sakin		3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	5	5	5	4	3	3	2	2	2	1	1	6	5	5	3	2	2	1	1	1	1	1	1
		3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	5	5	5	4	3	3	2	2	2	1	1	6	5	5	3	2	2	1	1	1	1	1	1
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	4	4	3	3	2	2	2	1	6	5	5	4	3	3	2	1	1	1	1	1	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2	6	5	5	4	4	3	2	1	1	1	1	1	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	4	4	4	4	3	3	2	2	6	5	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	2	6	5	5	5	5	4	4	3	3	3	2	2	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	6	6	6	6	6	5	4	4	4	3	3	2	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	3	6	6	6	6	6	5	4	4	4	4	3	3	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	3	7	6	6	6	6	5	5	4	4	4	3	3	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	7	6	6	6	6	5	5	5	4	4	4	4	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	4	4	3	3	3	3	2	2	6	5	5	4	4	3	2	2	2	2	2	2	
	Normal		3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	2	6	5	5	5	4	4	2	2	2	2	2	2
		3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	2	6	5	5	5	4	4	2	2	2	2	2	2	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	6	5	5	5	5	4	3	2	2	2	2	2	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	6	5	5	5	5	5	4	3	2	2	2	2	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	6	6	6	5	5	5	4	3	2	2	2	2	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	6	6	6	5	5	5	5	4	3	3	3	7	6	6	5	5	5	4	3	2	2	2	2	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	6	6	6	5	5	5	5	4	4	3	3	7	7	6	5	5	5	4	4	3	3	3	3	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	7	7	6	6	5	5	5	4	4	4	3	8	7	7	7	6	6	5	4	4	3	3	3	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	7	7	7	6	6	5	5	5	4	4	4	9	8	7	7	7	6	5	5	4	3	3	3	
		3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	7	7	7	7	6	6	5	5	5	4	4	10	9	8	7	7	6	6	5	4	3	3	3	
		4	4	4	4	3	3	2	2	2	1	1	6	5	5	4	4	3	3	3	3	3	3	7	6	6	5	5	4	3	3	3	3	3	3
		4	4	4	4	3	3	2	2	2	1	1	6	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3	7	6	6	6	5	5	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	3	3	2	2	2	1	6	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	7	6	6	6	5	5	4	3	3	3	3	3		
	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	7	6	6	6	6	6	5	4	3	3	3	3		
	4	4	4	4	4	3	3	2	2	2	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4	7	7	6	6	6	6	5	4	3	3	3	3		
	4	4	4	4	4	4	3	3	2	2	7	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	8	7	7	6	6	6	5	4	3	3	3	3		
	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	7	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	8	8	7	6	6	6	5	5	4	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	7	6	6	6	5	5	5	4	4	4	4	8	8	8	7	6	6	5	5	4	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	8	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	9	8	8	8	7	7	6	5	5	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	9	8	7	6	6	5	5	5	5	5	5	10	9	8	8	7	7	6	6	5	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	10	9	8	7	6	6	5	5	5	5	5	11	10	9	8	7	7	7	6	5	4	4	4		

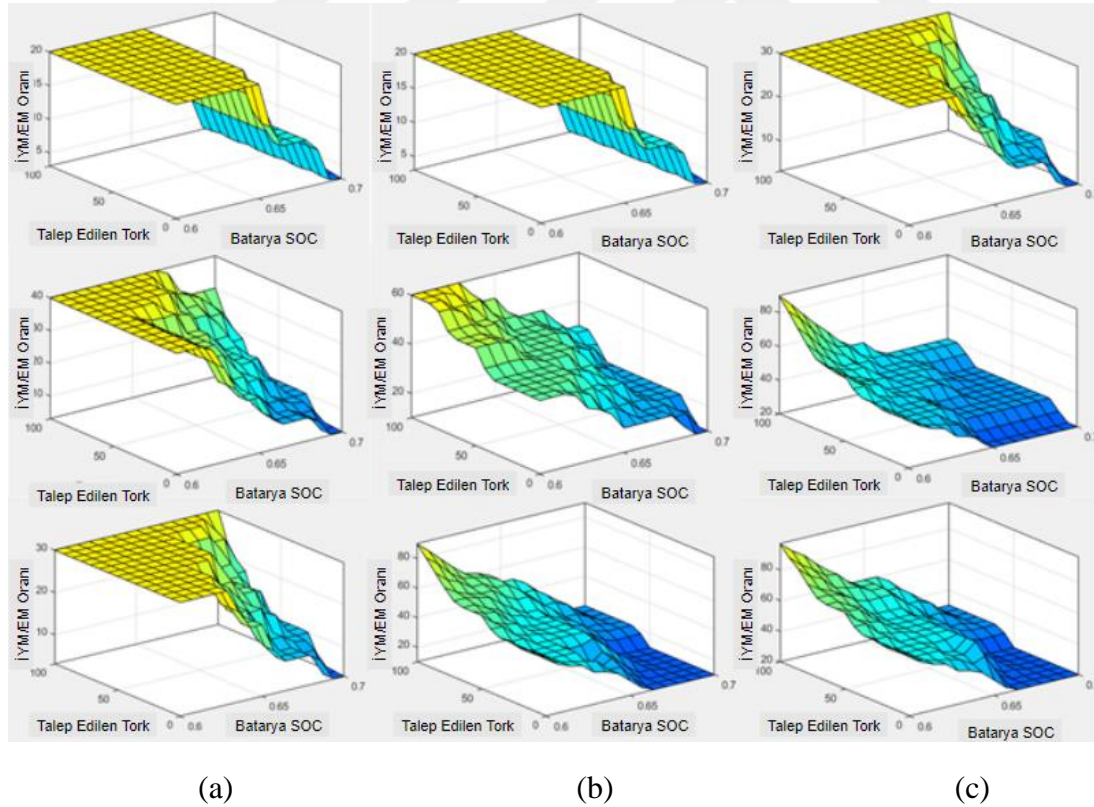
Şekil 4.23. Bulanık kural tablosu

Şekil 4.23'de yerleşim bölgeleri, şehir içi yollar ve otoyol sürüşü için tanımlanan dokuz adet kural tablosu bir arada gösterilmiştir. Her yol tipi için belirlenen kurallar ayrı bir sütunda ve sürüş durumuna göre sırasıyla yeşil, mavi ve kırmızı tablolarda gösterilmektedir. Her tablonun satırları, talep edilen tork girişinin, sütunlar ise batarya SOC girişinin üyelik fonksiyonlarının adlarından oluşur. Her tabloda, batarya SOC değeri soldan sağa ve talep edilen tork ise yukarıdan aşağıya doğru artar. Tabloda atanmış olan değerlerin 1'e yaklaşması elektrik motorunun çıkış gücünün arttığını ve 11'e yaklaşması içten yanmalı motorun çıkış gücünün arttığını gösterir. Örneğin batarya SOC değeri çok yüksek ve talep edilen tork çok düşük ise elektrik motorunun çıkış gücünün de çok yüksek olması beklenir. Bu durum için kural tablosunda 1'e yakın değerler atanır [90,96,250,251].

Sakin ve normal sürüş için geliştirilen strateji ile yakıt tüketiminin düşürülmesinin yanında egzoz emisyonlarının da iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu stratejide, yakıt tüketiminin azaltılmasına öncelik verilirken, batarya şarj oranının korunması ikinci planda kalmıştır. Yakıt tüketimini azaltmak için olabildiğince elektrik motorunun çıkış torku yüksek, içten yanmalı motorun çıkış torku düşük tutulur. Bu durumda tahmin edileceği üzere yolculuk sonunda batarya daha çok tüketilmiş olacaktır. Ancak bu strateji çoğunlukla yerleşim

bölgelerinde yapılacak sakin sürüşler için önerildiğinden, akünün aşırı kullanımı büyük bir sorun oluşturmayacaktır.

Agresif sürüş için geliştirilen stratejide üç temel hedef belirlenir: Birincisi, içten yanmalı motorun en verimli bölgede çalışarak hem performans hem yakıt verimliliği sağlamasıdır. İkincisi, elektrik motorunun yüksek tork taleplerine daha fazla katkı sağlayarak yakıt tüketimini azaltmasıdır. Üçüncüsü, yokuş aşağı giderken ya da fren yapıldığında bataryayı daha hızlı şarj etmesidir. Geliştirilen stratejide içten yanmalı motor ile elektrik motoru arasındaki tork paylaşımı yol tipine göre daha verimli hale getirilerek hem yüksek performans hem de akü şarj oranının korunması amaçlanmıştır. Şekil 4.23'de gösterilen kural tablosuna dikkat edilirse, her yol türü için de sürüş daha agresif hale geldikçe içten yanmalı motordan daha yüksek verim elde edildiği ve akünün şarj edilmesine daha fazla önem verildiği görülecektir. Tasarlanan BMD'nin üç farklı yol ve her yol için üç farklı sürüş tipi için yüzey grafikleri Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Şekil 4.24'de talep edilen tork Nm biriminde, İYM/EM oranı ile SOC değeri ise % birimindedir.



Şekil 4.24. Tasarlanan BMD'nin sakin, normal ve agresif sürüşler için yüzey grafiği. (a) Yerleşim bölgesi (b) Şehir içi (c) Otoyol

Geliştirilen BMD'de durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi seçilmiştir. Böylece enerji dağılımını düzgün tutmak ve ani kararlardan kaçınmak

amaçlanmıştır. Ağırlık merkezi yöntemine göre sistemin net çıktı değeri x^* Eş. 4.34'e göre hesaplanır.

$$x^* = \frac{\int \mu_{\bar{c}}(x) \cdot x \, dx}{\int \mu_{\bar{c}}(x) \, dx} \quad (4.34)$$

Burada $\mu_{\bar{c}}(x)$ x 'in üyelik fonksiyonudur.



5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLAR

Bu bölümde öncelikle gerçek sürüş verileri ve altı farklı sınıflandırma modeli ile yapılan sürüş sınıflandırmalarının sonuçları verilecektir. İkinci olarak, Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) simülasyon ortamı tanıtılacak ve ADVISOR'da tanımlanan araç konfigürasyonu anlatılacaktır. Üçüncü olarak test verisini oluşturan sürüş çevrimleri gösterilecektir. Son olarak geliştirilen BMD ile ADVISOR'dan elde edilen gerçek sürüş verilerinin simülasyon sonuçları verilecektir.

5.1. Sınıflandırma Modellerinin Sonuçları

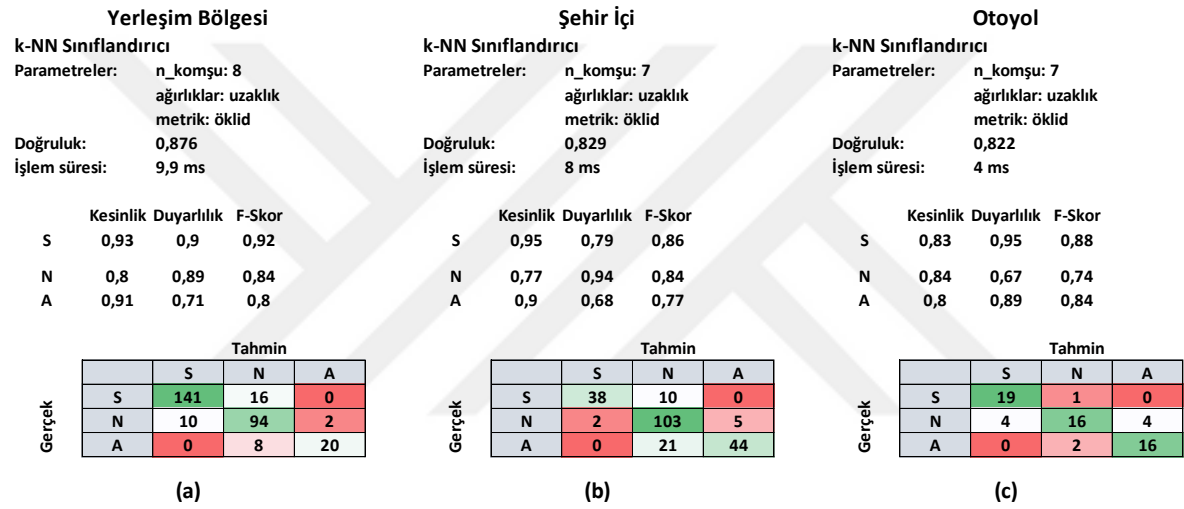
Bu bölüm, sürüş stilini ayırt etmek amacıyla sınıflandırma algoritmalarını karşılaştırmak üzere bir performans değerlendirmesini içerir. Bu çalışma, 3.00 GHz hızında 11. nesil Intel® Core™ i7-1185G7 işlemcili 64 bit bir bilgisayarda Anaconda Spyder ortamında ScikitLearn kütüphanesi [232] kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek sürüş verilerinden çıkarılan özniteliklerden oluşan üç farklı veri seti kullanılarak altı farklı sınıflandırıcı ile üç farklı sürüş stili tanılaması yapılmıştır. Bu modellerde kullanılan verilere on kat çapraz doğrulama uygulanmış yani tüm veri on parçaya ayrılıp her seferinde bir bölüm test verisi diğer bölümler eğitim verisi olacak şekilde veri bölünme işlemi yapılmıştır. Modellere uygulanan veriler dengelidir yani sınıflar arasında bir uçurum yoktur. Bu nedenle çalışılan modellerde veri dengesizliği nedeniyle herhangi bir problem gözlenmemiştir. Yerleşim bölgesi için agresif, normal ve sakin sınıfların oranları sırasıyla %11, %38 ve %51'dir. Şehir içi yol için agresif, normal ve sakin sınıfların oranları sırasıyla %52, %23 ve %25'tir. Otoyol için agresif, normal ve sakin sınıf oranları sırasıyla %35, %29 ve %36'dır.

Bu bölümde altı adet sınıflandırma algoritması ile alınan sonuçlar gösterilecektir. Bu algoritmaların parametreleri Şekil 4.16'da gösterilen aşırı öğrenme ve eksik öğrenme durumlarına yol açmamak için Şekil 4.17'de gösterilen en uygun karmaşıklık değeri seçilerek ayarlanmıştır. Her algoritmaya ait seçilen parametreler kendi bölümünde açıklanmıştır.

5.1.1. k-NN sınıflandırıcı sonuçları

Anlaşılması, optimizasyonu ve uygulaması kolay olduğu için tercih ettiğimiz k-NN modeli ile Şekil 5.1'de gösterilen sonuçlar alınmıştır. Modeli optimize etmek için komşuluk ($n_neighbors$), ağırlıklar ($weights$) ve metrik parametreleri ayarlanmıştır. Ağırlık

parametresi olarak uzaklık (distance) seçilmesi sorgulama noktasına yakın olan komşuların uzak olanlara göre daha büyük bir etkiye sahip olacakları anlamına gelir. Metrik parametresi olarak Öklid (Euclidean) seçilmesi her boyutta aradaki mesafelerin karelerinin toplamının karekökü alınarak uzaklıkların belirlenmesi anlamına gelir. Aykırı verilerin temizlenmesi, veri setinin çok boyutlu olmaması ve ölçeklendirme yapılması model sonuçlarını olumlu etkilemiş, üç veri seti için ortalama %84,2 doğruluk değerine ulaşılmıştır. Hata matrisine bakıldığında daha çok agresif sınıfını normal sınıfından ayıramadığı görülmektedir. Veri setindeki sınıflar daha dengeli olsa daha yüksek doğruluklara ulaşabileceği değerlendirilmektedir.



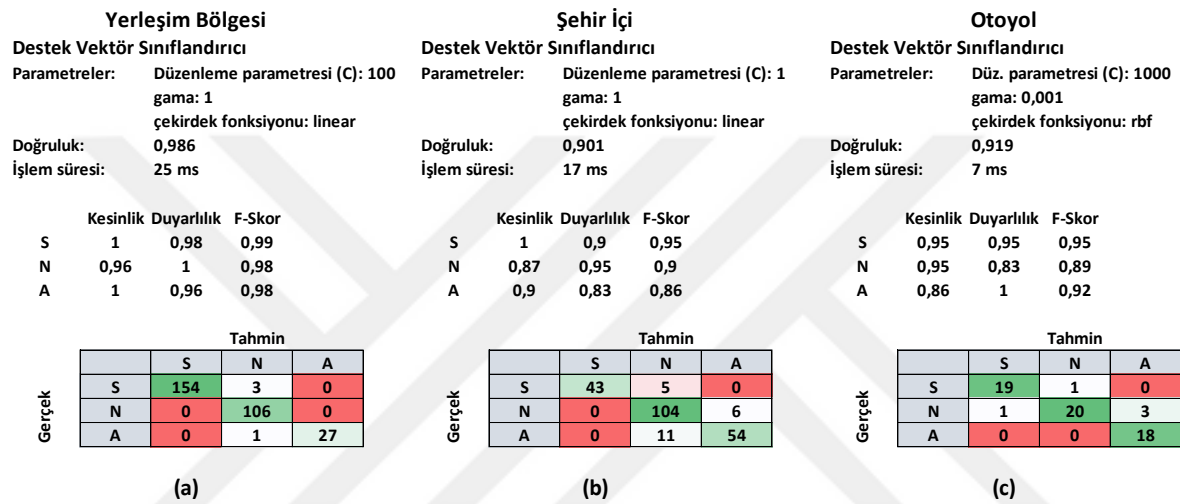
Şekil 5.1. k-NN sınıflandırıcı ile alınan sonuçlar

5.1.2. Destek vektör sınıflandırıcı sonuçları

Örnek sayısı ve boyut sayısından çok etkilenmediği, doğruluk oranı ve performansı yüksek olduğu için tercih ettiğimiz DVM ile alınan sonuçlar Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Modeli optimize etmek için düzenleme parametresi (regularization parameter), gama (gamma) ve çekirdek (kernel) parametreleri ayarlanmıştır. Sadece pozitif değerler alan düzenleme parametresi modele her bir eğitim örneğini yanlış sınıflandırmaktan ne kadar kaçınmak gerektiğini belirtir. Burada en uygun değer belirlenerek her iki sınıf arasındaki marj en üst düzeye çıkarılmaya ve yanlış sınıflandırma miktarı en aza indirilmeye çalışılır. Gama parametresi radyal tabanlı (RBF) çekirdeği kullanırken gereken, tek bir eğitim örneğinin etkisinin ne kadar uzağa ulaştığını tanımlayan bir parametredir. Gama değeri ne kadar küçük seçilirse model o kadar doğrusal davranır. Gama yüksek seçildiğinde model eğriliği yüksek olur. Gama azaldıkça, farklı sınıfları ayıran bölgeler daha genelleşir, büyüdükçe aşırı

öğrenmeye neden olur. Çekirdek parametresi DVM algoritmasında kullanılacak çekirdek fonksiyonunu gösterir. Seçilen çekirdek fonksiyonu, veri noktalarının dağılımına göre düşük boyutlu bir girdi alanını daha yüksek boyutlu bir alana dönüştürerek sınıfların doğrusal olarak ayrılabilmesini sağlar.

Veri setinin çok büyük olmamasından dolayı hesaplama maliyeti düşük çıkmıştır. Üç veri seti için ortalama %93'ün üzerinde doğruluk değerine ulaşılmıştır. %98,6 ile yerleşim bölgesi veri seti için en yüksek skor elde edilmiştir.



Şekil 5.2. Destek vektör sınıflandırıcı ile alınan sonuçlar

5.1.3. Karar ağacı sınıflandırıcı sonuçları

Sınıflandırma algoritmalarının içinde yorumlanması ve görselleştirmesi en kolay olan karar ağacı ile alınan sonuçlar Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Model optimizasyonu sırasında hangi özelliğin bölüneceğine karar vermek için gini indeksi ve bilgi entropisi kullanılmıştır. Her düğümde en uygun bölmeyi sağlamak için en iyi sonuca "best" stratejisi ulaştırmıştır. En doğru sınıflandırma için farklı maksimum derinlik ve minimum örnek sayısı parametreleri denenmiştir. Karar ağacının işlem süresi makuldür ve tüm veri setleri için ortalama doğruluk oranı %96,86'dır. Bu sonuçlara göre karar ağacı, sürüş stilini sınıflandırmak için en uygun algoritmadır.

Yerleşim Bölgesi				Şehir İçi				Otoyol						
Karar Ağacı Sınıflandırıcı				Karar Ağacı Sınıflandırıcı				Karar Ağacı Sınıflandırıcı						
Parametreler:		kriter: gini		Parametreler:		kriter: gini		Parametreler:		kriter: entropy				
		ayırıcı: en iyi				ayırıcı: en iyi				ayırıcı: en iyi				
		maksimum derinlik: yok				maksimum derinlik: 10				maksimum derinlik: 4				
		ayrılacak minimum örnek: 2				ayrılacak minimum örnek: 2				ayrılacak min. örnek: 2				
Doğruluk:		0,982		Doğruluk:		0,941		Doğruluk:		0,983				
İşlem süresi:		52 ms		İşlem süresi:		180 ms		İşlem süresi:		36 ms				
	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor		Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor		Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor			
S	1	0,98	0,99	S	1	0,94	0,97	S	0,95	1	0,98			
N	0,96	0,99	0,98	N	0,92	0,96	0,94	N	1	0,96	0,98			
A	0,96	0,96	0,96	A	0,94	0,91	0,92	A	1	1	1			
Gerçek	Tahmin				Gerçek	Tahmin				Gerçek	Tahmin			
		S	N	A			S	N	A			S	N	A
	S	154	3	0		S	45	3	0		S	20	0	0
	N	0	105	1		N	0	106	4		N	1	23	0
A	0	1	27	A	0	6	59	A	0	0	18			
(a)				(b)				(c)						

Şekil 5.3. Karar ağacı sınıflandırıcı ile alınan sonuçlar

5.1.4. Yapay sinir ağı (çok katmanlı algılayıcı) sınıflandırıcı sonuçları

Yapay sinir ağının doğrusal olmayan problemlere çözüm üretmesi aktivasyon fonksiyonları ile olur. Aktivasyon fonksiyonu olarak diğerlerine göre daha hızlı öğrenme sağlayan ve sınıflama işlemi için daha geniş aralığa sahip olan tanjant hiperbolik fonksiyonu ile en iyi öğrenme yakalanmıştır. Şekil 5.4'de en iyi başarıyı yakalayan farklı düzenleme terimi (α), gizli katman ve bu katmanlardaki nöron sayıları, öğrenme şekli ve iterasyon sayıları gösterilmektedir. Başarı oranı yüksek olsa da işlem süresi en yüksek olan model budur. Bu çalışmada veri setindeki örnek sayısı çok fazla olmadığından işlem süresi çok maliyetli değildir. Ancak veri büyüklüğü arttığında bunu da dikkate almak gerekir.

Yerleşim Bölgesi				Şehir İçi				Otoyol																																																																								
Çok Katmanlı Algılayıcı Sınıflandırıcı				Çok Katmanlı Algılayıcı Sınıflandırıcı				Çok Katmanlı Algılayıcı Sınıflandırıcı																																																																								
Parametreler: aktivasyon: tanh alfa: 0,05 hidden_layer_sizes: (30,20,10) öğrenme oranı: adaptive maksimum iterasyon: 150 çözücü: adam				Parametreler: aktivasyon: tanh alfa: 0,05 hidden_layer_sizes: (30,20,10) öğrenme oranı: constant maksimum iterasyon: 100 çözücü: adam				Parametreler: aktivasyon: tanh alfa: 0,0001 hid_layer_sizes: (30,20,10) öğrenme oranı: constant maksimum iterasyon: 150 çözücü: adam																																																																								
Doğruluk: 0,965 İşlem süresi: 323 ms				Doğruluk: 0,91 İşlem süresi: 363 ms				Doğruluk: 0,887 İşlem süresi: 79 ms																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kesinlik</th> <th>Duyarlılık</th> <th>F-Skor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>0,98</td> <td>0,97</td> <td>0,97</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>0,94</td> <td>0,97</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>1</td> <td>0,93</td> <td>0,96</td> </tr> </tbody> </table>					Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	S	0,98	0,97	0,97	N	0,94	0,97	0,95	A	1	0,93	0,96	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kesinlik</th> <th>Duyarlılık</th> <th>F-Skor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>1</td> <td>0,94</td> <td>0,97</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>0,88</td> <td>0,95</td> <td>0,91</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>0,9</td> <td>0,83</td> <td>0,86</td> </tr> </tbody> </table>					Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	S	1	0,94	0,97	N	0,88	0,95	0,91	A	0,9	0,83	0,86	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kesinlik</th> <th>Duyarlılık</th> <th>F-Skor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>0,9</td> <td>0,95</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>0,95</td> <td>0,75</td> <td>0,84</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>0,82</td> <td>1</td> <td>0,9</td> </tr> </tbody> </table>					Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	S	0,9	0,95	0,93	N	0,95	0,75	0,84	A	0,82	1	0,9																					
	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor																																																																													
S	0,98	0,97	0,97																																																																													
N	0,94	0,97	0,95																																																																													
A	1	0,93	0,96																																																																													
	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor																																																																													
S	1	0,94	0,97																																																																													
N	0,88	0,95	0,91																																																																													
A	0,9	0,83	0,86																																																																													
	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor																																																																													
S	0,9	0,95	0,93																																																																													
N	0,95	0,75	0,84																																																																													
A	0,82	1	0,9																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">Tahmin</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>S</th> <th>N</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="3">Gerçek</th> <th>S</th> <td>152</td> <td>5</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>N</th> <td>3</td> <td>103</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>A</th> <td>0</td> <td>2</td> <td>26</td> </tr> </tbody> </table>						Tahmin					S	N	A	Gerçek	S	152	5	0	N	3	103	0	A	0	2	26	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">Tahmin</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>S</th> <th>N</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="3">Gerçek</th> <th>S</th> <td>45</td> <td>3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>N</th> <td>2</td> <td>104</td> <td>6</td> </tr> <tr> <th>A</th> <td>0</td> <td>11</td> <td>54</td> </tr> </tbody> </table>						Tahmin					S	N	A	Gerçek	S	45	3	0	N	2	104	6	A	0	11	54	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">Tahmin</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>S</th> <th>N</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="3">Gerçek</th> <th>S</th> <td>19</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>N</th> <td>2</td> <td>18</td> <td>4</td> </tr> <tr> <th>A</th> <td>0</td> <td>0</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>						Tahmin					S	N	A	Gerçek	S	19	1	0	N	2	18	4	A	0	0	18
		Tahmin																																																																														
		S	N	A																																																																												
Gerçek	S	152	5	0																																																																												
	N	3	103	0																																																																												
	A	0	2	26																																																																												
		Tahmin																																																																														
		S	N	A																																																																												
Gerçek	S	45	3	0																																																																												
	N	2	104	6																																																																												
	A	0	11	54																																																																												
		Tahmin																																																																														
		S	N	A																																																																												
Gerçek	S	19	1	0																																																																												
	N	2	18	4																																																																												
	A	0	0	18																																																																												
(a)				(b)				(c)																																																																								

Şekil 5.4. Çok katmanlı algılayıcı ile alınan sonuçlar

5.1.5. Lojistik regresyon sınıflandırıcı sonuçları

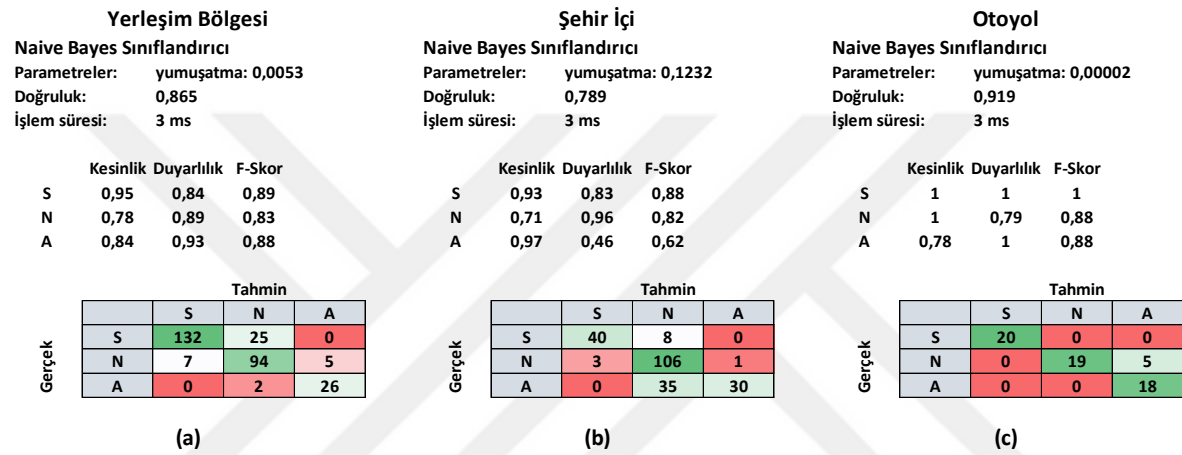
Lojistik regresyonda optimum çözüme çok sınıflı problemlerde daha çok tercih edilen newton-cg ile ulaşılmıştır. Ceza faktörü varsayılan olarak seçildiğinde en yüksek başarı oranı elde edilmiştir. Düzenleştirme faktörü (C) iki yol tipi için 100, bir yol tipi (otoyol) için 1 alınmıştır. Şekil 5.5’de alınan sonuçlar incelendiğinde lojistik regresyonun işlem maliyeti ve doğruluğu olarak iyi bir sonuç sağladığı görülmektedir.

Yerleşim Bölgesi				Şehir İçi				Otoyol																																																																								
Lojistik Regresyon Sınıflandırıcı				Lojistik Regresyon Sınıflandırıcı				Lojistik Regresyon Sınıflandırıcı																																																																								
Parametreler: C: 100 ceza: l2 çözücü: newton-cg				Parametreler: C: 100 ceza: l2 çözücü: newton-cg				Parametreler: C: 1 ceza: l2 çözücü: newton-cg																																																																								
Doğruluk: 0,972 İşlem süresi: 23 ms				Doğruluk: 0,905 İşlem süresi: 21 ms				Doğruluk: 0,887 İşlem süresi: 9 ms																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kesinlik</th> <th>Duyarlılık</th> <th>F-Skor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>1</td> <td>0,97</td> <td>0,99</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>0,95</td> <td>0,98</td> <td>0,96</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>0,93</td> <td>0,93</td> <td>0,93</td> </tr> </tbody> </table>					Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	S	1	0,97	0,99	N	0,95	0,98	0,96	A	0,93	0,93	0,93	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kesinlik</th> <th>Duyarlılık</th> <th>F-Skor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>0,98</td> <td>0,92</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>0,87</td> <td>0,95</td> <td>0,91</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>0,92</td> <td>0,83</td> <td>0,87</td> </tr> </tbody> </table>					Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	S	0,98	0,92	0,95	N	0,87	0,95	0,91	A	0,92	0,83	0,87	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kesinlik</th> <th>Duyarlılık</th> <th>F-Skor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>0,95</td> <td>0,75</td> <td>0,84</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>0,78</td> <td>1</td> <td>0,88</td> </tr> </tbody> </table>					Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	S	0,95	0,95	0,95	N	0,95	0,75	0,84	A	0,78	1	0,88																					
	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor																																																																													
S	1	0,97	0,99																																																																													
N	0,95	0,98	0,96																																																																													
A	0,93	0,93	0,93																																																																													
	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor																																																																													
S	0,98	0,92	0,95																																																																													
N	0,87	0,95	0,91																																																																													
A	0,92	0,83	0,87																																																																													
	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor																																																																													
S	0,95	0,95	0,95																																																																													
N	0,95	0,75	0,84																																																																													
A	0,78	1	0,88																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">Tahmin</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>S</th> <th>N</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="3">Gerçek</th> <th>S</th> <td>153</td> <td>4</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>N</th> <td>0</td> <td>104</td> <td>2</td> </tr> <tr> <th>A</th> <td>0</td> <td>2</td> <td>26</td> </tr> </tbody> </table>						Tahmin					S	N	A	Gerçek	S	153	4	0	N	0	104	2	A	0	2	26	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">Tahmin</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>S</th> <th>N</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="3">Gerçek</th> <th>S</th> <td>44</td> <td>4</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>N</th> <td>1</td> <td>104</td> <td>5</td> </tr> <tr> <th>A</th> <td>0</td> <td>11</td> <td>54</td> </tr> </tbody> </table>						Tahmin					S	N	A	Gerçek	S	44	4	0	N	1	104	5	A	0	11	54	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">Tahmin</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>S</th> <th>N</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="3">Gerçek</th> <th>S</th> <td>19</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>N</th> <td>1</td> <td>18</td> <td>5</td> </tr> <tr> <th>A</th> <td>0</td> <td>0</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>						Tahmin					S	N	A	Gerçek	S	19	1	0	N	1	18	5	A	0	0	18
		Tahmin																																																																														
		S	N	A																																																																												
Gerçek	S	153	4	0																																																																												
	N	0	104	2																																																																												
	A	0	2	26																																																																												
		Tahmin																																																																														
		S	N	A																																																																												
Gerçek	S	44	4	0																																																																												
	N	1	104	5																																																																												
	A	0	11	54																																																																												
		Tahmin																																																																														
		S	N	A																																																																												
Gerçek	S	19	1	0																																																																												
	N	1	18	5																																																																												
	A	0	0	18																																																																												
(a)				(b)				(c)																																																																								

Şekil 5.5. Lojistik regresyon ile alınan sonuçlar

5.1.6. Naive Bayes sınıflandırıcı sonuçları

Naive Bayes sınıflandırıcı çok sayıda ayarlama (tuning) parametresi içermez. Tek hiperparametre olan varyans yumuşatma parametresi dağılımın varyansına kullanıcı tanımlı bir değer ekler. Bu, esas olarak eğriyi genişletir ya da düzleştirir, böylece model dağılım ortalamasından daha uzakta olan daha fazla örneği açıklayabilir. Burada da grid yöntemiyle en iyi parametre (var_smoothing) değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



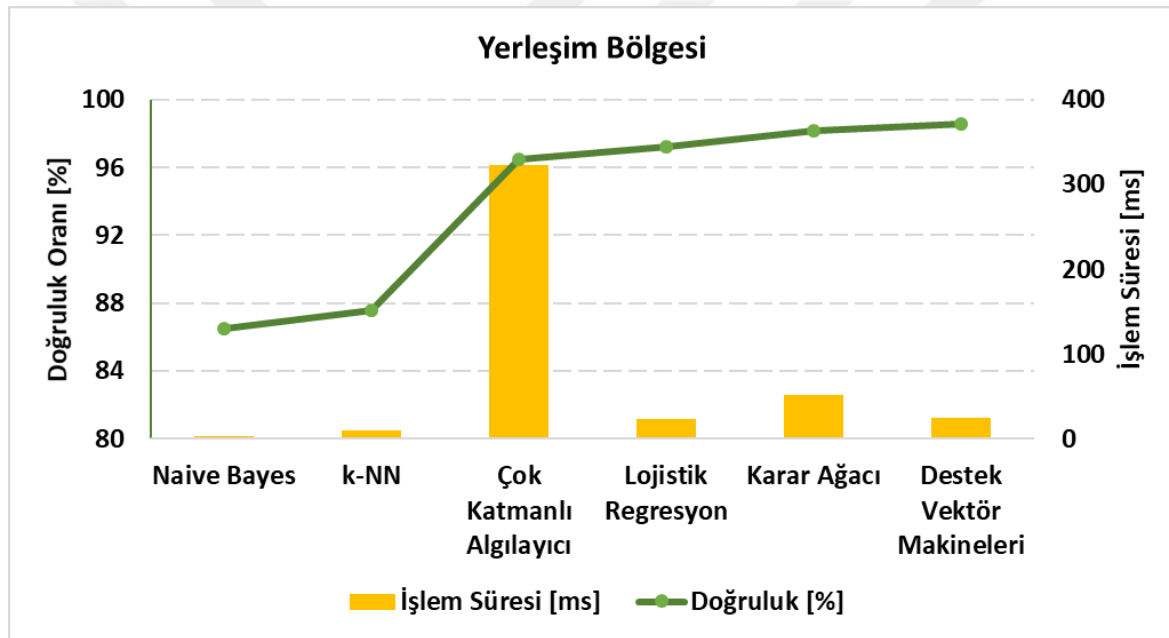
Şekil 5.6. Naive Bayes sınıflandırıcı ile alınan sonuçlar

5.1.7. Sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılması

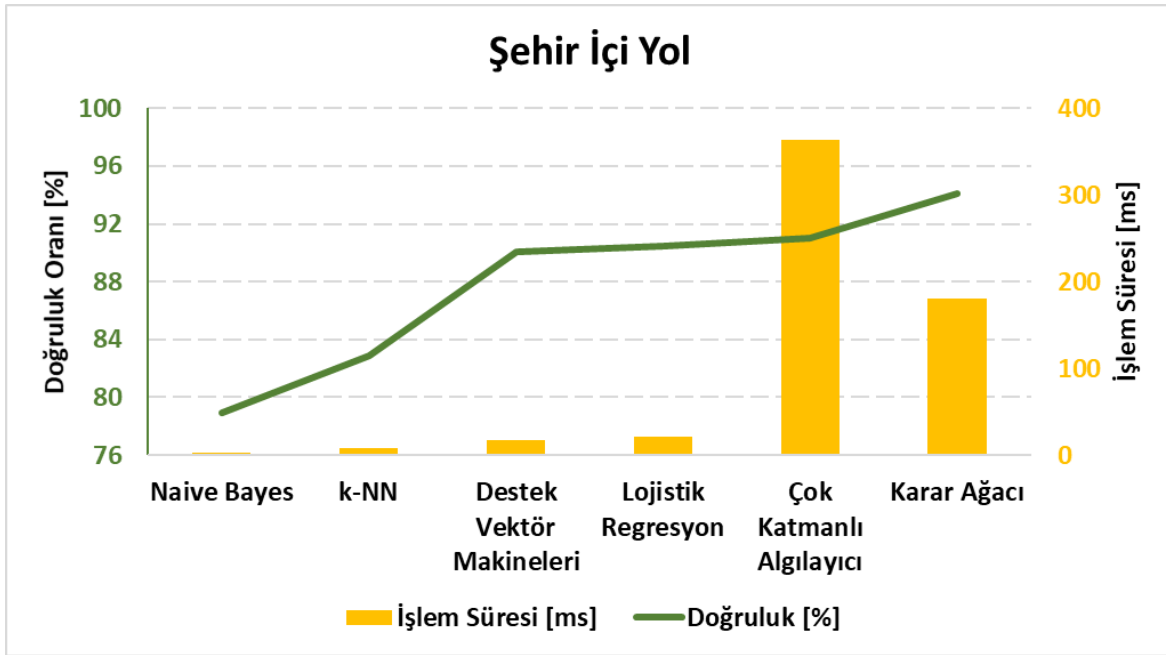
Yukarıdaki bölümlerde görüldüğü üzere tüm sınıflandırma modelleri ile yüksek doğruluklu çözümler elde edilmiştir. Bu bölümde yukarıda detaylı sonuçları verilen sınıflandırıcıların çalışma performansları işlem süresi ve doğruluk oranı üzerinden karşılaştırılacaktır. Çizelge 5.1'de elde edilen sonuçlar birlikte gösterilirken, Şekil 5.7'de yerleşim bölgesi veri seti için, Şekil 5.8'de şehir içi veri seti için ve Şekil 5.9'da otoyol veri seti için sınıflandırma algoritmalarının performansları grafikler halinde gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Üç farklı veri seti için sınıflandırma algoritmalarının performansları

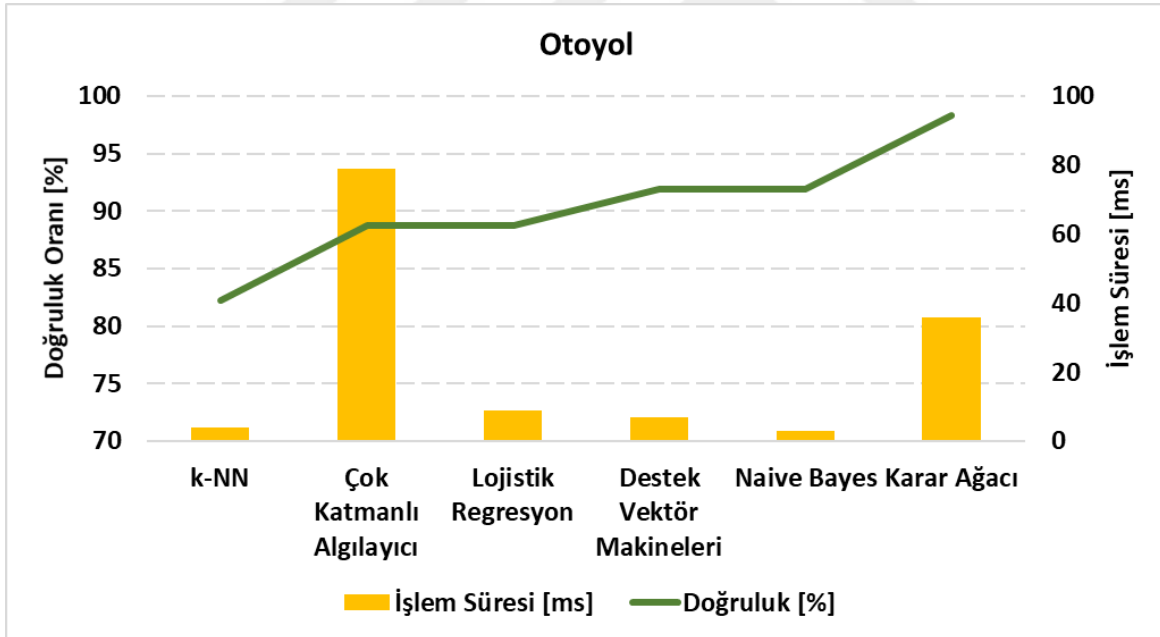
	Yerleşim Bölgesi		Şehir İçi Yol		Otoyol	
	Doğruluk [%]	İşlem Süresi [ms]	Doğruluk [%]	İşlem Süresi [ms]	Doğruluk [%]	İşlem Süresi [ms]
Naive Bayes	86,5	3	78,9	3	91,9	3
k-NN	87,6	10	82,9	8	82,2	4
Çok Katmanlı Algılayıcı	96,5	323	91	363	88,7	79
Lojistik Regresyon	97,2	23	90,5	21	88,7	9
Karar Ağacı	98,2	52	94,1	180	98,3	36
Destek Vektör Makineleri	98,6	25	90,1	17	91,9	7



Şekil 5.7. Yerleşim bölgesi veri seti için sınıflandırma algoritmalarının işlem süresi ve genel doğruluk ölçütlerine göre karşılaştırılması



Şekil 5.8. Şehir içi veri seti için sınıflandırma algoritmalarının işlem süresi ve genel doğruluk ölçütlerine göre karşılaştırılması



Şekil 5.9. Otoyol veri seti için sınıflandırma algoritmalarının işlem süresi ve genel doğruluk ölçütlerine göre karşılaştırılması

Karar ağacının bir beyaz kutu modeli olduğu ve girişlerle çıkışlar arasında daha kolay bağlantı kurmayı sağladığı daha önce ifade edilmişti. Çizelge 5.1 ve Şekil 5.7-5.9'da görüldüğü gibi işlem süresi ve genel doğruluk ölçütlerine bakarak değerlendirme yapıldığında da karar ağacının en doğru algoritma olduğu görülmektedir.

5.2. Simülasyon Ortamı ve Araç Konfigürasyonu

Bu çalışmada tasarlanan bulanık mantık tabanlı kontrol sisteminin sonuçları, ADVISOR™ programı ile elde edilmiştir. ADVISOR programı, National Renewable Energy Laboratory (NREL) tarafından geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir simülasyon aracıdır. MATLAB/Simulink yazılım ortamında çalışan bu programla konvansiyonel, hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçların dinamik analizleri yapılabilmektedir. ADVISOR ile yakıt tüketimi, egzoz emisyonları, batarya şarj durumu gibi parametrelerin değişimleri programa eklenen sürüş çevrimi verilerine göre elde edilebilmektedir.

ADVISOR'da iki ayrı hesaplama yöntemi kullanılır. Bunlardan ilki yoldan sürücüye yöntemidir. Bu yöntemde sürüş çevrimlerindeki hız-zaman verileri programın girişlerini oluşturur. ADVISOR, bu verilerden ve aracın konfigürasyon bilgilerinden gerekli çekiş kuvvetini ve tork değerini hesaplar. İkincisi sürücüden yola yöntemidir. Bu yöntemde sürücü modeli sistem girdisi olarak kullanılır. ADVISOR bu girdiye göre pedal konumlarını oluşturur ve içten yanmalı motorun tork değerini ve çekiş kuvvetini hesaplar [252]. ADVISOR, elektrikli araçların yakıt tüketimi, performansı ve emisyonlarının simüle edilmesinde çok yaygın ve başarılı olarak kullanılmaktadır [108,253–256].

ADVISOR üzerinde yapılandırılan hibrit elektrikli araç modeline ait özellikler Çizelge 5.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. ADVISOR’da tanımlanan HEA konfigürasyonu

Parametre Adı	Parametre Değeri
Aktarma Organı Tipi	Paralel
Araç Kütlesi	1807 kg
Ön Alan	2,6 m ²
Hava Yoğunluğu	1,2 kg/m ³
Dingil Açıklığı	2,89 m
Sürükleme Katsayısı	0,41
Maksimum Motor Gücü	41 kW
İYM Tepe Verimi	34%
Elektrik Motor Gücü	50 kW
Batarya Tipi	Li ion
Batarya Nominal Gerilimi	534 V
Batarya Kapasitesi	12 Ah
Batarya Ağırlığı	50 kg

5.3. Karar Ağacının Test Verisini Oluşturan Sürüş Çevrimleri

Geliştirilen kontrol sisteminin çıktılarını doğrulamak için karar ağacı sınıflandırma modeli, her yol ve her sürüş tipi için toplam 90 sürüş çevrimi ve HWFET, UDDS ve NYCC referans sürüş çevrimi olmak üzere 93 adet sürüş çevrimi ile test edilmiştir. Bunlardan 33 sürüş çevrimine ait detaylar Çizelge 5.3'de gösterilmektedir. Geliştirdiğimiz karar ağacı sınıflandırma modelinin bu sürüşleri hangi kategoride sınıflandırdığı da çizelgenin en sağında gösterilmektedir. Çizelgede YB yerleşim bölgesi, Şİ şehir içi, OY otoyol, A agresif, N normal, S sakin demektir.

Çizelge 5.3. Tasarlanan BMD'yi test etmek için kullanılan çeşitli sürüş verileri. Son üç satır, yaygın olarak kullanılan HWFET, UDDS ve NYCC sürüş döngülerinin değerlerini içerir

Sürüş Çevrimleri	Yol	Trafik	Menzil [km]	Eğim [%]	Maksimum Hız [km/h]	Ortalama Hız [km/h]	Standart Sapma	Çarpıklık	Negatif Eğim Ort	Hız Tepe Noktalarının Oranı	Hız Dip Noktalarının Oranı	Sert Hızlanma Oranı	Aşırı Hız	Ortalama Hız Oranı	Sürüş Stili
1598949982118	YB	Sakin	7,6	0	87,8	44,7	28,24	0,16	-0,37	4,44	4,24	1,01	0	16,8	A
1623838065244	YB	Sakin	7,2	0	80,5	44,6	24,06	0,04	-0,38	5,95	5,79	2,48	0	16,5	A
1617688606545	YB	Sakin	7,4	0	79,4	42,9	16,19	-0,5	-0,64	6,32	6,32	2,6	0	37,4	A
1627980945342	YB	Sakin	7,8	0	64,1	37,7	14,32	-0,59	-0,49	7,68	7,68	2,86	0	37,8	N
1629779068684	YB	Sakin	7,2	0	64,1	36,2	15,27	-0,52	-0,38	8,3	8,17	2,81	0	39,1	N
1617251026139	YB	Sakin	6,6	0	63,8	32,8	13,61	-0,21	-0,45	7,64	7,64	1,61	0	37,5	N
1613112580617	YB	Yoğun	1,6	0	41,1	17,1	10,16	0,39	-0,34	10,5	10,2	2,92	0	13,4	S
1613057910927	YB	Yoğun	2	0	36,4	21,3	8,71	-0,37	-0,45	7,41	7,41	1,42	0	29,6	S
1614960456322	YB	Sakin	5,7	0	34,2	24,2	6,38	-1,13	-0,3	10,9	10,78	0,91	0	56	S
1635579303137	Şİ	Sakin	24,3	0	137,1	74,7	34,24	-0,37	-0,44	5,37	5,37	2,43	6,04	33,2	A
1634128677349	Şİ	Sakin	24,5	0	135,9	72,8	33,11	-0,19	-0,46	4,53	4,45	1,62	9,3	30,8	A
1625398957191	Şİ	Yoğun	17,6	-4,2	124,7	60,6	34,44	-0,19	-0,63	5,77	5,67	2,19	0,99	16,1	A
1624119675137	Şİ	Sakin	51,7	-0,1	90,8	61,2	20,69	-1,23	-0,35	5,1	5,06	0,94	0	50,1	N
1631119236161	Şİ	Sakin	23,1	1,1	90,5	43,2	27,25	-0,21	-0,47	9,39	9,39	4,09	0	18,2	N
1635020216115	Şİ	Sakin	21	0,1	90,5	58,4	26,1	-0,69	-0,39	4,88	4,88	1,3	0	19,4	N
1613113212303	Şİ	Yoğun	2,2	0	45	14,7	7,94	0,8	-0,64	8,76	8,76	3,43	0	33,5	S
1613152022779	Şİ	Sakin	3,9	0	45	29	9,47	-0,91	-0,37	8,25	8,25	2,36	0	43,2	S
1640706045118	Şİ	Sakin	3,3	0	44,9	25,7	9,3	-0,47	-0,43	7,66	7,45	2,07	0	37,3	S
1628050417329	OY	Sakin	40,8	-1,8	200,6	83,5	47,51	0,14	-0,49	4,26	4,26	1,35	26,74	20,4	A
1597722995162	OY	Sakin	40,9	-1,8	192,1	87,4	37,93	-0,17	-0,55	3,22	3,16	0,94	20,42	26,4	A
1612937132217	OY	Sakin	301,3	0,3	171,8	114,3	25,39	-1,75	-0,33	3,38	3,37	0,39	46,62	77,6	A
1627455071660	OY	Sakin	333,4	0,3	135,9	97	24,62	-2,28	-0,37	4,01	4,01	0,42	4,22	81,5	N
1623228680083	OY	Sakin	48,5	0	135,1	62,2	41,49	0,03	-0,43	6,99	6,95	2,64	3,37	18,8	N
1626969810946	OY	Sakin	235,8	0	134,5	91,5	27	-1,27	-0,31	2,94	2,93	0,32	6,08	53,2	N
1596683751091	OY	Sakin	31,8	-2,2	97	58,6	24,22	-0,49	-0,41	7,51	7,43	1,35	0	31,5	S
1629170058265	OY	Sakin	35,2	-2,2	97	58	25,63	-0,38	-0,38	5,53	5,48	1,62	0	21,8	S
1627614910274	OY	Sakin	35,2	-2,2	96,8	56	26,31	-0,33	-0,41	7,41	7,37	2,77	0	18,3	S
NYCC	YB	Sakin	1,9	0	44,6	11,4	12,87	0,82	-0,48	6,84	6,84	2,17	0	8,2	A
UDDS	Şİ	Sakin	11,99	0	91,2	34,2	27,3	0,41	-0,54	2,86	2,86	0,39	0	22,7	N
HWFET	OY	Sakin	16,45	0	96,4	77,6	16,47	-2,21	-0,25	0,91	0,91	0	0	77,4	S

5.4. ADVISOR Simülasyon Ortamında Yapılan Testler

Karar ağacının sürüş stilini tahmin ettiği 93 adet sürüş çevrimi ile ADVISOR ortamında iki farklı test işlemi yapılmıştır. Bunlardan birincisi ADVISOR üzerinde gömülü BMD ile önerilen BMD arasındaki farkları ortaya çıkaran testtir. İkincisi ADVISOR'da PTC_PAR isimli hiç BMD içermeyen bir kontrol sistemi ile arasındaki farkları inceleyen testtir.

5.4.1. İki farklı BMD içeren kontrol sisteminin karşılaştırılması

Bu testte ADVISOR'da BMD tabanlı gömülü yöntemlerden olan yakıt modu veya verimlilik modundan alınan en iyi sonuç referans alınmış, önerilen BMD'nin sonuçları bu sonuçla karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.4'de yol ve sürüş tipi kategorilerine göre, farklı sürüş stilleriyle farklı yollardaki sürüşlerden elde edilen ortalama sonuçlar gösterilmektedir.

Çizelge 5.4. Test verisi olarak kullanılan sürüş çevrimleri için iki farklı BMD ile alınan sonuçlar

Sürüş Çevrimleri	ADVISOR Referans BMD					Önerilen BMD					Karşılaştırma (İlerleme)				
	Yakıt [L/100 km]	SOC Son	HC [gram/km]	CO [gram/km]	NOx [gram/km]	Yakıt [L/100 km]	SOC Son	HC [gram/km]	CO [gram/km]	NOx [gram/km]	Yakıt [%]	SOC Son [%]	HC [%]	CO [%]	NOx [%]
YB_Agresif	7,39	0,64	0,61	2,94	0,49	6,47	0,60	0,60	2,45	0,44	12,3	-3,9	2,1	17,2	10,9
YB_Normal	6,76	0,64	0,57	2,46	0,38	5,67	0,56	0,51	2,23	0,27	16,02	-8,01	10,23	9,62	29,58
YB_Sakin	7,69	0,66	1,73	7,25	0,78	7,54	0,65	1,64	7,24	0,61	1,89	-0,70	5,12	0,08	20,55
Şİ_Agresif	8,21	0,38	0,31	1,92	0,34	7,69	0,33	0,31	1,53	0,35	5,99	-4,64	2,21	18,48	-3,62
Şİ_Normal	7,24	0,64	0,44	1,44	0,45	6,68	0,57	0,41	1,34	0,38	7,40	-7,19	8,25	7,89	15,46
Şİ_Sakin	8,56	0,65	1,22	4,95	0,58	7,83	0,64	1,13	5,14	0,59	8,51	-1,22	7,71	-3,77	-0,64
OY_Agresif	7,51	0,19	0,19	1,64	0,24	7,50	0,17	0,19	1,65	0,23	0,15	-1,99	1,64	-0,75	2,29
OY_Normal	7,67	0,14	0,17	1,67	0,22	7,13	0,10	0,16	1,13	0,25	6,99	-3,88	7,59	29,75	-16,61
OY_Sakin	7,46	0,49	0,20	1,78	0,18	7,46	0,48	0,20	1,89	0,17	0,03	-0,85	3,48	-15,75	3,40
NYCC	12,60	0,64	1,77	7,30	0,97	12,20	0,64	1,77	7,07	0,92	3,17	-0,32	0,00	3,12	5,26
UDDS	7,60	0,70	0,44	1,29	0,41	7,40	0,67	0,40	1,35	0,36	2,63	-2,94	7,76	-4,10	13,17
HWFET	6,60	0,63	0,28	1,62	0,29	6,60	0,63	0,27	1,73	0,30	0,00	-0,38	2,16	-6,65	-2,05

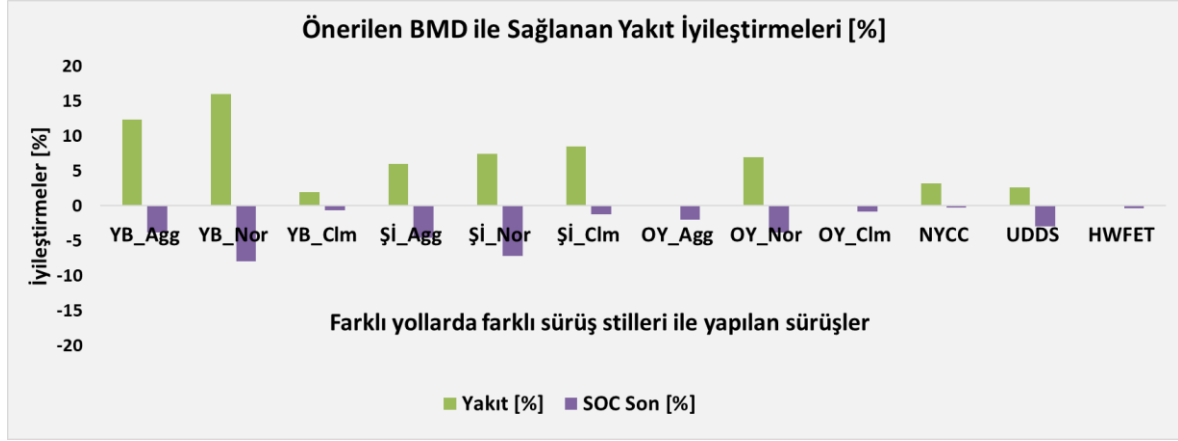
Çizelge 5.4'ün ilk bölümü, yerleşim bölgelerindeki sürüşlerin ayrıntılarını göstermektedir. Çizelge 5.3'de gösterildiği üzere yerleşim bölgelerindeki sürüşler kısa mesafelidir. Bu alanlarda hız limitleri vardır, yol çok düzgün olmayabilir ve birçok trafik ışığı aşırı hız yapılmasına izin vermez. Böyle bir durumda elektrik motoru daha fazla çalışacağı için yakıt tüketiminin zaten daha az olması beklenir. Ancak, buna rağmen önerilen EYS mevcut sisteme göre ortalama olarak agresif sürüşte %12,3, normal sürüşte %16 ve sakin sürüşte %1,9 daha az yakıt tüketmiştir. Önerilen sistem bataryayı daha fazla kullansa da sürüş sonunda batarya tamamen bitmemiş, her iki yapıdaki batarya SOC değerleri oldukça yakın çıkmıştır. Bununla beraber geliştirilen sistem zararlı emisyonları da önemli ölçüde azaltmış, yerleşim bölgesi yollarında HC'de %10,2'ye, CO'da %17,2'ye ve NO_x'te %29,6'ya varan iyileşmeler sağlamıştır.

Şehir içi sürüşte, yerleşim bölgesindeki sürüşlerde olduğu gibi bataryanın daha fazla kullanıldığı ancak tamamen tükenmediği görülmektedir. Önerilen EYS agresif sürüşte ortalama %6, normal sürüşte %7,4, sakin sürüşte ise %8,5 yakıt tasarrufu sağlamıştır. Tüm sürüş stillerinde ortalama olarak, HC'de %8,3'e kadar, CO'da %18,5'e kadar ve NO_x'te %15,5'e kadar emisyonlarda iyileşmeler olmuştur.

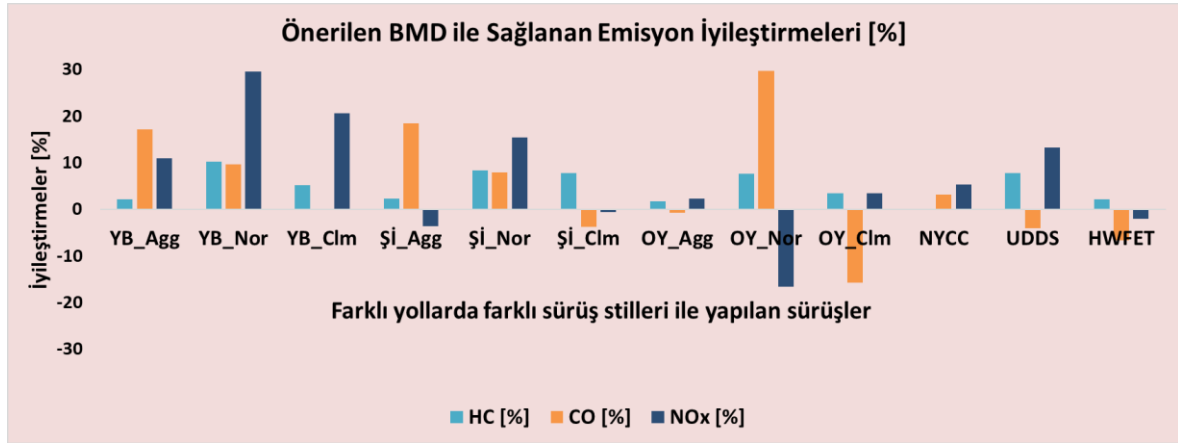
Otoyol yolculukları uzun olduğundan ve genellikle yüksek hız tercih edildiğinden yakıt ekonomisinden çok performansa önem verilir. Otoyol sürüşlerinde de yolculuk sonunda bataryanın SOC değerleri arasında önemli bir fark görülmezken, yakıt tüketiminde düşüş, emisyonlarda iyileşme sağlanmıştır. Önerilen EYS, agresif sürüşte ortalama %0,2 ve normal sürüşte %7'lik ortalama yakıt tasarrufu sağlamıştır. Tüm sürüş stillerinde emisyonlarda ortalama olarak HC'de %7,6'ya kadar, CO'da %29,7'ye kadar ve NO_x'te %3,4'e kadar iyileşmeler olmuştur.

Geliştirilen karar ağacı algoritmasına sahip sürüş sınıflandırma modeli, HWFET, UDDS ve NYCC referans sürüş döngülerini sırasıyla sakin otoyol, normal şehir içi yol ve agresif yerleşim bölgesi sürüşü olarak tahmin etmişti. Önerilen BMD, bu sürüş çevrimlerinde de benzer iyileşmeleri sağlamıştır. Bu üç referans sürüş döngüsü için Çizelge 5.4'de gösterildiği üzere yakıtta %3,2'ye, HC'de %7,8'e, CO'da %3,1'e ve NO_x'te %13,2'ye varan iyileştirmeler elde edilmiştir.

Önerilen BMD tarafından sağlanan iyileştirmeleri gösteren Çizelge 5.4'deki bilgilerin özet grafiği Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.10. Önerilen BMD ile gömülü BMD'ye göre sağlanan yakıt iyileştirmeleri



Şekil 5.11. Önerilen BMD ile gömülü BMD'ye göre sağlanan emisyon iyileştirmeleri

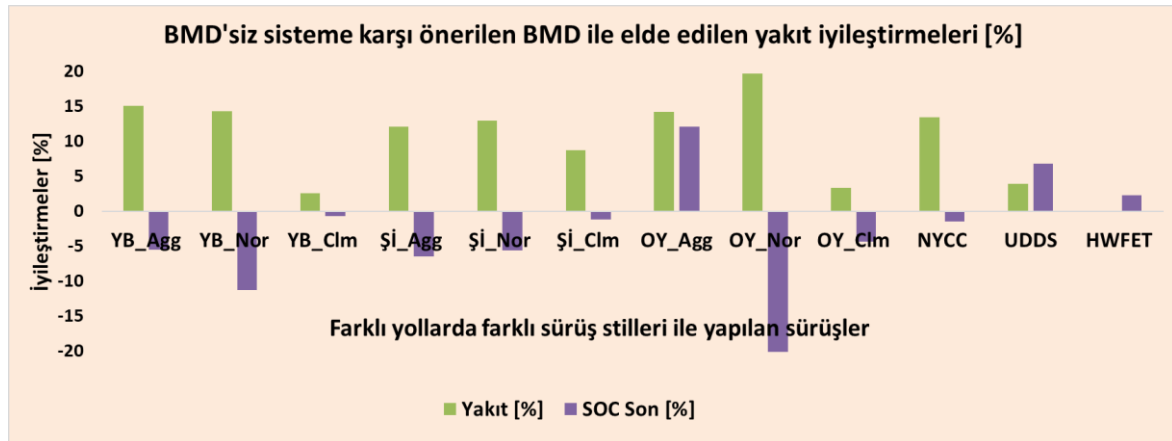
5.4.2. BMD içeren ve içermeyen iki kontrol sisteminin karşılaştırılması

İkinci olarak geliştirilen BMD tabanlı enerji yönetim sistemi BMD'siz bir uzman sistemle karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda önerilen BMD tabanlı kontrol sistemi, paralel tahrik sistemine sahip hibrit araçlar için şanzıman ve motor kontrolüne göre geliştirilen ADVISOR'daki PTC_PAR adlı kontrol sistemi ile karşılaştırılmıştır. İki sistemin çıktılarını yakıt, batarya SOC durumu ve emisyon değerleri temelinde karşılaştırılarak Çizelge 5.5'de gösterilmektedir. Çizelge 5.5, önerilen BMD tabanlı kontrol sisteminin yakıt tüketimi konusunda ve emisyonda çok daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, neden herhangi bir uzman sistem yerine bulanık mantık tabanlı bir kontrol sisteminin tercih edilmesi gerektiğini de göstermiştir.

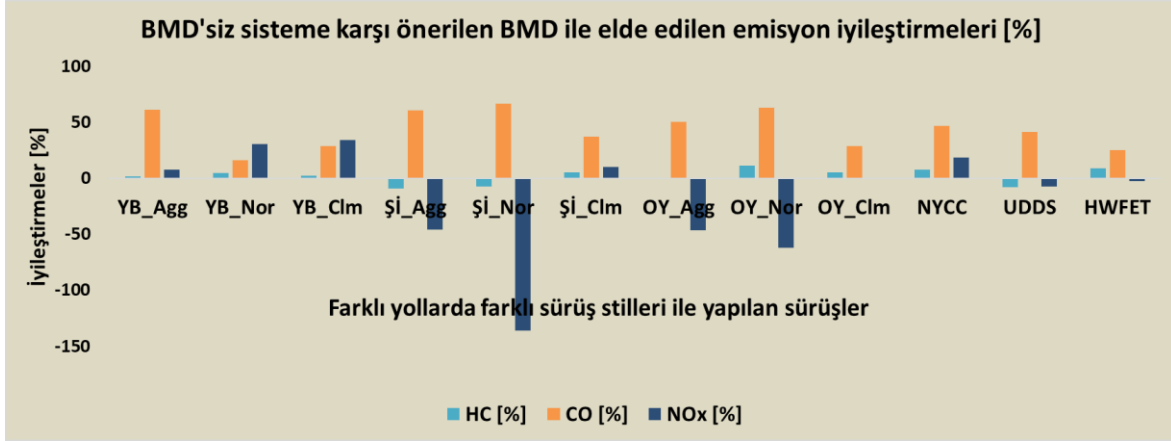
Çizelge 5.5. Test sürüş çevrimleri için BMD'li ve BMD'siz iki sistem ile alınan sonuçlar

Sürüş Çevrimleri	ADVISOR PTC_PAR					Önerilen BMD					Karşılaştırma (İlerleme)				
	Yakıt [L/100 km]	SOC Son	HC [gram/km]	CO [gram/km]	NOx [gram/km]	Yakıt [L/100 km]	SOC Son	HC [gram/km]	CO [gram/km]	NOx [gram/km]	Yakıt [%]	SOC Son [%]	HC [%]	CO [%]	NOx [%]
YB_Agresif	7,63	0,64	0,61	6,45	0,47	6,47	0,60	0,60	2,45	0,44	15,1	-5,6	1,3	61,2	7,3
YB_Normal	6,63	0,63	0,54	2,65	0,39	5,67	0,56	0,51	2,23	0,27	14,32	-11,27	4,35	16,01	30,72
YB_Sakin	7,82	0,66	1,68	10,7	0,95	7,54	0,65	1,64	7,24	0,61	2,56	-0,66	2,25	28,38	34,08
Şİ_Agresif	8,96	0,34	0,28	3,84	0,24	7,69	0,33	0,31	1,53	0,35	12,11	-6,50	-9,19	60,41	-45,82
Şİ_Normal	7,78	0,59	0,38	4,11	0,28	6,68	0,57	0,41	1,34	0,38	12,96	-5,58	-7,59	66,39	-136,3
Şİ_Sakin	8,58	0,64	1,19	8,33	0,67	7,83	0,64	1,13	5,14	0,59	8,68	-1,18	5,12	36,91	10,25
OY_Agresif	8,74	0,17	0,19	3,36	0,16	7,50	0,17	0,19	1,65	0,23	14,24	12,08	0,59	50,02	-46,44
OY_Normal	8,95	0,13	0,18	3,08	0,16	7,13	0,10	0,16	1,13	0,25	19,66	-38,75	11,14	62,91	-62,07
OY_Sakin	7,82	0,49	0,21	2,44	0,17	7,46	0,48	0,20	1,89	0,17	3,34	-4,41	5,35	28,48	-0,81
NYCC	14,10	0,65	1,92	13,2	1,13	12,20	0,64	1,77	7,07	0,92	13,48	-1,52	7,80	46,56	18,46
UDDS	7,70	0,63	0,37	2,28	0,33	7,40	0,67	0,40	1,35	0,36	3,90	6,76	-8,02	41,00	-7,55
HWFET	6,60	0,62	0,30	2,31	0,29	6,60	0,63	0,27	1,73	0,30	0,00	2,29	8,72	25,05	-2,75

Önerilen BMD'li sistemin sağladığı iyileşmeleri gösteren Çizelge 5.5'deki bilgilerin özet grafiği Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Önerilen BMD ile BMD'siz yapıya göre sağlanan yakıt iyileştirmeleri



Şekil 5.13. Önerilen BMD ile BMD'siz yapıya göre sağlanan emisyon iyileştirmeleri

Yukarıdaki tüm sonuçların ışığında, sürüş verilerini temel alarak belirlenmiş kurallara göre geliştirilen bulanık mantık tabanlı kontrol yönteminin, talep edilen güce göre batarya kullanım oranını büyük ölçüde optimize ettiği, yakıt ve emisyonlarda önemli iyileştirmeler sağladığı açıkça görülmektedir.

HC, CO ve NO_x emisyonları ateşleme zamanı, yük, hız ve hava/yakıt oranı gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. NO_x emisyonunun HC ve CO emisyonuna zıt hareket ettiği göz önüne alındığında Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'de aynı sürüşte HC ve CO emisyonlarda iyileşme olurken NO_x'te olmaması, yapılan deneylerin ve alınan sonuçların tutarlı ve makul olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm araçlar için düşük yakıt tüketimi ve zararlı emisyonların azaltılması hedefi ve beklentisi sürekli artış halindedir. Elektrikli araçlar için geliştirilen enerji yönetim stratejileri bu hedefleri ve beklentileri karşılamak için önemli rol oynamakta ve bu stratejiler için emek ve zaman harcanmaya devam edilmektedir. Bugüne kadar HEA'lar için tasarlanan enerji yönetim sistemleri, yakıt verimliliği ve emisyonların azaltılması için önemli katkılar sunmuştur, ancak yol, trafik, sürüş tarzı gibi çevresel değişkenler dikkate alınarak geliştirilecek stratejilerle çok daha fazla ilerleme kaydetmek mümkündür. Bunu başarmak için bu çalışmada enerji yönetim sistemi veri odaklı yaklaşımla ve makine öğrenmesi algoritmaları ile desteklenmiştir. Dokuz profesyonel sürücünün gerçek sürüş koşullarında yaptıkları sürüşlerden elde edilen sürüş verilerinden sürüş tarzını ortaya çıkaracak özneliklerin değerleri hesaplanmıştır. Özneliklerin aldığı değerler üzerinde veri ön işleme çalışmaları yapılmış, bu verilere veri madenciliği yöntemleri uygulanmıştır. Aykırı ve eksik verilerin temizlenmesi, korelasyon analizi ile birlikte hareket eden özneliklerden birinin atılması, normalizasyon, veriyi eğitim ve test verilerine ayırma işlemlerinden sonra sınıflandırma algoritmaları ile sürüş tarzı tahmin modelleri geliştirilmiştir. k-NN, destek vektör makineleri, karar ağacı, yapay sinir ağı, lojistik regresyon ve Naive Bayes sınıflandırıcıları ile farklı yol koşullarında üç farklı sürüş tarzı belirlenmiş, karar ağacı sınıflandırıcı ile en iyi doğruluk ve performans elde edilmiştir. Seçilen tüm algoritmalar ile ortalama %90'ın üzerinde doğruluk oranının yakalanması, hata matrisinden elde edilen kesinlik, duyarlılık ve F skoru değerlerinin benzer ve 1'e yakın olması sürüş tarzını belirlemede sınıflandırma algoritmaları ile sonuç aramanın isabetini göstermiştir.

Karar ağacı sınıflandırma yöntemi ile tespit edilen sürüş tarzı doğrultusunda geliştirilen strateji ADVISOR simülasyon ortamında 90 farklı sürüş döngüsünde hayata geçirilmiştir. Simülasyon verilerine dayalı olarak geliştirilen EYS, tüm farklı yol tiplerinde ve farklı sürüş tarzlarında yakıt tüketimini ve zararlı emisyonları düşürdüğünü gösteren çok net sonuçlar üretmiştir. Veri odaklı olmayan bulanık sisteme göre yerleşim bölgelerinde %16'ya, şehir içinde %9'a, otoyol sürüşlerinde %7'ye varan yakıt iyileşmeleri sağlanmıştır. Yine veri odaklı olmayan ve bulanık mantık içermeyen kural tabanlı sisteme göre yerleşim bölgelerinde %15'e, şehir içinde %13'e, otoyol sürüşlerinde %20'ye varan yakıt iyileşmeleri sağlanmıştır. Emisyonların birbiriyle ya da yakıtle arasında verimlilik yönüyle bir takas olduğu göz önüne alınmak kaydıyla, önerilen sistem diğer iki sisteme göre yerleşim bölgesi

yollarında HC'de %10'a, CO'da %28'e, NO_x'te %34'e, şehir içi yollarda HC'de %8'e, CO'da %66'ya, NO_x'te %15'e, otoyolda HC'de %11'e, CO'da %63'e, NO_x'te %3'e varan emisyon iyileştirmeleri sağlamıştır. Bu sonuçlardan hareketle, bu çalışma, yalnızca teoriye dayanmak yerine gerçekçi belirsizlikleri göz önünde bulundurarak veriye dayalı bir strateji belirlemenin önemini ve geçerliliğini açıkça göstermiştir.

Bu çalışmanın sınırlılıkları, geniş bir veri havuzu oluşturulmuş olsa da Türkiye'nin belirli bölgelerinden veri toplanması, üç farklı yol tipinin dikkate alınması, trafiğin sadece yoğun ve sakin olarak sınıflandırılması ve üç farklı sürüş tarzının tahmin edilmesidir. Bu çalışma daha fazla bölgede, daha çeşitli trafik koşullarında, daha farklı yaş ve tecrübelerdeki sürücülerle ve daha fazla sürüş verisi ile yapıldığında daha iyi sonuçlar elde etmek mümkün olabilir. Simülasyon ortamında yapılan testlerin gerçek bir hibrit araçla yapılması ve aynı güzel sonuçların gerçek ortamda da alınması halinde otomobil endüstrisi için yakıt ve emisyon iyileştirmeleri konusunda önemli yeniliklerin önü açılacaktır.

KAYNAKLAR

1. Gautam, P.K., Arya, A., Kumar, S., Mitra, U., Mehroliya, S., and Gupta, S. (2021). Modelling and simulating performance of hybrid electric vehicle using advisor 2.0. 2021 IEEE 4th Int. Conf. Comput. Power Commun. Technol., 1–6.
2. Suhail, M., Akhtar, I., Kirmani, S., and Jameel, M. (2021). Development of progressive fuzzy logic and ANFIS control for energy management of plug-in hybrid electric vehicle. *IEEE Access*, 9, 62219–62231.
3. Szumska, E.M., and Jurecki, R. (2020). The effect of aggressive driving on vehicle parameters. *Energies*, 13(24), 6675.
4. Kumar, A., and Thakura, P.R. (2020). ADVISOR-based performance analysis of a hybrid electric vehicle and comparison with a conventional vehicle. *IETE J. Res.*, 1–9.
5. Wang, S., Huang, X., López, J.M., Xu, X., and Dong, P. (2019). Fuzzy adaptive-equivalent consumption minimization strategy for a parallel hybrid electric vehicle. *IEEE Access*, 133290–133303.
6. Xu, Q., Mao, Y., Zhao, M., and Cui, S. (2018). A hybrid electric vehicle dynamic optimization energy management strategy based on a compound-structured permanent-magnet motor, *Energies*, 11(9), 2212.
7. Hu, Y., Li, W., Xu, K., Zahid, T., Qin, F., and Li, C. (2018). Energy management strategy for a hybrid electric vehicle based on deep reinforcement learning. *Appl. Sci*, 8.
8. Li, J., Liu, Y., Zhang, Y., Lei, Z., Chen, Z., and Li, G. (2021). Data-driven based eco-driving control for plug-in hybrid electric vehicles. *J. Power Sources*, 498, 229916.
9. Jiao, X., Li, Y., Xu, F., and Jing, Y. (2018). Real-time energy management based on ECMS with stochastic optimized adaptive equivalence factor for HEVs. *Cogent Eng*, 5, 1540027.
10. Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M.N., and Hossain, E. (2017). A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development. *Energies*, 10(8), 1217.
11. Zhou, Y., Ravey, A., and Péra, M. (2019). A survey on driving prediction techniques for predictive energy management of plug-in hybrid electric vehicles. *J. Power Sources*, 412, 480–495.
12. Sidharthan Panaparambil, V., Kashyap, Y., and Vijay Castelino, R. (2021). A review on hybrid source energy management strategies for electric vehicle, *Int. J. Energy*

- Res*, 45, 19819–19850.
13. Liu, Y., Zhang, Y., Yu, H., Nie, Z., Liu, Y., and Chen, Z. (2022). A novel data-driven controller for plug-in hybrid electric vehicles with improved adaptabilities to driving environment. *J. Clean. Prod*, 334, 130250.
 14. Gurkaynak, Y., Khaligh, A., and Emadi, A. (2009). State of the art power management algorithms for hybrid electric vehicles, 2009 IEEE Veh. Power Propuls. Conf., 388–394.
 15. Wu, Y., Zhang, Y., Li, G., Shen, J., Chen, Z., and Liu, Y. (2020). A predictive energy management strategy for multi-mode plug-in hybrid electric vehicles based on multi neural networks. *Energy*, 208, 118366.
 16. Liu, T., Hu, X., Hu, W., and Zou, Y. (2019). A heuristic planning reinforcement learning-based energy management for power-split plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Trans. Ind. Informatics*, 15, 6436–6445.
 17. Qi, X., Luo, Y., Wu, G., Boriboonsomsin, K., and Barth, M. (2019). Deep reinforcement learning enabled self-learning control for energy efficient driving. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol*, 99, 67–81.
 18. Wirasingha, S.G., and Emadi, A. (2011). Classification and review of control strategies for plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Trans. Veh. Technol*, 60, 111–122.
 19. Panday, A., and Bansal, H.O. (2014). A review of optimal energy management strategies for hybrid electric vehicle. *Int. J. Veh. Technol*.
 20. Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Inf. Control*, 8, 338–353.
 21. Bose, B.K. (2000). Fuzzy logic and neural networks in power electronics and drives. *IEEE Ind. Appl. Mag*, 6, 57–63.
 22. Baumann, B.M., Washington, G., Glenn, B.C., and Rizzoni, G. (2000). Mechatronic design and control of hybrid electric vehicles. *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, 5, 58–72.
 23. Ahmed, M.S., Bhatti, U.L., Al-sunni, F.M., and El-shafei, M. (2001). Design of a fuzzy servo-controller. *Fuzzy Sets Syst*, 124, 231–247.
 24. Zilouchian, A., Juliano, M., Healy, T., and Davis, J. (2000). Design of a fuzzy logic controller for a jet engine fuel system. *Control Eng. Pract.* 8, 873–883.
 25. Mamdani, E.H. (1974). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proc. Inst. Electr. Eng*, 121, 1585–1588.

26. Eker, İ., and Torun, Y. (2006). Fuzzy logic control to be conventional method. *Energy Convers. Manag.*, 47, 377–394.
27. Hajimiri, M.H., and Salmasi, F.R. (2006). A fuzzy energy management strategy for series hybrid electric vehicle with predictive control and durability extension of the battery. 2006 IEEE Conf. Electr. Hybrid Veh., 1–5.
28. Gao, D., Jin, Z., and Lu, Q. (2008). Energy management strategy based on fuzzy logic for a fuel cell hybrid bus. *J. Power Sources*, 185, 311–317.
29. Feng, G. (2006). A survey on analysis and design of model-based. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 14, 676–697.
30. Li, Q., Chen, W., Li, Y., Liu, S., and Huang, J. (2012). Electrical power and energy systems energy management strategy for fuel cell / battery / ultracapacitor hybrid vehicle based on fuzzy logic. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 43, 514–525.
31. Melero-Pérez, A., Gao, W., and Fernández-Lozano J.J. (2009). Fuzzy logic energy management strategy for fuel cell/ultracapacitor/battery hybrid vehicle with multiple-input DC/DC converter. 5th IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC '09, 199–206.
32. Naderipour, A., Abdul-Malek, Z., Heidari Gandoman, F., Nowdeh, S.A., M.A., Shiran, Hadidian Moghaddam, M.J., and Davoodkhani, I.F. (2020). Optimal designing of static var compensator to improve voltage profile of power system using fuzzy logic control. *Energy*, 192, 116665.
33. Nayak, P., and Vathasavai, B. (2017). Energy efficient clustering algorithm for multi-hop wireless sensor network using type-2 fuzzy logic. *IEEE Sens. J.*, 17, 4492–4499.
34. Beskardes, A., Hames, Y., Cevik, S., Kaya, K., and Ozdemir, E. (2019). Fuzzy logic based sinter RDI optimization. 4th Int. Conf. Power Electron. Their Appl. ICPEA
35. Du, S., Wu, M., Chen, L., Zhou, K., Hu, J., Cao, W., and Pedrycz, W. (2020). A fuzzy control strategy of burn-through point based on the feature extraction of time-series trend for iron ore sintering process. *IEEE Trans. Ind. Informatics*, 16, 2357–2368.
36. Yang, C., Jiang, Y., Na, J., Li, Z., Cheng, L., and Su, C.-Y. (2019). Finite-time convergence adaptive fuzzy control for dual-arm robot with unknown kinematics and dynamics. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 27, 574–588.
37. Sharma, R., Bhasin, S., Gaur, P., and Joshi, D. (2019). A switching-based collaborative fractional order fuzzy logic controllers for robotic manipulators. *Appl. Math. Model.*, 73, 228–246.
38. Ouanjli, N. El, Motahhir, S., Derouich, A., El Ghzizal, A., Chebabhi, A., and Taoussi, M. (2019). Improved DTC strategy of doubly fed induction motor using fuzzy logic controller. *Energy Reports*, 5, 271–279.

39. Phuong, N., Nguyen, A., and Thuy, T.T.H. (2018). A fuzzy model of diagnosis and treatment by acupuncture based on pulse symbols by triple cun - guan - chi of traditional oriental medicine. *IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst*, 1–8.
40. Camara, R.C., Cuzzocrea, A., Grasso, G.M., Leung, C.K., Powell, S.B., Souza, J., and Tang, B. (2018). Fuzzy logic-based data analytics on predicting the effect of hurricanes on the stock market. *IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst.*, 1–8.
41. Orji, I.J., and Wei, S. (2015). An innovative integration of fuzzy-logic and systems dynamics in sustainable supplier selection: A case on manufacturing industry. *Comput. Ind. Eng.* 88, 1–12.
42. Djordjevic, I., Petrovic, D., and Stojic, G. (2019). A fuzzy linear programming model for aggregated production planning (APP) in the automotive industry. *Comput. Ind.* 110, 48–63.
43. Çeven, S., Albayrak, A., and Bayır, R. (2020). Real-time range estimation in electric vehicles using fuzzy logic classifier. *Comput. Electr. Eng.* 83, 106577.
44. Jianyao, H., Juan, W., Hemeng, P., Qi, P., and Qingli, H. (2017). Application of fuzzy logic algorithm for optimization of control strategy in electric vehicles. *IEEE 2nd Adv. Inf. Technol. Electron. Autom. Control Conf.*, 2042–2045.
45. Park, J., Jeong, H., Jang, I.G., and Hwang, S.-H. (2015). Torque distribution algorithm for an independently driven electric vehicle using a fuzzy control method. *Energies*, 8, 8537–8561.
46. Makrygiorgou, J.J., and Alexandridis, A.T. (2017). Fuzzy logic control of electric vehicles: Design and analysis concepts. *Twelfth Int. Conf. Ecol. Veh. Renew. Energies*, 1–6.
47. Zhang, Y., Mou, Y., and Yang, Z. (2016). An energy management study on hybrid power of electric vehicle based on aluminum air fuel cell. *IEEE Trans. Appl. Supercond*, 26, 1–6.
48. Uzunsoy, E. (2018). A brief review on fuzzy logic used in vehicle dynamics control. *J. Innov. Sci. Eng.* 2, 1–7.
49. Wahsh, S., Hamed, H.G., Nashed, M.N.F., and Dakrory, T. (2008). Fuzzy logic based control strategy for parallel hybrid electric vehicle. *IEEE Int. Conf. Mechatronics Autom.*, 27–31.
50. Majdi, L., Ghaffari, A., and Fatehi, N. (2009). Control strategy in hybrid electric vehicle using fuzzy logic controller. *IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics*, 842–847.
51. Sarvestani, A.S., and Safavi, A.A. (2009). A novel optimal energy management strategy based on fuzzy logic for a hybrid electric vehicle. *IEEE Int. Conf. Veh.*

- Electron. Saf., 141–145.
52. Mohd, C., TAT, Hassan, I., Aris, M.K., and Azura, I. (2017). Application of fuzzy logic in multi-mode driving for a battery electric vehicle energy management. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, 7, 284–290.
 53. Pérez-Pimentel, Y., Osuna-Galán, I., Avilés-Cruz, C., and Villegas-Cortez, J. (2018). Power supply management for an electric vehicle using fuzzy logic. *Appl. Comput. Intell. Soft Comput*, 2018, 2846748.
 54. Sayed, K., Kassem, A., Saleeb, H., Alghamdi, A.S., and Abo-Khalil, A.G. (2020). Energy-saving of battery electric vehicle powertrain and efficiency improvement during different standard driving cycles. *Sustainability*, 12(24), 10466.
 55. Michalczuk, M., Ufnalski, B., and Grzesiak, L. (2013). Fuzzy logic control of a hybrid battery-ultracapacitor energy storage for an urban electric vehicle. Eighth Int. Conf. Exhib. Ecol. Veh. Renew. Energies, 1–7.
 56. Akar, F., Tavlasoglu, Y., and Vural, B. (2017). An energy management strategy for a concept battery/ultracapacitor electric vehicle with improved battery life. *IEEE Trans. Transp. Electrif.* 3, 191–200.
 57. Mohammedi, M., Kraa, O., Becherif, M., Aboubou, A., Ayad, M.Y., and Bahri, M. (2014). Fuzzy logic and passivity-based controller applied to electric vehicle using fuel cell and supercapacitors hybrid source. *Energy Procedia*, 50, 619–626.
 58. Saib, S., Hamouda, Z., and Marouani, K. (2017). Energy management in a fuel cell hybrid electric vehicle using a fuzzy logic approach. 5th Int. Conf. Electr. Eng. - Boumerdes, 1–4.
 59. He, X., Parten, M., and Maxwell, T. (2005). Energy management strategies for a hybrid electric vehicle. IEEE Veh. Power Propuls. Conf., 536–540.
 60. Kheir, N.A., Salman, M.A., and Schouten, N.J. (2004). Emissions and fuel economy trade-off for hybrid vehicles using fuzzy logic. *Math. Comput. Simul*, 66, 155–172.
 61. Solano, J., John, R.I., Hissel, D., and Péra, M. (2012). A survey-based type-2 fuzzy logic system for energy management in hybrid electrical vehicles. *Information Sciences*, 190, 192–207.
 62. Solano Martínez, J., Mulot, J., Harel, F., D. Hissel, Péra, M.-C., John, R.I., and Amiet, M. (2013). Experimental validation of a type-2 fuzzy logic controller for energy management in hybrid electrical vehicles. *Eng. Appl. Artif. Intel.*, 26, 1772–1779.
 63. Jeong, K., Lee, W., and Kim, C. (2005). Energy management strategies of a fuel cell / battery hybrid system using fuzzy logics. *J. Power Sources*, 145, 319–326.

64. Yang, S., Xu, B., and Zhu, C. (2010). Optimization of fuzzy controller based on genetic algorithm. 2010 Int. Conf. Intell. Syst. Des. Eng. Appl., IEEE, 21–28.
65. Luo, X., Deng, B., and Gan, W. (2021). Research on fuzzy control strategy and genetic algorithm optimization for parallel hybrid electric vehicle. *J. Phys. Conf. Ser.*, 12106.
66. Hwang, H.-Y., and Chen, J.-S. (2020). Optimized fuel economy control of power-split hybrid electric vehicle with particle swarm optimization. *Energies*, 13(9), 2278.
67. Seixas, L.D., Tosso, H.G., Corrêa, F.C., and Eckert, J.J. (2020). Particle swarm optimization of a fuzzy controlled hybrid energy storage system – HESS. *IEEE Veh. Power Propuls. Conf.*, 1–6.
68. Happyanto, D.C., Soebagio, S., and Purnomo, M.H. (2012). New algorithm for the smoothing speed control of induction motor in electric car based on self-tuning parameter PID-fuzzy logic. *IPTEK J. Technol. Sci*, 23.
69. Al-Jazaeri, A.O., Samaranayake, L., Longo, S., and Auger, D.J. (2014). Fuzzy logic control for energy saving in autonomous electric vehicles. *IEEE Int. Electr. Veh. Conf.*, 1–6.
70. Chiang, C.-J., Chen, Y.-C., and Lin, C.-Y. (2014). Fuzzy sliding mode control for smooth mode changes of a parallel hybrid electric vehicle. *11th IEEE Int. Conf. Control Autom.*, 1072–1077.
71. Xydas, E., Marmaras, C., Cipcigan, L.M., Jenkins, N., Carroll, S., and Barker, M. (2016). A data-driven approach for characterising the charging demand of electric vehicles : A UK case study. *Appl. Energy*, 162, 763–771.
72. Chang, F., Chen, T., Su, W., and Alsafasfeh, Q. (2019). Charging control of an electric vehicle battery based on reinforcement learning. *10th Int. Renew. Energy Congr.*, 1–63.
73. Pan, W., Chen, Q., Zhu, M., Tang, J., and Wang, J. (2020). A data-driven fuzzy information granulation approach for battery state of health forecasting. *J. Power Sources*, 475, 228716.
74. Koufakis, A.-M., Rigas, E.S., Bassiliades, N., and Ramchurn, S.D. (2020). Offline and online electric vehicle charging scheduling with V2V energy transfer. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 21, 2128–2138.
75. Li, G., Sun, Q., Boukhatem, L., Wu, J., and Yang, J. (2019). Intelligent vehicle-to-vehicle charging navigation for mobile electric vehicles via VANET-based communication. *IEEE Access*, 7, 170888–170906.
76. Ma, Y., Liu, C., Zhou, X., and Gao, Z. (2017). Controller of V2G based on fuzzy

- logic, *IEEE Int. Conf. Mechatronics Autom.*, 2017, 305–310.
77. Faddel, S., Aldeek, A., Al-Awami, A.T., Sortomme, E., and Al-Hamouz Z. (2018). Ancillary services bidding for uncertain bidirectional V2G using fuzzy linear programming. *Energy*, 160, 986–995.
 78. De Luca, F., Calderaro, V., and Galdi, V. (2020). A fuzzy logic-based control algorithm for the recharge/V2G of a nine-phase integrated on-board battery charger. *Electronics*, 9(6), 946.
 79. Lv, Z., Qiao, L., Cai, K., and Wang, Q. (2021). Big data analysis technology for electric vehicle networks in smart cities. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 22, 1807–1816.
 80. Luo, Y., Zhu, T., Wan, S., Zhang, S., and Li K. (2016). Optimal charging scheduling for large-scale EV (electric vehicle) deployment based on the interaction of the smart-grid and intelligent-transport systems. *Energy*, 97, 359–368.
 81. Wu, H., and Xu, Z.S. (2021). Fuzzy logic in decision support : methods, applications and future trends. *Int. J. Comput. Commun. Control*, 16.
 82. Alam, M.S., and Tokhi, M.O. (2008). Hybrid fuzzy logic control with genetic optimisation for a single-link flexible manipulator. *Eng. Appl. Artif. Intell*, 21, 858–873.
 83. Poursamad, A., and Montazeri, M. (2008). Design of genetic-fuzzy control strategy for parallel hybrid electric vehicles. *Control Eng. Pract*, 16, 861–873.
 84. da Silva, J.L. (2021). Fuzzy logic control with PSO tuning. C. Volosencu (Ed.), *Fuzzy Syst.*, IntechOpen, Rijeka.
 85. Rahma, A., and Khemliche, M.. (2014). Combined approach between FLC and PSO to find the best MFs to improve the performance of PV system. *Int. Conf. Electr. Sci. Technol. Maghreb*, 1–8.
 86. Ustun, S.V., and Demirtas, M. (2008). Optimal tuning of PI coefficients by using fuzzy-genetic for V/f controlled induction motor. *Expert Syst. Appl*, 34, 2714–2720.
 87. Chu, B., Kim, D., Hong, D., Park, J., Chung, J.T., Chung, J.-H., and Kim, T.-H. (2008). GA-based fuzzy controller design for tunnel ventilation systems. *Autom. Constr*, 17,130–136.
 88. Sengupta, S., Basak, S., and Peters, R.A. (2019). Particle swarm optimization: A survey of historical and recent developments with hybridization perspectives. *Mach. Learn. Knowl. Extr*, 1, 157–191.

89. Fernández-Martínez, J.L. (2012). A brief historical review of particle swarm optimization (PSO). *J. Bioinforma. Intell. Control*, 1, 3–16.
90. Zhou, M., Zhang, H., and Wang, X. (2011). Research on fuzzy energy management strategy of parallel hybrid electric vehicle. *Int. Conf. Electron. Mech. Eng. Inf. Technol.*, 967–971.
91. Ahmadi, S., Bathaee, S.M.T., and Hosseinpour A.H. (2018). Improving fuel economy and performance of a fuel-cell hybrid electric vehicle (fuel-cell , battery , and ultra-capacitor) using optimized energy management strategy. *Energy Convers. Manag.*, 160, 74–84.
92. Odeim, F., Roes, J., and Heinzl A. (2015). Power management optimization of an experimental fuel cell/battery/supercapacitor hybrid system. *Energies*, 8, 6302–6327.
93. Paladini, V., Donateo, T., De Risi, A., and Laforgia, D. (2007). Super-capacitors fuel-cell hybrid electric vehicle optimization and control strategy development. *Energy Convers. Manag.*, 48, 3001–3008.
94. Lee, H.-D., and Sul, S.-K. (1998). Fuzzy-logic-based torque control strategy for parallel-type hybrid electric vehicle. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 45, 625–632.
95. Koo, E., Lee, H., Sui, S., and Kim, J. (1998). Torque control strategy for a parallel hybrid vehicle using fuzzy logic. *IEEE Ind. Appl. Mag.*, 6, 33–38.
96. Bathaee, S.M.T., Gastaj, A.H., Emami, S.R., and Mohammadian, M. (2005). A Fuzzy-based supervisory robust control for parallel hybrid electric vehicles, *IEEE Veh. Power Propuls. Conf.*, 7.
97. Lu, D., Li, W., Xu, G., and Zhou, M. (2012). Fuzzy logic control approach to the energy management of parallel hybrid electric vehicles. *IEEE Int. Conf. Inf. Autom.*, 592–596.
98. Chellaswamy, C., Balaji, T.S., and Mukuntharaj, C. (2012). Design of a fuel free electric vehicle using fuzzy logic for pollution control. *Procedia Eng.*, 38, 1547–1558.
99. Johanyák, Z.C., Ailer, P.G., and Göcs, L. (2014). A simple fuzzy control design for series hybrid electric vehicle. *6th Int. Sci. Expert Conf. Int. TEAM Soc.*, 499.
100. Sabri, M.F.M., Danapalasingam, K.A., and Rahmat M.F. (2018). Improved fuel economy of through-the-road hybrid electric vehicle with fuzzy logic-based energy management strategy. *Int. J. Fuzzy Syst*, 20, 2677–2692.
101. Ming, L., Ying, Y., Liang, L., Yao, L., and Zhou, W. (2017). Energy management strategy of a plug-in parallel hybrid electric vehicle using fuzzy control. *Energy Procedia*, 105, 2660–2665.

102. Tian, H., Wang, X., Lu, Z., Huang, Y., and Tian, G. (2018). Adaptive fuzzy logic energy management strategy based on reasonable SOC reference curve for online control of plug-in hybrid electric city bus. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst*, 19, 1607–1617.
103. Ma, K., Wang, Z., Liu, H., Yu, H., and Wei, C. (2019). Numerical investigation on fuzzy logic control energy management strategy of parallel hybrid electric vehicle. *Energy Procedia*, 158, 2643–2648.
104. Mahyiddin, S.H., Mohamed, M.R., Mustaffa, Z., Khor, A.C., Sulaiman, M.H., Ahmad, H., and Abdul Rahman, S. (2016). Fuzzy logic energy management system of series hybrid electric vehicle. *IET Conf. Publ*, 2016, 10.
105. Martinez, D.A., Poveda, J.D., and Montenegro, D. (2017). Li-ion battery management system based in fuzzy logic for improving electric vehicle autonomy. *IEEE Work. Power Electron. Power Qual. Appl.*, 1–6.
106. Singh, K.V., Bansal, H.O., and Singh, D. (2020). Feed-forward modeling and real-time implementation of an intelligent fuzzy logic-based energy management strategy in a series–parallel hybrid electric vehicle to improve fuel economy. *Electr. Eng*, 102, 967–987.
107. Salmasi, F.R. (2007). Control strategies for hybrid electric vehicles: Evolution, classification, comparison, and future trends. *IEEE Trans. Veh. Technol*, 56, 2393–2404.
108. Rajagopalan, A., Washington, G., Rizzoni, G., and Guezennec, Y. (2003). Development of fuzzy logic and neural network control and advanced emissions modeling for parallel hybrid vehicles. United States: NREL.
109. Won, J., and Langari, R. (1999). Fuzzy torque distribution control for a parallel hybrid vehicle. *Expert Syst*, 19, 4–10.
110. Langari, R., Member, S., and Won, J. (2005). Intelligent energy management agent for a parallel hybrid vehicle — Part I: System architecture and design of the driving situation identification process. *IEEE Trans. Veh. Technol*, 54, 925–934.
111. Zhang, Y., and Liu, H.P. (2012). Fuzzy multi-objective control strategy for parallel hybrid electric vehicle. *IET Electr. Syst. Transp*, 2, 39–50.
112. Johanyák, Z.C. (2015). A simple fuzzy logic based power control for a series hybrid electric vehicle. *IEEE Eur. Model. Symp.*, 207–212.
113. Gujarathi, P.K., Shah, V., and Lokhande, M. (2017). Fuzzy logic based energy management strategy for converted parallel plug-in hybrid electric vehicle. *IEEE 8th Control Syst. Grad. Res. Colloquium, ICSGRC 2017 - Proc.*, 185–190.

114. Wang, A., and Yang, W. (2006). Design of energy management strategy in hybrid vehicles by evolutionary fuzzy system part I: Fuzzy logic controller development. 6th World Congr. Intell. Control Autom., 8324–8328.
115. Wang, A., and Yang, W. (2006). Design of energy management strategy in hybrid electric vehicles by evolutionary fuzzy system part II: Tuning fuzzy controller by genetic algorithms. 6th World Congr. Intell. Control Autom., 8329–8333.
116. Dawei, M., Yu, Z., Meilan, Z., and Risha, N. (2017). Intelligent fuzzy energy management research for a uniaxial parallel hybrid electric vehicle. *Comput. Electr. Eng.*, 58, 447–464.
117. Cerruto, E., Consoli, A., Raciti, A., and Testa, A. (1994). Energy flows management in hybrid vehicles by fuzzy logic controller. MELECON '94. Mediterr. Electrotech. Conf., 1314–1317.
118. Cerruto, E., Consoli, A., Raciti, A., and Testa, A. (1994). Fuzzy logic based efficiency improvement of an urban electric vehicle. IECON'94 - 20th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron., 1304–1309.
119. Brahma, A., Glenn, B., Guezennec, Y., Miller, T., Rizzoni, G., and Washington, G. (1999). Modeling, performance analysis and control design of a hybrid sport-utility vehicle. IEEE Int. Conf. Control Appl. (Cat. No.99CH36328), 448–453.
120. Liu, X., Wu, Y., and Duan, J. (2008). Power split control strategy for a series hybrid electric vehicle using fuzzy logic. IEEE Int. Conf. Autom. Logist., 481–486.
121. Zeng, Q., and Huang, J. (2007). The design and simulation of fuzzy logic controller for parallel hybrid electric vehicles. IEEE Int. Conf. Autom. Logist., 908–912.
122. Khoucha, F., Benbouzid, M.E.H., and Kheloui, A. (2010). An optimal fuzzy logic power sharing strategy for parallel hybrid electric vehicles. IEEE Veh. Power Propuls. Conf., 1–5.
123. Cash, S., and Olatunbosun O. (2017). Fuzzy logic field-oriented control of an induction motor and a permanent magnet synchronous motor for hybrid/electric vehicle traction applications. *Int. J. Electr. Hybrid Veh.*, 9, 269–284.
124. Zhang, R., Tao, J., and Zhou, H. (2018). Fuzzy optimal energy management for fuel cell and supercapacitor systems using neural network based driving pattern recognition. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 27(1), 45–57.
125. Syed, F.U., Kuang, M.L., Smith, M., Okubo, S., and Ying, H. (2009). Fuzzy gain-scheduling proportional – integral control for improving engine power and speed behavior in a hybrid electric vehicle. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 58, 69–84.
126. Rohan, A., Asghar, F., and Kim, S.H. (2018). Design of fuzzy logic tuned PID

- controller for electric vehicle based on IPMSM using flux-weakening. *J Electr Eng Technol*, 13, 451–459.
127. Montazeri-Gh, M., and Mahmoodi-k, M. (2015). Development a new power management strategy for power split hybrid electric vehicles. *Transp. Res. Part D Transp. Environ*, 37, 79–96.
 128. da Silva, S.F., Eckert, J.J., Silva, F.L., Silva, L.C.A., and Dedini, F.G. (2021). Multi-objective optimization design and control of plug-in hybrid electric vehicle powertrain for minimization of energy consumption, exhaust emissions and battery degradation. *Energy Convers. Manag*, 234, 113909.
 129. Miranda, M.H.R., Silva, F.L., Lourenço, M.A.M., Eckert, J.J., and Silva, L.C.A. (2022). Electric vehicle powertrain and fuzzy controller optimization using a planar dynamics simulation based on a real-world driving cycle. *Energy*, 238, 121979.
 130. Eckert, J.J., Barbosa, T.P., da Silva, S.F., Silva, F.L., Silva, L.C.A., and Dedini, F.G. (2022). Electric hydraulic hybrid vehicle powertrain design and optimization-based power distribution control to extend driving range and battery life cycle. *Energy Convers. Manag*, 252, 115094.
 131. Eckert, J.J., da Silva, S.F., de M. Lourenço, M.A., Corrêa, F.C., Silva, L.C.A., and Dedini, F.G. (2021). Energy management and gear shifting control for a hybridized vehicle to minimize gas emissions, energy consumption and battery aging. *Energy Convers. Manag*. 240, 114222.
 132. Wang, Y., Wang, L., Li, M., and Chen, Z. (2020). A review of key issues for control and management in battery and ultra-capacitor hybrid energy storage systems. *ETransportation*, 4, 100064.
 133. Hames, Y., Kaya, K., Baltacioglu, E., and Turksoy A. (2018). Analysis of the control strategies for fuel saving in the hydrogen fuel cell vehicles. *Int. J. Hydrogen Energy*, 43, 10810–10821.
 134. Ahmadi, S., and Bathaee, S.M.T. (2015). Multi-objective genetic optimization of the fuel cell hybrid vehicle supervisory system : Fuzzy logic and operating mode control strategies. *Int. J. Hydrogen Energy*, 40, 12512–12521.
 135. Liang, J., Zhang, J., Zhang, X., Yuan, S., and Yin, C. (2013). Energy management strategy for a parallel hybrid electric vehicle equipped with a battery / ultra-capacitor hybrid energy storage system. *J. Zhejiang Univ. Sci*, 14, 535–553.
 136. Liu, X., Min, H., Sun, H., and Xu, L. (2015). A novel fuzzy-logic based control strategy for a semi-active battery / super-capacitor hybrid energy storage system in vehicular applications. *J. Intell. Fuzzy Syst*. 29, 2575–2584.
 137. Yin, H., Zhou, W., Li, M., Ma, C., and Zhao, C. (2016). An adaptive fuzzy logic-

- based energy management strategy on battery / ultracapacitor hybrid electric vehicles. *IEEE Trans. Transp. Electrification*, 2, 300–311.
138. Zhang, Q., and Li G. (2020). Experimental study on a semi-active battery-supercapacitor hybrid energy storage system for electric vehicle application. *IEEE Trans. Power Electron*, 35, 1014–1021.
 139. Van Jaarsveld, M.J., and Gouws, R. (2020). An active hybrid energy storage system utilising a fuzzy logic rule-based control strategy. *World Electr. Veh. J*, 11.
 140. Hu, J., Jiang, X., Jia, M., and Zheng, Y. (2018). Energy management strategy for the hybrid energy storage system of pure electric vehicle considering traffic information, *Appl. Sci*, 8.
 141. Ma, Y., Duan, P., Sun, Y., and Chen, H. (2018). Equalization of lithium-ion battery pack based on fuzzy logic control in electric vehicle. *IEEE Trans. Ind. Electron*, 65, 6762–6771.
 142. Li, M., Xu, H., Li, W., Liu, Y., Li, F., Hu, Y., and Liu, L. (2016). The structure and control method of hybrid power source for electric vehicle. *Energy*, 112, 1273–1285.
 143. Hu, J., Liu, D., Du, C., Yan, F., and Lv, C. (2020). Intelligent energy management strategy of hybrid energy storage system for electric vehicle based on driving pattern recognition. *Energy*, 198, 117298.
 144. Jin, F., Wang, M., and Hu, C. (2016). A fuzzy logic based power management strategy for hybrid energy storage system in hybrid electric vehicles considering battery degradation. *IEEE Transp. Electrification Conf. Expo*, 1–7.
 145. Eckert, J. J., Silva, L. C. A., Santiciolli, F. M., Costa, E. S., Corrêa, F.C., and Dedini, F. G. (2018). Energy storage and control optimization for an electric vehicle. *Int. J. Energy Res*, 42, 3506–3523.
 146. Yu, H., Castelli-Dezza, F., Cheli, F., Tang, X., Hu, X., and Lin, X. (2021). Dimensioning and power management of hybrid energy storage systems for electric vehicles with multiple optimization criteria. *IEEE Trans. Power Electron*, 36, 5545–5556.
 147. Eckert, J.J., de Alkmin Silva, L.C., Dedini, F.G., and Corrêa, F.C. (2020). Electric vehicle powertrain and fuzzy control multi-objective optimization, considering dual hybrid energy storage systems. *IEEE Trans. Veh. Technol*, 69, 3773–3782.
 148. Kisacikoglu, M.C., Uzunoglu, M., and Alam, M.S. (2009). Load sharing using fuzzy logic control in a fuel cell / ultracapacitor hybrid vehicle. *Int. J. Hydrogen Energy*, 34, 1497–1507.
 149. Gurz, M., Baltacioglu, E., Hames, Y., and Kaya, K. (2017). The meeting of hydrogen

- and automotive: A review. *Int. J. Hydrogen Energy*, 42, 23334–23346.
150. Yu, Z., Zinger, D., and Bose, A. (2011). An innovative optimal power allocation strategy for fuel cell , battery and supercapacitor hybrid electric vehicle. *J. Power Sources*, 196, 2351–2359.
 151. Kim, M., and Peng, H. (2007). Power management and design optimization of fuel cell / battery hybrid vehicles. *J. Power Sources*, 165, 819–832.
 152. Kim, M., Sohn, Y., Lee, W., and Kim, C. (2008). Fuzzy control based engine sizing optimization for a fuel cell / battery hybrid mini-bus. *J. Power Sources*, 178, 706–710.
 153. Ahn, H.-S., and Lee, N.-S. (2005). Power distribution control law for FCHEV a fuzzy logic-based approach. *Int. Conf. Control Autom.*, 486–490.
 154. Shen, Y., Cui, P., Wang, X., Han, X., and Wang, Y. (2020). Variable structure battery-based fuel cell hybrid power system and its incremental fuzzy logic energy management strategy. *Int. J. Hydrogen Energy*, 45(21), 12130-12142.
 155. Zhang, X., Liu, L., Dai, Y., and Lu, T. (2018). Experimental investigation on the online fuzzy energy management of hybrid fuel cell / battery power system for UAVs. *Int. J. Hydrogen Energy*, 1–10.
 156. Li, C., and Liu, G. (2009). Optimal fuzzy power control and management of fuel cell / battery hybrid vehicles. *J. Power Sources*, 192, 525–533.
 157. Li, T., Liu, H., Wang, H., and Yao, Y. (2020). Multiobjective optimal predictive energy management for fuel cell / battery hybrid construction vehicles. *IEEE Access*, 8, 25927–25937.
 158. Essoufi, M., Hajji, B., and Rabhi, A. (2020). Fuzzy logic based energy management strategy for fuel cell hybrid electric vehicle. *Int. Conf. Electr. Inf. Technol.*, 1–7.
 159. Chen, J., Xu, C., Wu, C., and Xu, W. (2018). Adaptive fuzzy logic control of fuel-cell-battery hybrid systems for electric vehicles. *IEEE Trans. Ind. Informatics*, 14, 292–300.
 160. Vural, B., Boynuegri, A.R., Nakir, I., Erdinc, O., Balikci, A., Uzunoglu, M., Gorgun, H., and Dusmez, S. (2010). Fuel cell and ultra-capacitor hybridization : A prototype test bench based analysis of different energy management strategies for vehicular applications. *Int. J. Hydrogen Energy*, 35, 11161–11171.
 161. Kisacikoglu, M.C., Uzunoglu, M., and Alam, M.S. (2007). Fuzzy logic control of a fuel cell / ultra-capacitor hybrid vehicular power system. *IEEE Veh. Power Propuls. Conf.*, 591–596.

162. Lin, W., and Zheng, C. (2011). Energy management of a fuel cell / ultracapacitor hybrid power system using an adaptive optimal-control method, *J. Power Sources*, 196, 3280–3289.
163. Ferreira, A.A., Pomilio, J.A., Spiazzi, G., and de A. Silva, L. (2008). Energy management fuzzy logic supervisory for electric vehicle power supplies system. *IEEE Trans. Power Electron.*, 107–115.
164. Erdinc, O., Vural, B., and Uzunoglu, M. (2009). A wavelet-fuzzy logic based energy management strategy for a fuel cell / battery / ultra-capacitor hybrid vehicular power system. *J. Power Sources*, 194, 369–380.
165. Hemi, H., Ghouili, J., and Cheriti, A. (2014). A real time fuzzy logic power management strategy for a fuel cell vehicle. *Energy Convers. Manag.*, 80, 63–70.
166. Rahman, A.U., Zehra, S.S., Ahmad, I., and Armghan, H. (2021). Fuzzy supertwisting sliding mode-based energy management and control of hybrid energy storage system in electric vehicle considering fuel economy. *J. Energy Storage*, 37, 102468.
167. Zand, M., Nasab, M.A., Hatami, A., Kargar, M., and Chamorro, H.R. (2020). Using adaptive fuzzy logic for intelligent energy management in hybrid vehicles. 28th Iran. Conf. Electr. Eng., 1–7.
168. Jamadar, N.M., and Jadhav, D.H.T. (2021). A review on braking control and optimization techniques for electric vehicle. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.*, 235, 2371–2382.
169. Chandak G.A., and Bhole, A.A. (2017). A review on regenerative braking in electric vehicle. *Innov. Power Adv. Comput. Technol.*, 1–5.
170. Gökçe, C., ve Üstün Ö. (2015). Elektrikli araçlarda tam elektrikli frenleme için bulanık mantık tabanlı yeni bir yöntemin geliştirilmesi ve uygulaması, *SAÜ Fen Bilim. Enstitüsü Derg.* 19.
171. Kommula, B.N., and Kota, V.R. (2016). Performance evaluation of Hybrid Fuzzy PI speed controller for Brushless DC motor for Electric vehicle application. Conf. Power, Control. Commun. Comput. Technol. Sustain. Growth, PCCCTSG 2015, IEEE, 266–270.
172. Xiao, B., Lu, H., Wang, H., Ruan, J., and Zhang, N. (2017). Enhanced regenerative braking strategies for electric vehicles : Dynamic performance and potential analysis. *Energies*, 10(11), 1875.
173. Xu, G., Li, W., Xu, K., and Song, Z. (2011). An intelligent regenerative braking strategy for electric vehicles. *Energies*, 4, 1461–1477.
174. Maia, R., Silva, M., Araújo, R., and Nunes, U. (2015). Electrical vehicle modeling :

- A fuzzy logic model for regenerative braking. *Expert Syst. App.*, 42, 8504–8519.
175. Chougale, R.G., and Lakade, C.R. (2017). Regenerative braking system of electric vehicle driven by brushless DC motor using fuzzy logic. *IEEE Int. Conf. Power, Control. Signals Instrum. Eng.*, 2167–2171.
 176. Vodovozov, V., Raud, Z., and Petlenkov, E. (2021). Review on braking energy management in electric vehicles. *Energies*, 14(15), 4477.
 177. Sunddararaj, S.P., Rangarajan, S.S., and Gopalan, S. (2019). Neoteric fuzzy control stratagem and design of chopper fed multilevel inverter for enhanced voltage output involving plug-in electric vehicle (PEV) applications. *Electronics*, 8(10), 1092.
 178. Akhila, M., and Ratnan, P. (2016). Brushless DC motor drive with regenerative braking using adaptive neuro based fuzzy inference system. *Int. Conf. Electr. Electron. Optim. Tech.*, IEEE, 748–751.
 179. Khatun, P., Bingham, C.M., Schofield, N., and Mellor, P.H. (2003). Application of fuzzy control algorithms for electric vehicle antilock braking / traction control systems. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 1356–1364.
 180. Wang, Y., Lian, Q., Han, M., and Tang, Y. (2016). Adaptive fuzzy fractional-order sliding mode controller design for antilock braking systems. *J. Dyn. Syst. Meas. Control*, 138(4), 041008
 181. Jalali, K., Uchida, T., Mcphee, and J., Lambert, S. (2018). Development of a fuzzy slip control system for electric vehicles with in-wheel motors. *SAE Int. J. Altern. Powertrains*, 1, 46–64.
 182. Aksjonov, A., Vodovozov, and V., Petlenkov, E. (2016). Design and experimentation of fuzzy logic control for an anti-lock braking system. 15th Bienn. Balt. Electron. Conf., 207–210.
 183. Jin, L., Xie, X., Shen, C., and Wang, F. (2017). Study on electronic stability program control strategy based on the fuzzy logical and genetic optimization method. *Adv. Mech. Eng*, 9, 1–13.
 184. Boada, M.J.L., Boada, B., Munoz, A., and Diaz, V. (2015). Integrated control of front-wheel steering and front braking forces on the basis of fuzzy logic. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng*, 220, 253–267.
 185. Jianhua, G., Liang, C., Feikun, Z., and Liang, Y. (2011). Coordinated control of AFS and ESP based on fuzzy logic method. *Int. Conf. Mechatron. Sci. Electr. Eng. Comput.*, 2357–2360.
 186. Silva, F.L., Silva, L.C.A., Eckert, J.J., and Lourenço, M.A.M. (2022). Robust fuzzy stability control optimization by multi-objective for modular vehicle. *Mech. Mach.*

- Theory*, 167, 104554.
187. Geng, C., Mostefai, L., Denai, M., and Hori, Y. (2009). Direct yaw-moment control of an in-wheel-motored electric vehicle based on body slip angle fuzzy observer. *IEEE Trans. Ind. Electron*, 56, 1411–1419.
 188. Yagiz, N., Sakman, L.E., and Guclu, R. (2008). Different control applications on a vehicle using fuzzy logic. *Sadhana*, 33, 15–25.
 189. Jafari, M., Gauchia, A., Zhao, S., Zhang, K., and Gauchia, L. (2018). Electric vehicle battery cycle aging evaluation in real-world daily driving and vehicle-to-grid services. *IEEE Trans. Transp. Electrif*, 4, 122–134.
 190. Jafari, M., Gauchia, A., Zhang, K., and Gauchia, L. (2015). Simulation and analysis of the effect of real-world driving styles in an EV battery performance and aging. *IEEE Trans. Transp. Electrif*, 1, 391–401.
 191. Chu, A., Allam, A., Cordoba Arenas, A., Rizzoni, G., and Onori, S. (2020). Stochastic capacity loss and remaining useful life models for lithium-ion batteries in plug-in hybrid electric vehicles. *J. Power Sources*, 478, 228991.
 192. Lee, H.-D., Koo, E.-S., Sul, S.-K., and Kim, J.-S. (2000). Torque control strategy for a parallel-hybrid vehicle using fuzzy logic. *IEEE Ind. Appl. Mag.*, 33–38.
 193. Wang, R., and Lukic, S.M. (2011). Review of driving conditions prediction and driving style recognition based control algorithms for hybrid electric vehicles. *IEEE Veh. Power Propuls. Conf.*, IEEE, 1–7.
 194. Farrall, S.D., and Jones R.P. (1993). Energy management in an automotive electric / heat engine hybrid powertrain using fuzzy decision making. 8th IEEE Int. Symp. *Intell. Control*, 463–468.
 195. Ghaemi, S., Khanmohammadi, S., and Tinati, M. (2010). Driver's behavior modeling using fuzzy logic. *Math. Probl. Eng*, 172878.
 196. Syed, F.U., Filev, D., and Ying, H. (2008). Real time advisory system for fuel economy improvement in a hybrid electric vehicle. *NAFIPS 2008 - 2008 Annu. Meet. North Am. Fuzzy Inf. Process. Soc*, 1–6.
 197. Syed, F.U., Filev, D., Tseng, F., and Ying H. (2009). Adaptive real-time advisory system for fuel economy improvement in a hybrid electric vehicle. *NAFIPS 2009 - 2009 Annu. Meet. North Am. Fuzzy Inf. Process. Soc.*, 1–7.
 198. Michalczuk, M., Ufnalski, B., and Grzesiak, L.M. (2015). Fuzzy logic based power management strategy using topographic data for an electric vehicle with a battery-ultracapacitor energy storage. *COMPEL Int. J. Comput. Math. Electr. Electron. Eng*, 34, 173–188.

199. Varga, B.O., Sagoian, A., and Mariasiu, F. (2019). Prediction of electric vehicle range: A Comprehensive Review of Current Issues and Challenges. *Energies*, 12, 946.
200. Langari, R., and Won, J.-S. (2003). Integrated drive cycle analysis for fuzzy logic based energy management in hybrid vehicles. 12th IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst., 290–295.
201. Shi, B., Xu, L., Jiang, H., and Meng, W. (2017). Comparing fuel consumption based on normalised driving behaviour: a case study on major cities in China, *IET Intelligent Transport Systems*, 11, 189–195.
202. Bousonville, T., Cheubou Kanga, D., Krüger, T., and Dirichs, M. (2022). Data driven analysis and forecasting of medium and heavy truck fuel consumption. *Enterp. Inf. Syst*, 16, 1856417.
203. Rolim, C., and Farias, T. (2017). Real-time feedback impacts on eco-driving behavior and influential variables in fuel consumption in a Lisbon urban bus operator, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18 (11), 3061-3071.
204. Dörr, D., Grabengieser, D., and Gauterin, F. (2014). Online driving style recognition using fuzzy logic. 17th IEEE Int. Conf. Intell. Transp. Syst. ITSC 2014, 1021–1026.
205. Sim, G., Ahn, S., Park, I., Youn, J., Yoo, S., and Min, K. (2019). Automatic longitudinal regenerative control of EVs based on a driver characteristics-oriented deceleration model. *World Electr. Veh. J*, 10 (4), 58
206. Agostino, C. D, Saidi, A., Scouarnec, G., and Chen, L. (2015). Learning-based driving events recognition and its application to digital roads. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst*, 16, 2155–2166.
207. Rolim, C., Baptista, P., Duarte, G., Farias, T., and Pereira, J. (2017). Real-time feedback impacts on eco-driving behavior and influential variables in fuel consumption in a Lisbon urban bus operator. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst*, 18, 3061–3071.
208. Miotti, M., Needell, Z.A., Ramakrishnan, S., Heywood, J., and Trancik, J.E. (2021). Quantifying the impact of driving style changes on light-duty vehicle fuel consumption. *Transp. Res. Part D Transp. Environ*, 98, 102918.
209. Wu, B., Chen, Y., Yeh, C., and Li, Y. (2013). Reasoning-based framework for driving safety monitoring using driving event recognition. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14 (3), 1231-1241.
210. Hallac, D., Sharang, A., Stahlmann, R., Lamprecht, A., Huber, M., Roehder, M., Sosič, R., and Leskovec, J. (2016). Driver identification using automobile sensor data from a single turn. *IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings*, 953–958.

211. Vangi, D., and Virga, A. (2003). Evaluation of energy-saving driving styles for bus drivers. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.*, 217, 299–305.
212. Li, G., Li, S.E., Cheng, B., and Green, P. (2017). Estimation of driving style in naturalistic highway traffic using maneuver transition probabilities. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 74, 113–125.
213. Chen, Z., Yu, J., Zhu, Y., Chen, Y., and Li, M. (2015). D3: Abnormal driving behaviors detection and identification using smartphone sensors. 12th Annu. IEEE Int. Conf. Sensing, Commun. Networking, SECON, 524–532.
214. Shahverdy, M., Fathy, M., Berangi, R., and Sabokrou, M. (2020). Driver behavior detection and classification using deep convolutional neural networks. *Expert Syst. Appl.*, 149, 113240.
215. Cyganek, B., and Gruszczyński, S. (2014). Hybrid computer vision system for drivers' eye recognition and fatigue monitoring. *Neurocomputing*, 126, 78–94.
216. Li, G., Wang, Y., Zhu, F., Sui, X., Wang, N., Qu, X., and Green, P. (2019). Drivers' visual scanning behavior at signalized and unsignalized intersections: A naturalistic driving study in China. *J. Safety Res.* 71, 219–229.
217. Manzoni, V., Corti, A., De Luca, P., and Savaresi, S.M. (2010). Driving style estimation via inertial measurements. IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC, 777–782.
218. Eboli, L., Mazzulla, G., and Pungillo, G. (2016). Combining speed and acceleration to define car users' safe or unsafe driving behaviour. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 68, 113–125.
219. Ma, Y., Tang, K., Chen, S., Khattak, A.J., and Pan, Y. (2020). On-line aggressive driving identification based on in-vehicle kinematic parameters under naturalistic driving conditions. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 114, 554–571.
220. Johnson, D.A., and Trivedi, M.M. (2011). Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform. IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC, 1609–1615.
221. Quintero, C.G.M, López, J.O., and Cuervo Pinilla, A.C. (2012). Driver behavior classification model based on an intelligent driving diagnosis system. IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC, 894–899.
222. Castignani, G., Derrmann, T., Frank, R., and Engel, T. (2015). Driver behavior profiling using smartphones: A low-cost platform for driver monitoring. *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, 7, 91–102.
223. Castignani, G., Frank, R., and Engel, T. (2013). An evaluation study of driver

- profiling fuzzy algorithms using smartphones. 21st IEEE Int. Conf. Netw. Protoc., 1–6.
224. Van Ly, M., Martin, S., and Trivedi, M.M. (2013). Driver classification and driving style recognition using inertial sensors. *IEEE Intell. Veh. Symp.*, 1040–1045.
 225. Zhang, C., Patel, M., Buthpitiya, S., Lyons, K., Harrison, B., and Abowd, G.D. (2016). Driver classification based on driving behaviors. 21st Int. Conf. Intell. User Interfaces, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 80–84.
 226. Vaitkus, V., Lengvenis, P., and Žylius, G. (2014). Driving style classification using long-term accelerometer information. 19th Int. Conf. Methods Model. Autom. Robot. MMAR, 641–644.
 227. Kedar-Dongarkar, G., and Das, M. (2012). Driver classification for optimization of energy usage in a vehicle. *Procedia Comput. Sci*, 8, 388–393.
 228. Brombacher, P., Masino, J., Frey, M., and Gauterin, F. (2017). Driving event detection and driving style classification using artificial neural networks. *IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, 997–1002.
 229. Saleh, K., Hossny, M., and Nahavandi, S. (2017). Driving behavior classification based on sensor data fusion using LSTM recurrent neural networks. *IEEE 20th Int. Conf. Intell. Transp. Syst.*, 1–6.
 230. Wang, W., Xi, J., Chong, A., and Li, L. (2017). Driving style classification using a semisupervised support vector machine. *IEEE Trans. Human-Machine Syst*, 47, 650–660.
 231. Sun, R., Chen, Y., Dubey, A., and Pugliese, P. (2021). Hybrid electric buses fuel consumption prediction based on real-world driving data. *Transp. Res. Part D Transp. Environ*, 91, 102637.
 232. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., and Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine learning in {P}ython, *J. Mach. Learn. Res*, 12, 2825–2830.
 233. Mitchell, T.M., and Mitchell, T.M. (1997). *Machine learning (Vol. 1)*. ABD New York: McGraw-hill.
 234. Sinclair, C., Pierce, L., and Matzner, S. (1999). An application of machine learning to network intrusion detection. 15th Annu. Comput. Secur. Appl. Conf., 371–377.
 235. Sahami, M., Dumais, S., Heckerman, D., and Horvitz, E. (1998). A Bayesian approach to filtering junk e-mail. *AAAI'98 Workshop on Learning for Text Categorization*, 98–105.

236. Kim, E., Kim, W., and Lee, Y. (2003). Combination of multiple classifiers for the customer's purchase behavior prediction. *Decis. Support Syst*, 34, 167–175.
237. Beşkardeş, A., and Hameş Y. (2023). Data-driven-based fuzzy control system design for a hybrid electric vehicle. *Electr. Eng*, 105, 1971-1991
238. Kumar, V., Sairam, S.D.S.S., Kumar, S., Singh, A., Nayak, D., Sah, R., and Mahapatra, P.C. (2017). Prediction of iron ore sinter properties using statistical technique. *Trans. Indian Inst. Met*, 70, 1661–1670.
239. Dogan, D., and Bogosyan, S. (2019). Performance analysis of SVM, ANN and KNN methods for acoustic road-type classification. *IEEE Int. Symp. Innov. Intell. Syst. Appl.*, 1–6.
240. Vapnik, V.N. (2000). *The nature of statistical learning theory* (2nd Edition). Berlin: Springer.
241. Morgan, J.N., and Sonquist, J.A. (1963). Problems in the analysis of survey data, and a proposal. *J. Am. Stat. Assoc*, 58, 415–434.
242. Magerman, D.M. (1995). Statistical decision-tree models for parsing. 33rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 276-283.
243. Quinlan, J.R. (1986). Induction of decision trees. *Mach. Learn*, 1, 81–106.
244. McCulloch, W.S., and Pitts, W. (1943) A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull. Math. Biophys*, 5, 115–133.
245. Tunçkaya, Y., and Köklükaya, E. (2016). Comparative performance evaluation of blast furnace flame temperature prediction using artificial intelligence and statistical methods. *Turkish J. Electrical Engineering Comput. Sciences*, 24, 1163–1175.
246. Gajic, D., Savic-Gajic, I., Savic, I., Georgieva, O., and Di Gennaro, S. (2016). Modelling of electrical energy consumption in an electric arc furnace using artificial neural networks. *Energy*, 108, 132–139.
247. Ojha, V.K., Abraham, A., and Snáşel, V. (2017). Metaheuristic design of feedforward neural networks: A review of two decades of research. *Eng. Appl. Artif. Intell*, 60, 97–116.
248. Bhattacharjee, P., and Dey, V. (2020). U.K. Mandal, Risk assessment by failure mode and effects analysis (FMEA) using an interval number based logistic regression model. *Saf. Sci*, 132, 104967.
249. Zhang, H. (2004) The optimality of Naive Bayes. Proceedings of the Seventeenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference.

250. Fazeli, A.M., Nabi, A., Rajaei Salmasi, F., and Amiri, M. (2006). Development of energy management system for a parallel hybrid electric vehicle using fuzzy logic. *ASME 8th Bienn. Conf. Eng. Syst. Des. Anal*, 151–156.
251. Zaher, M., and Cetinkunt, S. (2013). Real-time energy management control for hybrid electric powertrains. *J. Control Sci. Eng*, 801237.
252. Markel, T., Brooker, A., Hendricks, T., Johnson, V., Kelly, K., Kramer, B., O’Keefe, M., Sprik, S., and Wipke, K. (2002). ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling. *J. Power Sources*, 110, 255–266.
253. Zhang, H., Qin, Y., Li, X., Liu, X., and Yan, J. (2020). Power management optimization in plug-in hybrid electric vehicles subject to uncertain driving cycles. *ETransportation*, 3, 100029.
254. Ahmadi, S., Bathaee, S.M.T., and Hosseinpour, A.H. (2018). Improving fuel economy and performance of a fuel-cell hybrid electric vehicle (fuel-cell, battery, and ultra-capacitor) using optimized energy management strategy. *Energy Convers. Manag*, 160, 74–84.
255. Zhou, Y., Ravey, A., and Péra, M.-C. (2021). Real-time cost-minimization power-allocating strategy via model predictive control for fuel cell hybrid electric vehicles. *Energy Convers. Manag*, 229, 113721.
256. Hu, X., Zhang, X., Tang, X., and Lin, X. (2020). Model predictive control of hybrid electric vehicles for fuel economy, emission reductions, and inter-vehicle safety in car-following scenarios. *Energy*, 196, 117101.

DİZİN

- ABS, xiii, 48, 50
- ADVISOR, xiii, 20, 30, 58,
94, 100, 101, 103, 105,
106, 108
- ANFIS, xiii, 21, 24, 48
- BAT, xiii, 8, 9, 33, 34, 35, 36,
37, 38, 40, 42, 43, 44, 45,
46, 54
- Batarya, xiii, 19, 23, 24, 25,
26, 29, 30, 31, 32, 33, 36,
38, 40, 42, 43, 44, 47, 48,
55, 101, 102
- BMD, xiii, 7, 8, 9, 10, 14, 15,
16, 17, 18, 20, 21, 22, 23,
24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
31, 32, 34, 35, 36, 37, 38,
39, 40, 41, 42, 43, 44, 45,
46, 47, 48, 49, 50, 51, 52,
53, 54, 55, 88, 90, 92, 94,
103, 104, 105, 106, 107
- Bulanık mantık, 4, 6, 7, 8, 10,
20, 30, 33, 51, 87, 92
- Bulanık Mantık Denetleyici,
xiii, 6
- Destek vektör sınıflandırıcı,
78, 95
- DVM, xiii, 78, 79, 95
- EA, xiii, 4, 7, 17, 30, 31, 32,
33, 34, 35, 39, 49
- Elektrik Motoru, xiii
- Elektrikli araç, 17, 48
- EYS, xiii, 1, 34, 40, 41, 58,
104, 108
- Genetik Algoritma, xiii
- HEA, xiii, 1, 5, 17, 20, 21, 23,
24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
31, 34, 35, 36, 37, 42, 43,
44, 45, 49, 53, 54, 55, 88,
101, 108
- Karar ağacı sınıflandırıcı, 80,
96
- k-NN sınıflandırıcı, 77, 94, 95
- Lojistik regresyon
sınıflandırıcı, 83, 97
- Naive Bayes sınıflandırıcı, 85,
98
- Optimizasyon, 3, 5, 8, 10
- PID, xiv, 8, 27, 28, 30, 46, 47
- SOC, xiv, 1, 8, 9, 18, 21, 22,
23, 24, 25, 26, 27, 28, 29,
30, 31, 34, 35, 36, 37, 38,
40, 42, 43, 44, 45, 47, 48,
53, 55, 88, 90, 91, 103,
104, 105, 106
- sürüş çevrimi, 5, 28, 30, 41,
44, 54, 58, 101, 102, 103
- Sürüş çevrimleri, 59
- sürüş tarzı, 51, 55, 58, 90, 108
- Ultra-kapasitör, xiv
- Veri madenciliği, 61
- Yapay sinir ağı sınıflandırıcı,
81
- YHEA, xiv, 17, 37, 41, 42
- YHHEA, xiv, 33, 38
- YSA, xiv, 21, 81



EKLER

Evrak Tarih ve Sayısı: 30/04/2021-12512



ISKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

Sayı : 29122032-100-125

Konu : Anket Çalışması Hk.

T.C.
ISKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Hukuk Müşavirliği

26/04/2021

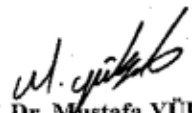
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İlgi : 29/03/2021 tarih ve E.9198 sayılı yazınız.

İlgi yazı ile, Enstitünüz öğretim elemanlarından Prof. Dr. Yakup HAMEŞ tarafından sunulan anket formu için Etik Kurul onayı istenmektedir.


Söz konusu yazı ekinde yer alan dilekçe, Üniversitemiz Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulunun 30.01.2021 tarih ve 03 Toplantı No.lu toplantısında değerlendirilmiş olup, karar örneği yazı ekinde gönderilmektedir.

Bilgilerinize rica ederim.


Prof. Dr. Mustafa YÜKSEK
Rektör Yardımcısı

EK: Karar Örneği (1 sayfa)

Evrak Tarih ve Sayısı: 30/04/2021-12512

 İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	T.C. İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ KURULU KARARLARI
---	---

TOPLANTI TARİHİ	TOPLANTI NO
30.03.2021	03

Üniversitemiz Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu, Başkan Prof. Dr. Münevver Ayçe GENÇ'in izinli olması nedeniyle, 30.03.2021 tarihinde Başkan Yardımcısı Prof. Dr. Deniz ERGÜDEN'in başkanlığında toplanarak aşağıdaki kararları almıştır.

GÜNDEM-24: Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğünün 29/03/2021 tarih ve E.9198 sayılı yazısının ekinde yer alan Prof. Dr. Yakup HAMEŞ'in dilekçesinin görüşülmesi.

KARAR-24 : Danışmanlığım Prof. Dr. Yakup HAMEŞ'in yürüttüğü Yüksek Lisans öğrencisi Ahmet BEŞKARDEŞ'in "Elektrikli Araçların İçin Sürtüş Karakteristiği Tabanlı Yeni Bir Kontrol Sistemi Tasarımı" başlıklı doktora tezi çalışmasında kullanılmak üzere hazırlanan anket formu, İskenderun Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi kapsamında değerlendirilmiş; söz konusu anketin geldiği haliyle uygulanmasının kabulüne;

Katılanların oy birliği ile karar verilmiştir.

(İmza) Prof. Dr. Deniz ERGÜDEN Başkan V.		
(İmza) Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM Üye	(İmza) Prof. Dr. M. Eyyuphan YAKINCI Üye	(İmza) Prof. Dr. Soner ESMER Üye
(İmza) Prof. Dr. Semir ÖVER Üye		(İmza) Prof. Dr. Nazif ÇALIŞ Raportör

ASLI GİBİDİR
B. Dağdelen
Av. Burak DAĞDELEN



TEKNOVERSİTE



teknoversite AYRICALIĞINDASINIZ

İSTE

