

**ELEKTRİKLİ BİR ARACIN BATARYA SİSTEMİNİN
ELEKTRİKSEL MODELLENMESİ**

MOHAMMED ABDULMALEK ABDULRAHMAN MOHAMMED

AĞUSTOS 2024

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ BİR ARACIN BATARYA SİSTEMİNİN
ELEKTRİKSEL MODELLENMESİ**

MOHAMMED ABDULMALEK ABDULRAHMAN MOHAMMED

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

AĞUSTOS 2024

DİYARBAKIR

ELEKTRİKLI BİR ARACIN BATARYA SİSTEMİNİN ELEKTRİKSEL MODELLENMESİ

Mohammed Abdulmalek Adulrahman MOHAMMED tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Hasan BAYINDIR
Danışman, **Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Hasan BAYINDIR (**)
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü,
Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM (*)
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Batman Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ASKER
Elektrik ve Enerji Bölümü, Dicle Üniversitesi



Savunma Tarihi: 06 / 08 /2024

(*) Jüri Başkanı.

(**) Tez Danışmanı.

Annem Mounira, babam Abdulmalek, kardeşlerime...

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Mohammed Abdulmalek Abdulrahman MOHAMMED

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Prof. Dr. Hasan BAYINDIR'a çalışmanın daha fikir aşamasından, örnekleme, deney setlerini oluşturma, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim. Jüri üyelerime de bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tez Konusunun Önemi	6
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Tezin Yapısı	7
2. KAYNAK ÖZETLERİ	9
3. MATERYAL VE METOT	14
3.1 Elektrikli Araç Çeşitleri	14
3.1.1 Hibrit bir elektrikli araç (HEV).....	14
3.1.1.1 Seri hibrit elektrikli araçlar	15
3.1.1.2 Paralel hibrit elektrikli araçlar.....	15
3.1.1.3 Hibrit seri-paralel elektrikli araçlar	16
3.1.2 Elektrikli araçlar.....	17
3.1.2.1 Bataryalı elektrikli araçlar.....	18
3.2 Elektrikli Araçlarda Batarya Çeşitleri	20
3.2.1 Kurşun-asit batarya	21
3.2.2 Nikel kadmiyum batarya	21
3.2.3 Nikel metal hidrit batarya.....	22
3.2.4 Lityum iyon polimer batarya.....	23
3.2.5 Lityum sülfür batarya.....	24

3.2.6	Lityum demir fosfat batarya.....	25
3.2.7	Lityum iyon batarya	25
3.3	Elektrikli Araç Bataryalarının Modellenmesi	27
3.4	Batarya Modelleri.....	28
3.4.1	Elektrokimyasal modeller	28
3.4.2	Eşdeğer devre modeli	29
3.4.2.1	0 RC Devre modeli.....	30
3.4.2.2	1 RC Devre modeli.....	31
3.4.2.3	2 RC Devre modeli.....	32
3.4.3	Sinir ağı modelleri.....	32
3.4.4	Termal model	33
3.5	Lityum İyon Bataryaların Termal Modellemesi	34
3.5.1	Toplu parametre modeli	35
3.5.2	Eşdeğer devre modeli parametreleri.....	36
3.5.3	Hücre kapasitesinin ve şarj durumunun etkileyen faktörleri.....	37
3.5.4	Şarj durumunun çalışma zamanı tespiti	38
3.5.5	Eşdeğer devre modeli termal model ile birlikte (Termoelektrik Model)	39
3.5.5.1	Modelleme ve simülasyon.....	42
3.6	İkinci Dereceden Transfer Fonksiyonu Kullanarak Elektrikli Araç Bataryalarının Modellenmesi	44
3.6.1	Transfer fonksiyonu modeli	45
3.6.2	Matlab'ın sistem tanımlama aracı aracılığıyla bataryaları modelleme	45
3.6.3	Önerilen yöntem (Transfer Fonksiyonunun Kullanımı)	46
3.6.3.1	Performans Karşılaştırması	47
3.6.3.2	Transfer fonksiyonunu tanımlama	48
3.7	Elektrikli Araç Bataryalarını Modellemek İçin Sinir Ağlarını Kullanma..	53

3.7.1	İleri sinir ağıları.....	54
3.7.1.1	İleri beslemeli sinir ağıları.....	55
3.7.1.2	Ağ mühendisliği.....	58
3.7.1.3	İleri beslemeli sinir ağlarının çalışması.....	58
3.7.1.4	Eğitim prosedürü.....	59
3.7.1.5	Ağ başlatma.....	59
3.7.1.6	Kayıp fonksiyonu (Hata Fonksiyonu).....	59
3.7.1.7	Geri yayılım (Backpropagation)	60
3.7.1.8	Erken durdurma.....	60
3.7.1.9	İleri beslemeli sinir ağlarının eğitimi	61
3.7.2	MATLAB'da sinir ağlarını kullanarak şarj durumunu tahmin etmek için önerilen yöntem.....	61
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI	65
4.1	MATLAB Kullanarak Lityum Batarya İçin Termoelektrik Model Oluşturma	65
4.2	Transfer Fonksiyonunu Kullanan Önerilen Batarya Modelinin Bulguları	69
4.3	Sinir Ağını Kullanarak Şarj Durumu Tahmin Bulguları.....	72
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	76
5.1	Sonuçlar.....	76
5.2	Öneriler	77
	KAYNAKLAR	78
	ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Genel olarak araç türlerinin sınıflandırılması	14
Şekil 3.2 Seri hibrit elektrikli araçlar yapısı [55]	15
Şekil 3.3 Paralel hibrit elektrikli araçlar yapısı [55]	16
Şekil 3.4 Hibrit seri-paralel elektrikli araçlar yapısı [55]	17
Şekil 3.5 Elektrikli aracın yapısı [49]	19
Şekil 3.6 Kurşun asit batarya [55]	21
Şekil 3.7 Kurşun asit batarya	22
Şekil 3.8 Nikel metal hidrat batarya [55]	23
Şekil 3.9 Lityum iyon polimer batarya [55]	24
Şekil 3.10 Lityum sülfür batarya [55]	25
Şekil 3.11 Lityum demir fosfat batarya [35]	25
Şekil 3.12 Lityum iyon batarya [55]	26
Şekil 3.13 Elektrokimyasal model [57]	29
Şekil 3.14 0 RC Devre Modeli	31
Şekil 3.15 1RC devre modeli	31
Şekil 3.16 2RC devre modeli	32
Şekil 3.17 Sinir ağı modelleri	33
Şekil 3.18 Silindirik bir bataryanın basit termal eşdeğer devresi [65]	34
Şekil 3.19 Tipik bir toplu parametrelili termal model	35
Şekil 3.20 Kullanılan model, $n=1$ [52]	36
Şekil 3.21 Elektro-termal modeli	40
Şekil 3.22 Simscape™ Eşdeğer Devre Modeli	41
Şekil 3.23 Simscape™ Termal modeli	42
Şekil 3.24 Simscape™ termal eşdeğer devre modeli	42
Şekil 3.25 Parametre tahmin prosedürünün akış şeması	44
Şekil 3.26 Matlab sistem tanımlama aracının kullanıcı arayüzü	46
Şekil 3.27 Adım tepkileri ve performans göstergeleri	48
Şekil 3.28 Batarya akımı birimi darbe ve deşarj	49
Şekil 3.29 Batarya gerilimi	49
Şekil 3.30 MATLAB'deki model tanımlama aracı(ilk adım)	50
Şekil 3.31 MATLAB'deki model tanımlama aracı (ikinci adım)	50
Şekil 3.32 MATLAB'deki model tanımlama aracı (üçüncü adım)	51

Şekil 3.33 Termal eşdeğer devre modeli voltajı ve bu çalışma için önerilen voltaj .	52
Şekil 3.34 Termal eşdeğer devre modeli şarj durumu ve bu çalışma için önerilen şarj	
.....	52
Şekil 3.35 Tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağı.....	56
Şekil 3.36 Çok katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağı.....	56
Şekil 3.37 İleri beslemeli sinir ağı.....	57
Şekil 3.38 Sinir ağını kullanarak 2000 saniye ve 30, 300 ve 500 nöronluk bir süre	
boyunca şarj ve deşarj durumunun belirlenmesi.....	62
Şekil 3.39 Sinir ağını kullanarak 4000 saniye ve 30, 300 ve 500 nöronluk bir süre	
boyunca şarj ve deşarj durumunun belirlenmesi.....	62
Şekil 3.40 Sinir ağını kullanarak 8000 saniye ve 30, 300 ve 500 nöronluk bir süre	
boyunca şarj ve deşarj durumunun belirlenmesi.....	63
Şekil 4.1 Bataryanın zamanı bağılı olarak şarj ve deşarj durumundaki sıcaklık(°C)	
zamanı(s) ilişkisi	66
Şekil 4.2 Bataryanın zamanı bağılı olarak şarj ve deşarj durumundaki akımı zamanı (s)	
ilişkisi.....	67
Şekil 4.3 Bataryanın zamanı bağılı olarak şarj ve deşarj durumundaki gerilim zamanı	
(s) ilişkisi.....	68
Şekil 4.4 Bataryanın zamanı bağılı olarak şarj ve deşarj durumundaki zamanı(s) ilişkisi	
.....	69
Şekil 4.5 Bir şarj ve iki deşarj darbesi için batarya akımı.....	71
Şekil 4.6 Termal eşdeğer devre modeli voltajı ve bu makalede önerilen voltaj	72
Şekil 4.7 Termal eşdeğer devre modeli şarj durumu ve bu makalede önerilen şarj	
durumu	72
Şekil 4.8 Şarj durumunun 2000 saniyelik bir süre içinde sinir ağı kullanılarak	
belirlenmesi.....	73
Şekil 4.9 Şarj durumunun 4000 saniyelik bir süre içinde sinir ağı kullanılarak	
belirlenmesi.....	74
Şekil 4.10 Şarj durumunun 8000 saniyelik bir süre içinde sinir ağı kullanılarak	
belirlenmesi.....	75

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 EA tarafından kullanılan çeşitli batarya türleri ve özellikleri[55]	20
Tablo 3.2 Batarya Modeli Parametreleri[70].	41
Tablo 3.3 Farklı pay ve payda değerleri için transfer fonksiyonları ve performans değerleri.....	48



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
C_n	Kapasitör n, burada n bir doğal sayıdır
C_Q	Hücre kapasitesi (Ah)
C_T	Isı kapasitesi ($Jm^{-3} K^{-1}$)
E_m	Ana dalın elektromotor kuvveti
E_p	Parazitik dalın elektromotor kuvveti
I_m	Ana daldaki akım (A)
I_n	n dalındaki akım, burada n doğaldır
I_p	Parazitik daldaki akım (A)
T_a	Ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T	İç hücre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
S	Laplace dönüşümü değişkeni
V	Voltaj (V)
P	Bataryada üretilen ısıtma gücüdür
R_n	Direnç n, burada n bir doğal sayıdır (Ω)
R_T	Konveksiyon direnci ($W^{-1} m^{-2} K^{-1}$)
Q_s	Hücreden çıkarılan yük (Ah)

Kısaltma	Açıklama
BMS	Batarya yönetim sistemleri
NiCd	Nikel-kadmiyum batarya
Nas	Sodyum sülfat batarya
Li-iyon	Lityum iyon batarya
LA	Kurşun asit batarya
NiMH	Nikel metal hidrit batarya
ECM	Eşdeğer devre modeli
SOC	Şarj durumu
OCV	Açık devre voltajı
SOH	Batarya sağlığı durumu

İYM	İçten yanmalı motorlu araçlar
EKF	Genişletilmiş Kalman filtresi
EA	Elektrikli Araç
HEV	Hibrit elektrikli araçlar
FNN	İleri beslemeli sinir ağları
BEV	Bataryalı Elektrikli Araçların
LiPo	Lityum iyon polimer batarya
Li-s	Lityum sülfür batarya
PEM	Prediction-error minimisation,
YSA	Yapay sinir ağları



ÖZET

ELEKTRİKLİ BİR ARACIN BATARYA SİSTEMİNİN ELEKTRİKSEL MODELLENMESİ

MOHAMMED, Mohammed Abdulmalek Abdulrahman

Yüksek Lisans, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Hasan BAYINDIR

Ağustos 2024, 101 sayfa

Günümüzde dünya, ulaştırma sektörü de dahil olmak üzere tüm sektörleri etkileyen hızlı bir teknolojik gelişme içerisinde girmiştir. Elektrikli araçlar, emisyonların azaltılmasına ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasına katkıda bulunan umut verici bir teknoloji olarak kabul edilmeye başlamıştır. Ancak bu araçların geliştirilmesi büyük ölçüde içinde kullanılan batarya teknolojisindeki ilerlemelere bağlıdır. Lityum iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, uzun hizmet ömrü, hafiflik, düşük deşarj oranı, uygun maliyet ve hafıza etkisinin olmaması gibi gelişmiş özellikleri nedeniyle elektrikli araçlarda en çok kullanılan batarya türlerinden biridir. Ayrıca, çevre dostu malzemelerden üretilir, zararlı emisyonlar üretmez ve yüksek bir güvenlik seviyesi sunduğundan, bu da onları elektrikli araçların yüksek performans gereksinimlerini karşılamak için ideal bir seçenek haline getirmektedir. Bu pillerin uygun bir modeli, bir elektrikli araçtaki voltaj tahmini, şarj durumu (SOC) tahmini, güç ve zayıflama analizi, pil ömrü hesaplaması gibi birçok işlemi simüle etmenin yanı sıra kontrol ve optimizasyon stratejileri geliştirmek için de gereklidir. Pillerin modellenmesi ve davranışlarının tahmin edilmesi konusunda pek çok araştırma yapılmış olmasına rağmen hala çözülmemiş bazı sorunlar bulunmaktadır. Bataryalar, modern elektrikli araç sistemlerinde kritik bir bileşen olarak kabul edilmektedir. Bu tezde, elektrikli araç bataryalarının modellenmesi konusu ele alınmıştır. Tez, batarya performansını tahmin etme ve modelleme doğruluğunu artırmak için gelişmiş yöntemlerin uygulanmasına odaklanmakta, böylece bataryaların verimliliği ve güvenilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, batarya gerilimini tahmin etmek ve şarj durumunu belirlemek için ikinci dereceden bir transfer fonksiyonu kullanılarak basit ve etkili bir yöntem önerilmiştir. Bu model, bataryaların dinamik davranışını, giriş sinyalleri (akım) ile çıkış tepkileri (gerilim) arasındaki matematiksel ilişkiler aracılığıyla tanımlar. Transfer fonksiyonları deneysel verilerden türetilmiş, geçici ve statik batarya tepkilerini yakalayan doğrusal modeller oluşturmak için kullanılmıştır. Önerilen yöntemin performansı, diğer bir model olan termal eşdeğer devre modeli ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, önerilen yöntemin voltaj tahmininde iyi bir performans sergilediği ve şarj durumunu tahmin etmede de başarılı olduğu, ancak voltaj tahminine kıyasla biraz daha düşük bir doğruluk değeri sağladığını göstermiştir. Şarj durumu sonuçlarını işlemek ve daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla araştırma, modelleme çerçevesine yapay sinir ağlarını, özellikle de yapay sinir ağlarını entegre etmektedir. Yapay sinir ağları, bataryanın davranışındaki doğrusal olmayan ilişkileri ve karmaşık desenleri yakalamak için kullanılmaktadır; bu tür ilişkiler, geleneksel transfer fonksiyonları tarafından tam anlamıyla işlenemeyebilir. Sonuçlar, sinir ağı modelinin, transfer fonksiyonu modeline kıyasla batarya şarj durumunu tahmin etmede üstün doğruluk sağladığını göstermektedir. Son olarak, çalışmanın en önemli bulguları, metodoloji ve sonuçlar bölümünde özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, Elektrik araç bataryaları, Termoelektrik model, Eşdeğer devre modelleri, Transfer fonksiyonunun, Elektrikli araç bataryalarının modellenmesi.

ABSTRACT

ELECTRICAL MODELING OF BATTERY SYSTEM OF AN ELECTRIC VEHICLE

MOHAMMED, Mohammed Abdulmalek Abdulrahman

Master of Science in Department of Renewable Energy Resources

Supervisor: Prof. Dr. Hasan BAYINDIR

August 2024, 101 pages

Today, the world is experiencing rapid technological advancements that affect all sectors, including transportation. Electric vehicles are increasingly being recognized as a promising technology contributing to the reduction of emissions and the dependence on fossil fuels. However, the development of these vehicles largely relies on advancements in battery technology. Lithium-ion batteries are the most widely used type in electric vehicles due to their high energy density, long service life, lightweight design, low discharge rate, cost-effectiveness, and absence of memory effect. Additionally, they are made from environmentally friendly materials, produce no harmful emissions, and offer a high level of safety, making them an ideal choice for meeting the high-performance requirements of electric vehicles. A proper model of these batteries is essential for simulating various tasks such as voltage prediction, state of charge (SOC) estimation, power and degradation analysis, and battery life calculation, as well as for developing control and optimization strategies. Despite extensive research on battery modeling and behavior prediction, several unresolved issues remain. Batteries are considered a critical component in modern electric vehicle systems. This thesis deals with the modeling of electric vehicle batteries. The thesis focuses on the application of advanced methods to improve the accuracy of modeling and predicting battery performance, thereby increasing the efficiency and reliability of batteries. In this context, a simple and effective method is proposed, utilizing a second-order transfer function to estimate the battery voltage and determine the state of charge. This model describes the dynamic behavior of batteries through mathematical relationships between input signals (current) and output responses (voltage). Transfer functions were derived from experimental data and used to create linear models that capture both the transient and static responses of the battery. The performance of the proposed method was compared to another model, the thermal equivalent circuit model. The comparison results show that the proposed method performs well in voltage estimation and is also successful in estimating the state of charge, but it provides slightly lower accuracy compared to voltage estimation. In order to process the state of charge results and obtain more accurate results, the research integrates artificial neural networks, especially artificial neural networks (ANNs) into the modeling framework. ANNs are used to capture nonlinear relationships and complex patterns in battery behavior; such relationships may not be fully captured by traditional transfer functions. The study results demonstrate that the neural network model provides superior accuracy in predicting the battery's state of charge compared to the transfer function model. Finally, significant findings of the study are presented in the methodology and results sections.

Keywords: Electric vehicles, Electric vehicle batteries, Thermoelectric model, Equivalent circuit models, Transfer function, Modeling of electric vehicle batteries.

1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın sonlarından bu yana, çevre kirliliği sorunları ve enerji krizi hem çevresel hem de ekonomik düzeyde insanlığın karşı karşıya olduğu önemli zorluklar olarak ortaya çıkmıştır. Bu sorunların önemi, çevre ve ekonomi üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin küresel farkındalığın artmasıyla birlikte artmıştır. Bu durum, olumsuzluklarla mücadele etmek için etkili önlemlerin alınmasına yönelik kolektif eylemi güçlendirmektedir. Bu konularda öne çıkan sektörlerden biri de fosil yakıtlara dayalı, sera gazı emisyonlarının ve hava kirliliğinin artmasına katkıda bulunan ulaştırma sektörüdür [1].

Artan enerji ihtiyacı, büyük ölçüde petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bununla birlikte, fosil yakıtlara olan bu bağımlılık, çevredeki kirliliğin artmasına ve çevre kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı, küresel ısınmaya ve hava kirliliğine katkıda bulunan sera gazı ve zararlı partikül emisyonlarına yol açmaktadır. Çevresel etkilerinin yanı sıra fosil yakıtlara bağımlılık insan sağlığı açısından da büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan kirlilik, solunum ve kalp hastalıkları ile kanser gibi halk sağlığını tehlikeye atan sorunlara neden olmaktadır. Fosil yakıtlar kullanımı olumsuz çevre ve sağlık etkilerinin yanı sıra, bu kaynakların hızla tükenmesi araştırmacıların, bilim adamlarının ve endüstrilerin daha verimli, ekonomik, çevre dostu, sürdürülebilir ve etkili alternatif enerji arayışı üzerindeki baskısını artırmıştır. Teknolojik gelişmeler ve enerji depolama stratejilerinin ilerlemesi sayesinde bilim ve endüstriyel topluluklar, çeşitli enerji depolama stratejilerine dayalı yeni enerji kaynaklarını keşfetmeye ve geliştirmeye başlamıştır. Bu sürdürülebilir ve çevre dostu kaynaklar arasında güneş, rüzgâr ve hidroelektrik gibi çeşitli teknolojilerin yanı sıra piller, hidrojen yakıtları ve termal depolama gibi enerji depolama teknolojileri de yer alır. Bu teknolojiler, toplulukların enerji ihtiyaçlarını teknolojik olarak yenilikçi ve ekonomik yollarla karşılamayı ve aynı zamanda fosil yakıt kullanımının olumsuz çevresel etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır [2-3].

Fosil yakıtlara dayalı araçların yenilenebilir enerji ile çalışan araçlarla, örneğin elektrikli araçlarla, değiştirilmesini amaçlayan teknolojik gelişmeler, ulaşım sektörünün yaşadığı çevresel ve ekonomik sorunlara bir çözüm sağlayabilir. Bu

çözüm, özellikle enerji ve ulaşım alanlarındaki hızlı ilerleme ve ileri teknoloji ışığında umut verici özelliklere sahiptir. Aslında çevre dostu ve içten yanmalı geleneksel araçlara göre daha verimli bir ulaşım aracı olarak elektrikli otomobillere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bu araçlar, zararlı gaz emisyonlarını azaltma ve hava kalitesini iyileştirme yeteneği de dahil olmak üzere onları çekici kılan birçok özelliğe sahiptir. Ayrıca kullanıcıların geleneksel araçlara kıyasla daha iyi performans ve daha düşük işletme maliyetleri deneyimlemelerine olanak tanımaktadır. Bu şekilde elektrikli araçların alternatif ulaşım aracı olarak benimsenmesi, çevre koruma ve sürdürülebilir kalkınma gereklilikleriyle uyumlu, daha sürdürülebilir bir ulaşım sistemine geçişi yansıtır. Enerji ve ulaşım teknolojisindeki ilerlemeler devam ettikçe elektrikli araçlara ve yenilenebilir yakıtlara olan bağımlılığın yakın gelecekte artması beklenmektedir [4].

Thomas Davenport, 1835'te Amerika'da bilinen ilk elektrikli otomobili ürettiğinde, elektrikli otomobiller on dokuzuncu yüzyıla kadar uzanıyor. Bu araç, başlangıçta şehirlerde insanları ve fabrikalarda malları taşımak gibi sınırlı amaçlar için kullanılan, kimyasal pille çalışan bir lokomotif. Elektrikli araçlar, teknolojideki ilerlemeler, performans ve verimlilikteki artışlar doğrultusunda zamanla evrim geçirmiştir. Elektrikli otomobillere ilk ilgi 19. yüzyılda gösterilmesine rağmen, dönemin teknoloji ve altyapı sınırlamaları nedeniyle bu araçların kullanımı yaygınlaşmamıştır [5].

Günümüzde ise aradan iki asır geçtikten sonra geri dönüş yaparak dünya sahnesinde önemli bir ticari ürün haline gelmiş, temiz ve sürdürülebilir ulaşım alanında önemli seçeneklerden biri haline gelmiştir. Son yıllarda tamamen elektrikli araçlar (EV), hibrit elektrikli araçlar (HEV) ve şarjlı hibrit elektrikli araçlar (PHEV) gibi temiz enerjiye sahip araçlar, hızlı bir gelişime sahne olmuş, yüksek verimlilikleri ve çevre dostu özellikleriyle dikkat çekmiştir. Bilimsel çalışmalar, elektrikli araçların fosil yakıtlarla çalışan araçlara kıyasla çevre dostu ve enerji açısından daha verimli olduğunu kanıtlamıştır. Bu da yaygınlaşmalarına yol açmıştır. Temiz enerji araçları, üstün özellikleriyle şu anda pazara hâkim olan geleneksel içten yanmalı motorlarla rekabet edebilecek güçlü bir potansiyele sahiptir. Daha çevre dostu bir şekilde çalışıp zararlı gaz emisyonlarını azaltmanın yanı sıra olağanüstü performans, daha düşük işletme maliyetleri ve daha az bakım sağlamaktadırlar [4].

Elektrikli araçların hızla sektörde büyümesiyle birlikte, yüksek enerji yoğunluğuna sahip enerji pillerine olan talep, diğer enerji depolama türlerine göre önemli ölçüde artmaya başlamıştır. Yüksek enerji yoğunluğuna sahip güç pilleri, büyük miktarlarda enerjiyi küçük bir hacimde depolayabildiğinden, yüksek performanslı ve uzun menzil gerektiren elektrikli araçlarda kullanım için önemli bir yere sahip olmaya başlamıştır. Enerji depolama ve sınıflandırmada yüksek verimlilik sağlayan, uzun ömürlü ve az bakım gerektiren bu piller, elektrikli araçların ve enerji tüketimi yüksek diğer teknolojilerin enerji depolama ihtiyaçlarını karşılamak için ideal bir seçim haline gelmektedir. Piller, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal hücrelerden oluşan enerji depolama cihazlarıdır. Batarya performansı otomobilin performansını doğrudan etkilediği için elektrikli otomobillerin en önemli bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Kullanıcıların önem verdiği kriterler arasında akünün tam şarj süresi, akü ömrü, araç menzili vb yer almakta ve bunların tamamı akü sistemiyle ilgili olduğu bilinmektedir. Batarya, elektrikli aracın hareket etmesi için gereken enerjiyi sağlamakta ve aracın güvenli ve zaman içinde performansında bozulma olmadan çalışmasını sağlamak için batarya yönetim sistemleri (BMS) adı verilen özel sistemler tarafından yönetilmektedir. Bu sistemler batarya performansını izlemeyi ve iyileştirmeyi, güvenliğini sağlamayı ve ömrünü uzatmayı amaçlamaktadır. Nikel kadmiyum (NiCd), sodyum sülfat (NaS), lityum iyon (Li-iyon), kurşun asit (LA) ve nikel metal hidrit (NiMH) gibi enerji depolamak için ticari olarak kullanılan birçok farklı pil türü şu anda piyasada mevcuttur. Lityum-iyon yeniden şarj edilebilir pil, umut verici bir çözüm olarak kabul edilir ve elektrikli araçlarda en yaygın kullanılan pil türlerinden biridir. Bu piller, hibrit elektrikli araçlar (HEV) ve saf elektrikli araçlar (EV) tarafından gerekli enerji depolama uygulamalarının ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Li-ion pil, olağanüstü performansa sahiptir. Küçük boyutta yüksek düzeyde güç sağlamasını sağlayan yüksek enerji yoğunluğu, onu yüksek tüketimli enerji depolama uygulamaları için uygun kılan yüksek şarj ve deşarj kapasitesi, sık şarj gerektirmeden enerjisini uzun süre koruyan düşük kendi kendine deşarj oranı ve performansını uzun süre koruyabilmesi anlamına gelen yüksek çevrim ömrünün yanı sıra yüksek verimlilik ve masrafsız diğer pil teknolojilerine kıyasla daha önemli hale getirmektedir [6-10].

Lityum iyon pillerin tüketici elektroniği cihazlarında sağladığı büyük başarılarla rağmen, bunların otomotiv alanındaki uygulamaları teknik zorlukların aşılmasını gerektirmektedir. Bu zorluklar arasında, daha uzun menzil ve daha iyi performans elde etmek için pillerin verimliliğinin artırılması ve elektrikli araçların, geleneksel fosil yakıtla çalışan arabalara kıyasla maliyet açısından daha rekabetçi hale getirilmesi için maliyetlerin düşürülmesi gibi durumlar yer almaktadır. Pil üretiminde kullanılan hammadde kaynaklarının sürdürülebilirliğinin yanı sıra hızlı şarj teknolojilerinin geliştirilmesi, pillerin ömrünün uzatılması, ağırlık ve boyutlarının küçültülmesi de önem arz etmektedir.

Bu açıdan bakıldığında, lityum iyon pil teknolojisi alanındaki araştırma ve yenilikler, gelecekteki elektrikli araç ve hibrit elektrikli araç uygulamalarının gereksinimlerini karşılayacak şekilde performans ve özelliklerini geliştirmek amacıyla devam etmektedir. Pillerin dinamiklerini modellemek ve analiz etmek için elektriksel, termal ve mekanik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır [11-13]. Bu yöntemler sayesinde pil hücrelerinin ve sistemlerinin elektrokimyasal ve termal davranışları dikkatle incelenmektedir. Örneğin, deşarj ve şarj sırasında piller arasındaki elektrik akımlarını ve voltaj farklılıklarını ölçmek için elektrik teknikleri kullanılabilirken, termal teknikler pil sıcaklığındaki değişiklikleri ve bunun sonucunda pil performansı üzerindeki etkileri izleme ve analiz etme yeteneği sağlamaktadır [14]. Ayrıca, batarya yapımında kullanılan yapı ve malzemeleri ve bunların dayanıklılık ve verimlilik üzerindeki etkisini incelemek için mekanik teknikler kullanılmaktadır. Bu çoklu yöntemlerin kullanılması, pillerin dinamik davranışının ve performansının daha derinlemesine anlaşılmasına yardımcı olmaktadır [15]. Pil modelleme, pil teknolojisi gelişiminin hayati bir bileşenidir ve çeşitli uygulamalarda daha çok önem arz eder. Örneğin, elektrikli araç menzili tahmin etmek büyük ölçüde gelişmiş pil modelleme tekniklerinin uygulanmasına bağlıdır [16-17]. Bu teknolojiler pilin mevcut durumunun belirlenmesine ve kalan dayanıklılığının tahmin edilmesine yardımcı olur. Ayrıca pil modelleme, güvenli şarj ve deşarjın sağlanmasında, pil kullanımının optimize edilmesinde, şarj süreçlerinin hızlandırılmasında ve diğer birçok uygulamada önemli bir rol oynamaktadır.

Araştırmacılar, çeşitli çalışma senaryolarında pil davranışını tahmin etmek için doğru ve güvenilir modeller geliştirmeyi amaçlamaktadır. Aşırı ısınma, aşırı şarj ve aşırı deşarj gibi istenmeyen olayları azaltmak istenir. Bu modeller aynı zamanda bakım ve kontrol teknolojilerinin geliştirilmesinde de rol oynar. Bu teknolojiler, akülerin uzun vadeli performansını korumaktadır. Pil modellerinin önemi, geleneksel deneysel teknikleri kullanılarak doğrudan ölçülmesi mümkün olmayabilecek pil sağlığı ve şarj durumu gibi temel çalışma koşullarını tahmin etme yetenekleriyle de ortaya çıkmaktadır [18-21]. Yıllar içinde, araştırmacılar, doğruluk ve karmaşıklık açısından farklılık gösteren çeşitli batarya modelleri geliştirmektedirler [15].

Pil modelleri üç ana kategoriye ayrılır: Pil içindeki moleküler düzeyde kimyasal reaksiyonları tanımlayan elektrokimyasal modeller gibi beyaz kutu modelleri. Model, pilin polarizasyonunu doğru bir şekilde simüle etmek için çok sayıda parametreye ihtiyaç duyar ve pilin dinamik davranışını tanımlamak için normal diferansiyel denklemler kullanılır. Elektrokimya, çevresel koşullardan etkilendiğinden, doğru bir elektrokimyasal model elde etmek zordur ve belirli koşullar altında doğru olsa bile, gerçek çalışma koşullarına uygulanması sınırlıdır[22-23]. Yapay sinir ağı modeli gibi kara kutu modelleri, sinir ağının doğrusal olmayan ve kendi kendine öğrenme özelliklerinden yararlanır ve pil sistemi parametreleri arasındaki ilişkileri kurmak için deneysel verilere dayanır. Bununla birlikte, bu modelin pil performansını doğru bir şekilde tahmin etmek için çok fazla deneysel veri gereklidir[22,24]. Bunlar eşdeğer devre modelleri (EECM'ler) gibi gri kutu modelleridir. Eşdeğer devre modelleme (ECM), pillerin, özellikle de lityum pillerin sayısal analizinde en popüler yöntemlerden biridir. Bu modeller kolayca hesaplanabilir ve Coulomb hesaplaması ve OCV/SOC korelasyonu gibi diğer yöntemlerle birleştirildiğinde çeşitli çalışma koşulları altında pil davranışını doğru bir şekilde tahmin etmeyi kolaylaştırır. Bu model aynı zamanda genişletilmiş Kalman filtresi gibi uyarlanabilir yöntemlerden yararlanmaya da uygundur [22-23,25-26].

Transfer fonksiyonu modellemesi, DC-DC yükseltici dönüştürücüler gibi birçok pratik sistemde kullanılmış olup, devrelerin farklı frekanslara ve girişlere verdiği tepkinin anlaşılmasına yardımcı olduğu filtreler gibi elektrik devrelerinin analizinde ve tasarımında da kullanılmaktadır[27-28]. Transfer fonksiyonu aynı zamanda eklem

açıları ve kontrol girdileri arasındaki ilişki de dahil olmak üzere robotik sistemlerin dinamiklerini modellemek için kullanılmış ve gerçek dünyadaki hareket ve operasyon için kontrol stratejilerinin tasarımına katkıda bulunmuştur [29]. Ancak pil modellemeye ilgili birçok araştırmayı inceleyerek pil modellemede transfer fonksiyonunun kullanıldığını fark edilmemektedir. Bu nedenle, bu tez, voltajı ve şarj durumunu (SOC) doğru bir şekilde tahmin etmek ve pili temsil etmek için transfer fonksiyonunu kullanan basit ve etkili bir modelleme yöntemini önermektedir. Bu yöntem, bataryanın giriş ve çıkış verilerine dayanarak basit bir fonksiyonel ilişki oluşturur. Önerilen yöntemin performansı, başka bir model olan termal eşdeğer devre modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemin voltaj tahmininde ve şarj durumunu öngörmeye olumlu bir performans sergilediğini göstermiştir; ancak, şarj durumu tahminlerinin doğruluğu daha düşük bulunmuştur. Bu sorunu çözmek ve şarj durumu tahminlerinde daha iyi sonuçlar elde etmek amacıyla yapay sinir ağları kullanılmıştır.

Araştırmanın yöntemler ve sonuçlar bölümü, bataryaların davranışını daha iyi anlamayı sağlayan ve çeşitli uygulamalarda performanslarını iyileştirmeye yönelik etkili çözümler sunan önemli sonuçları özetlemektedir.

1.1 Tez Konusunun Önemi

Elektrikli araç bataryaları, bu araçların verimliliğini ve performansını belirleyen temel unsurlardandır. Küresel düzeyde sürdürülebilirliğe yönelik artan ilgi ve karbon emisyonlarının azaltılması ihtiyacı, geleneksel fosil yakıtlarla çalışan otomobillere alternatif olarak elektrikli araçların tercih edilmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçların bataryalarının modellenmesi, performanslarının ve kullanım alanlarının artırılması açısından büyük bir öneme sahiptir.

Bataryaların farklı çalışma koşulları altındaki özelliklerini ve davranışlarını anlamak, tasarım ve kullanılan malzemelerin geliştirilmesine katkıda bulunarak batarya kapasitesinin ve ömrünün artırılmasına yol açmaktadır. Ayrıca, modelleme süreçleri, enerji verimliliğini artıran ve dolayısıyla işletme maliyetlerini azaltan, aynı zamanda güvenilirliği artıran enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine de önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu tez, bataryaların modellenmesinde yeni çözümler geliştirmeye katkıda bulunmaktadır. Önerilen model, diğer modellere kıyasla daha az hesaplama belleği kullanarak basit ve etkili bir yaklaşım sunmakta, bu da onu elektrikli araç bataryası üreticileri için pratik uygulamalarda tercih edilebilir bir seçenek haline getirmektedir.

Bu tez, şarj ve deşarj stratejilerinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu amaçla, şarj ve deşarj durumunu tahmin etmek için yapay sinir ağları kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları, geçmiş verilere dayanarak öğrenme yeteneğine sahip olup, şarj ve deşarj verimliliğini artıran kalıpları belirleyerek bataryanın ömrünü uzatmaya yardımcı olmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Batarya davranışını temsil eden farklı modelleri anlamak
- Model parametrelerini hesaplamak için yeni bir yöntem geliştirirken doğruluk, verimlilik ve performans kararlılığı gibi belirli kriterlere göre batarya ile en iyi şekilde davranan en iyi modeli seçmek.
- Farklı çalışma koşulları altında batarya davranışının tahminini iyileştirmeye yardımcı olan önerilen yöntemin performansını artırmak için yapay zekadan yararlanmak. Böylece batarya verimliliğinde ve performansında önemli iyileştirmeler sağlamak.

1.3 Tezin Yapısı

Bu tez 5 ana bölümden oluşmaktadır: giriş, kaynak özetleri, materyal ve yöntemler, sonuçlar ve tartışma, sonuç ve öneriler.

Giriş niteliği taşıyan birinci bölümde elektrikli arabalar, bataryalar ve modelleme hakkında bilgiler verilmiştir.

Kaynak özetleri şeklinde sunulan ikinci bölümde pil modellemeye ilişkin literatür araştırmaları yer almıştır.

Materyal ve Yöntem bölümünde elektrikli arabalar, farklı piller ve çeşitleri hakkında geniş bir anlatıma yer verilmiştir. İkinci dereceden transfer fonksiyonunu kullanan

lityum iyon pil modellemesine vurgu yapılarak pil modellemeye yönelik farklı yaklaşımlar gösterilmiştir. Bu modeller MATLAB kullanılarak gerçekleştirilmiş ve modellerin geliştirilmesinde kullanılan araç ve yöntemler anlatılmıştır.

Bulgular ve tartışma olarak adlandırılan dördüncü bölümde, MATLAB kullanılarak termoelektrik modelin oluşturulmasına ilişkin tartışma ve sonuçların yanı sıra, ikinci dereceden transfer fonksiyonu kullanılarak, önerilen yöntemin sonuçlarının tartışılması da sunulmuştur. Ek olarak, sinir ağı kullanılarak yapılan pil modellemenin sonuçları tartışılarak, geliştirilen modellerin gerçek performansının ve doğruluğunun kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına olanak sağlanmıştır.

Sonuç ve öneriler bölümünde çalışmanın sonuçlarına yer verilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Son dönemde elektrikli araçlara yönelik, özellikle batarya alanına odaklanan çok sayıda önemli çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar arasında tez içeriğine uygun olarak elektrikli araç alt sistemlerine odaklanan araştırmalar öne çıkmaktadır. Elektrikli araç akülerinin modellenmesi, en iyi performansı, verimliliği ve güvenilirliği sağlayan ve elektrikli araçların yaygınlaşmasına ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olan yenilikçi çözümler geliştirmek için gereklidir. Bataryanın etkin çalışma koşulları göz önüne alındığında, bu çalışmada incelenen literatür ağırlıklı olarak elektrikli araç batarya teknolojileri, termal yönetim sistemi ve batarya modellemesi üzerine odaklandığı görülmüştür [17]. Bu bağlamda, bu bölümde ağırlıklı olarak pillerin teorik temellerine odaklanılmış ve literatürde bildirilen bazı önemli çalışmalar özetlenmiştir. Bu çalışmalar, elektrikli otomobil teknolojisinin gelişmesine katkıda bulunan ve tüketicilerin tek şarjla daha uzun mesafeler kat etme yeteneklerini artıran, tüketicilerin elektrikli otomobillere güvenme konusunda güvenini artıran bataryaların performansını ve verimliliğini artırmaya yönelik çözümler sunmayı amaçlamıştır.

Özel ve arkadaşlarının çalışmasında [30], Panasonic marka NCR18650B lityum iyon bataryanın termodinamik ve matematiksel modeli oluşturulduğu ve doğruluğunun doğrulandığı belirlenmiştir. Model sıcaklık, yaşlanma ve akım yoğunluğu değişikliklerine odaklanarak gerçek sonuçlara daha yakın hale gelmiştir. Batarya sıcaklığı yönetim sistemi, Tesla Model S sistemi referans olarak kullanılarak tasarlandığı belirlenmiştir. Model, otomobilin dinamik bir modeline ve elektrik motoruna bağlıdır. Üretici verileri ve Ansys yazılımı ile doğrulanan modellerin doğruluğu ile tatmin edici sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Ortam sıcaklığı, özellikle ısı yönetim sisteminin çalışmadığı soğuk koşullarda bataryalar kapasitesini doğrudan etkiler. Performans, çevresel koşullar ve yaşlanmanın batarya kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve uzun mesafeli yolculuktan sonra yaklaşık %10 oranında azalması beklendiği için birden fazla zaman diliminde simüle edilmiştir [30-31].

Çetin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [7], genel olarak bataryaların, özel olarak da lityum iyon bataryaların performansını incelemiştir. Ayrıca farklı batarya sistemleri

üzerinde de çalışmışlardır. Ayrıca lityum iyon pilleri modellemek için MATLAB/Simulink yazılımı kullanılmıştır. Sonuçlar, yükün deşarj işlemi sırasında bataryalar performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir [7].

Zhang ve arkadaşlarının çalışmasında [32], elektrokimyasal modeller, düşük dereceli modeller, EECM ve kara kutu modelleri dahil olmak üzere farklı model türlerinin analizi ile batarya modelleme yöntemlerine genel bir bakış sağlamıştır. Bu çalışmada sıcaklığın ve batarya ömrünün potansiyel etkileri kısaca tartışılmıştır. Bu çalışma aynı zamanda genel modelleme performansını iyileştirmek için ayrıntılı termal modeller geliştirmenin önemine de dikkat çekmiştir. Bu çalışmada yer alan modeller yalnızca tek bir pil hücresi için uygulandığı belirlenmiştir. Yüzlerce, hatta binlerce pil hücresinden oluşan bir pil takımı için pil modeli ve pil hücreleri arasındaki dengesizlik nedeniyle daha karmaşık olduğu saptanmıştır [32].

Juhlin ve arkadaşlarının çalışmasında [33] , bozulmanın kullanıma ve zamana bağlı olduğu ve sırasıyla döngü yaşlanması ve takvim yaşlanması olarak adlandırılan bozulmayı hesaba katacak bir Li-Ion batarya hücreleri ve hücre paketleri modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model, pili temsil eden eşdeğer bir devre modelini temel almış ve kapasite kaybı şeklinde bir pil bozulması modelini içerecek şekilde genişletilmiştir. Ayrıca sürüş koşullarını belirleyerek pilin zaman içindeki pil sağlığı durumu değerlendirmek için de kullanılabilir, sıcaklık ve pil özellikleri değerlendirilmiştir. Bu model ayrıca elektrikli bir araçtaki belirli bir batarya paketinin teknik özelliklerine uyacak şekilde yapılandırılabilir ve belirli bir sürüş senaryosu için batarya sağlığı durumu nasıl etkileneceğine dair bir tahmin elde edilmiştir. Bu çalışmanın önemli bir sonucu, hücrelerin sıcaklığının ortam sıcaklığına ve akıma bağlı olması nedeniyle sıcaklığın yaşlanma döngüsünde en etkili faktör olduğudur. Ayrıca şarj seviyesi sıcaklıktan etkilenmemektedir. Son olarak bu çalışma, lityum iyon pili düşük şarj durumunda saklamanın en iyi durum olduğu ve kullanım sırasında şarj durumunu düşük tutmanın daha iyi olacağını belirtilmiştir [33].

Samadani ve arkadaşlarının çalışmasında [34], lityum iyon bataryalar üzerine yapılan iki deneysel çalışma sunulmuştur. İlk olarak, ticari LiMn_2O_4 ve LiFePO_4 hücrelerinin termal davranışı, gerekli test noktalarını belirlemek için bir deney algoritması tasarımı

kullanılarak farklı sıcaklıklarda şarj-deşarj testleri yoluyla araştırılmıştır. Sonuçlar, gözlemlenen tekdüze sıcaklık dağılımı ile yüksek sıcaklıklarda daha iyi performansı doğrulamaktadır. Sıcaklık ve kümülatif ısı üretimi için istatistiksel bir model geliştirilmiştir. Bataryanın iç direnci ve açık devre voltajı (OCV) hesaplanmış ve basit bir batarya modeli oluşturulmuştur. Şarj durumu, güç ve sıcaklık profillerine ilişkin deneysel verilerle pozitif karşılaştırma yapıldığında, sürüş verilerinden OCV tahmininin doğruluğu, modelin çeşitli sürüş döngülerine göre doğrulanmıştır [34].

Hu ve arkadaşlarının çalışmasında [35], Otomotiv uygulamalarında kullanılan lityum iyon bataryanın elektriksel ve termal modeli oluşturulmuştur. Modeldeki eşdeğer elektrik devresini, bu devrenin parametrelerinin şarj durumuna, sıcaklığa ve akımın yönüne bağlı olduğu dinamik bir yapıya uyarlanmıştır. Randles'in eşdeğer devresini kullanarak bir model geliştirilmiştir. Bu devre, bir kaynak ile kapasite ve dirençlerden oluşmuştur [35].

Xiong ve arkadaşlarının çalışmasında [36], elektrokimyasal özellikleri ve polarizasyon etkisini simüle etmek için Nernst modeline ilave bir RC devresi eklenerek yeni bir elektrokimyasal polarizasyon modeli önerilmiştir. Deney ve simülasyon sonuçları, diğer bazı modellerle karşılaştırıldığında üstün dinamik performans ve terminal voltajının daha doğru tahmin edildiğini gösterilmiştir. Modelde, batarya gevşemesini tasvir etmek için basitlik ve verimlilik sağlayan paralel bir RC ağı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda önceden kaydedilen verilere dayalı olarak çevrimdışı parametre seçimi, periyodik kalibrasyonun karmaşıklığını ve zaman tüketimini azalttığı bulunmuştur [36] .

Mawuntu ve arkadaşlarının çalışmasında [37], elektrikli araçlar (EV'ler) için doğru lityum iyon batarya (LiB) modellemesi ve şarj durumu (SOC) tahmini ele alınmıştır; bu, SOC tahmininde gelişmiş doğruluk ve verimliliğin yanı sıra iyileştirilmiş batarya soğutması ve dengelemesiyle sonuçlanmıştır. Bu araştırma, güvenli ve verimli çalışma için Genişletilmiş Kalman Filtresi (EKF) tabanlı SOC tahmin aracına sahip yenilikçi bir Bataryalar Yönetim Sistemini (BMS) sunarak, güvenli ve karbondan arındırılmış bataryalar bakım trendlerinin temelini atmıştır. Simülasyon sonuçları, bu yaklaşımın gerçek dünya sürüş koşullarındaki etkinliğini doğrulamıştır. Bu gelişmeler, güvenli pil

çalışmasını sağlamış, performansı optimize etmiş ve ulaşım sektöründe karbondan arındırma çabalarını destekleyerek sürdürülebilir EV'lerin kullanımını teşvik etmiştir [37].

Fotouhi ve arkadaşlarının çalışmasında [38], matematiksel, elektrokimyasal ve eşdeğer devre ağı modellerine odaklanan batarya modelleme teknikleri sunulmuştur. Yüksek doğruluklu elektrokimyasal modeller doğruluk sağlasa da gerçek zamanlı uygulamalar için uygun değildir. Elektrikli araç yönetimi için basitleştirilmiş elektrokimyasal modeller, doğru, yüksek kaliteli modeller gerektirse de, sağlık durumuna ilişkin bilgiler sağlar. Deneysel verilerden türetilen eşdeğer devre ağı modelleri, temel voltaj artı direnç modellerinden dinamik ağlara kadar değişen şarj durumu gibi tahminler sunar. Doğrudan iç durumu temsil etmese de bu modeller, parametreleri değişen koşullara uyarlayabilir. Bu çalışma aynı zamanda lityum-kükürt (Li-S) batarya teknolojisini ve karşılaştığı zorlukları tartışmaktadır ve kapasite azalması gibi teknik engeller nedeniyle basit ve hızlı Li-S batarya modellerinin eksikliğine dikkat çekmektedir [38].

Panday ve arkadaşları [25], HEV/PHEV uygulamaları için, yakıt tüketimini azaltırken batarya gücünü verimli kullanma zorluğunu ele alan bir 2RC batarya modeli önermiştir. Modelleri, matematiksel ifadelerle birlikte sıcaklık ve kendi kendine deşarj akımı hususlarını Simulink'e entegre edilmiştir. Açık devre voltajı ve coulomb hesaplama yöntemlerinin birleştirilmesiyle batarya şarj durumu (SOC) tahmini, bir düzeltme faktörü kullanılarak iyileştirilmiştir. Batarya dinamiklerini sıcaklığa göre tanımlayan ve çeşitli parametreler üzerindeki önemli etkisini ortaya koyan genelleştirilmiş bir termoelektrik model önerilmiştir. OCV değerleri 0°C ile 20°C arasında sabit kalmış ancak geçici etkilerden dolayı bu aralığın dışına çıkmıştır. Direnç düşük sıcaklıklarda daha yüksek çıkmış, bu da pil kapasitesini ve deşarj oranını etkilemiştir. Bu seviyenin altında çalışmak hızlı tükenmeye neden olabileceğinden, pil sağlığını korumak için minimum %35 öneren çevrimiçi bir SOC tahmin stratejisi kullanılmıştır [25].

Moshirvaziri ve arkadaşları çalışmasında [39], bir batarya hücresi test ortamının tasarımına ve elektrikli araçlar (EV'ler) için bir lityum iyon (Li-Ion) bataryanın

modellenmesine odaklanmaktadır. Otomotiv akülerini gerçek dünyadaki sürüş döngüsü profilleri altında test etmek için rejeneratif, programlanabilir bir hücre test platformu geliştirmişlerdir. Batarya performansını doğru bir şekilde tahmin etmek için yeni bir batarya modelleme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen model, araç performansını daha da artırmak için gerçek zamanlı BMS sistemlerinde uygulanacak şekilde tasarlanmıştır. Model, batarya sıcaklığına ve şarj durumuna (SOC) göre parametreleri dinamik olarak güncellemektedir. Buna ek olarak simülasyon kurulumu, pil direncinin gerçek çalışmadaki sürüş döngüleri altında EV'nin performansı üzerindeki etkisini ölçmektedir. Tasarım, yüksek verimlilik ve sistem kararlılığı elde etmek için şebeke bağlantılı invertörler ve LIC'ler kullanan, genişleme esnekliğine sahip yeni bir hücresel mimariye sahiptir. Sonuçlar, düşük batarya empedansının elektrikli araç performansını önemli ölçüde artırdığını gösteriyor ve bu da, optimum araç çalışması için batarya modellemenin ve test etmenin önemini vurgulamaktadır [39].

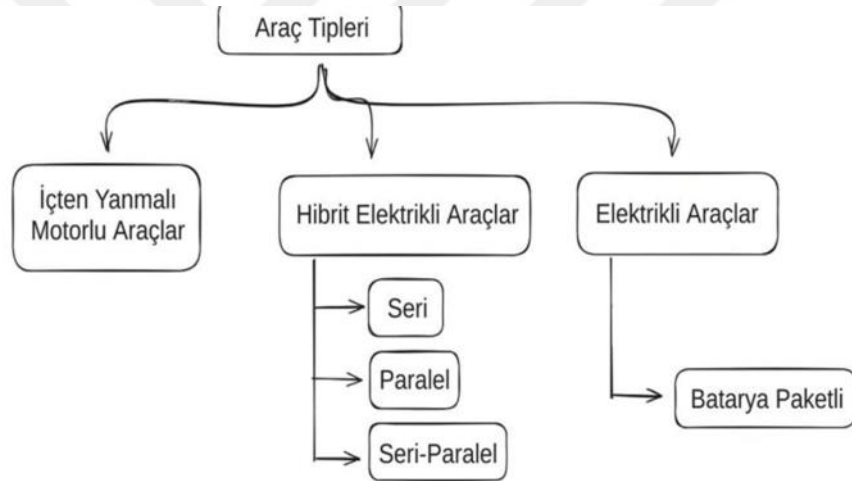
Zaccaria ve arkadaşları çalışmasında [40], deşarjı simüle etmek, parametreleri tahmin etmek ve deşarj sırasında batarya performansını etkileyen faktörleri incelemek için MATLAB tabanlı bir batarya hücre modeli önermişlerdir. Model, pilin toplam aşırı güç ve sıcaklık etkilerini belirlemek için kinetik ve yayılma bileşenlerini içermektedir. Deşarj profili analizi, farklı yükleri, akımları ve sıcaklıkları hesaba katarak LIB deşarj özelliklerini minimum hatayla yakalamaktadır. Modelin üretici verilerine ve deneysel profillere göre doğrulanması, C oranındaki hızlı değişiklikler sırasında birkaç sapma ile iyi bir tutarlılık göstermektedir [40].

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölüm, elektrikli arabalara, bunlarda kullanılan batarya türlerine, farklı batarya modelleme yöntemlerine ve önerilen yöntemin açıklamasına kapsamlı ve ayrıntılı bir genel bakış sağlamak için birkaç kısma bölüme ayrılmıştır.

3.1 Elektrikli Araç Çeşitleri

Günümüzde dünyada araçlar enerji kaynağına ve kullandıkları motor türlerine göre üç kategoriye ayrılmaktadır. Bu araçlar, fosil yakıt kullanan geleneksel içten yanmalı (İYM) motorlu araçlar, elektrik ve fosil yakıt kullanan, içten yanmalı motor ve elektrik motoruna sahip hibrit elektrikli araç (HEA) ve sadece elektrik enerjisini kullanan elektrikli araç (EA)'tır. Şekil 3.1 genel olarak elektrikli araç türlerini göstermektedir.



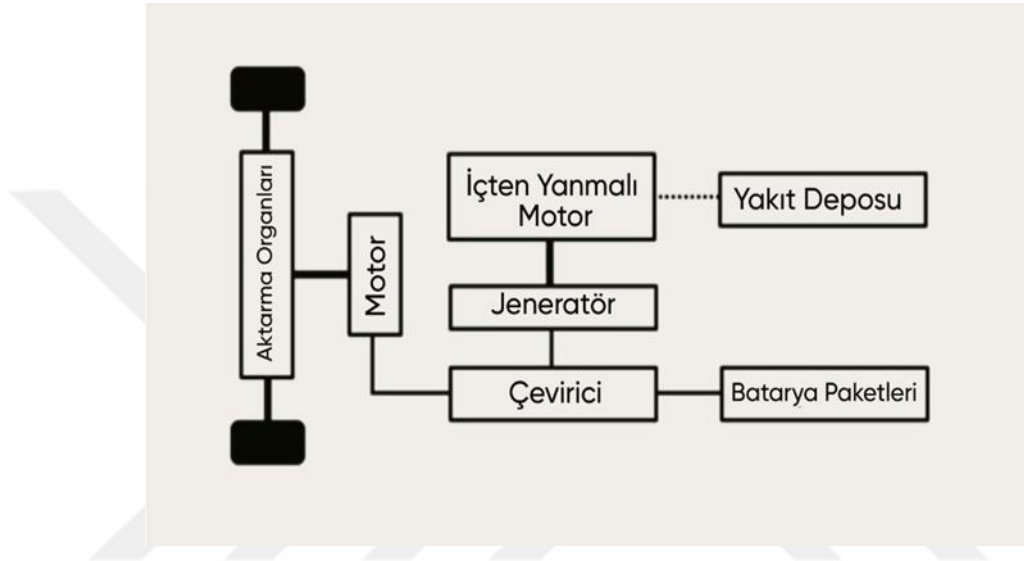
Şekil 3.1 Genel olarak araç türlerinin sınıflandırılması

3.1.1 Hibrit bir elektrikli araç (HEV)

Hibrit elektrikli araç, içten yanmalı motor ile elektrikli güç aktarma sistemini bir araya getirir. Çift güç aktarma organı yaklaşımı, düşük hızlı sürüşlerde elektrik motorunu, yüksek hızlarda veya daha fazla güce ihtiyaç duyulduğunda ise içten yanmalı motoru kullanarak yakıt verimliliğini artırır ve emisyonları azaltır. Hibrid elektrikli araçlarda genellikle aküyü şarj etmek için rejeneratif frenleme özelliği bulunur ve bu da verimliliği daha da artırır. Geleneksel ve elektrikli enerjiyi birleştirerek hibrit araçlar, çevresel etkiyi azaltırken sürüş performansını koruyan pratik bir çözüm sunmaktadır. Üç farklı hibrit elektrikli araç türü bulunmaktadır: seri, paralel ve seri-paralel.

3.1.1.1 Seri hibrit elektrikli araçlar

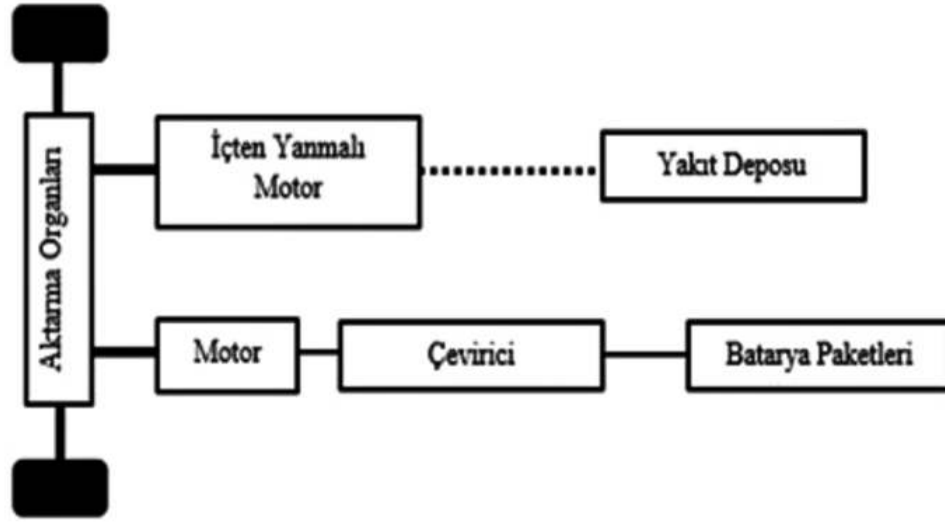
Bu tür hibrit elektrikli araç şu bileşenlerden oluşur: içten yanmalı motor, elektrik motoru ve jeneratör. Seri hibrit elektrikli araçlarda içten yanmalı motor tarafından üretilen mekanik enerji, elektrik motorunu çalıştıran ve bataryalar paketini şarj eden jeneratör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. Tekerlekler, ateşleme için güç sağlayan elektrik motoru tarafından sağlanır [41]. Şekil 3.2’de hibrit elektrikli araç serisinin yapısını göstermektedir.



Şekil 3.2 Seri hibrit elektrikli araçlar yapısı [55]

3.1.1.2 Paralel hibrit elektrikli araçlar

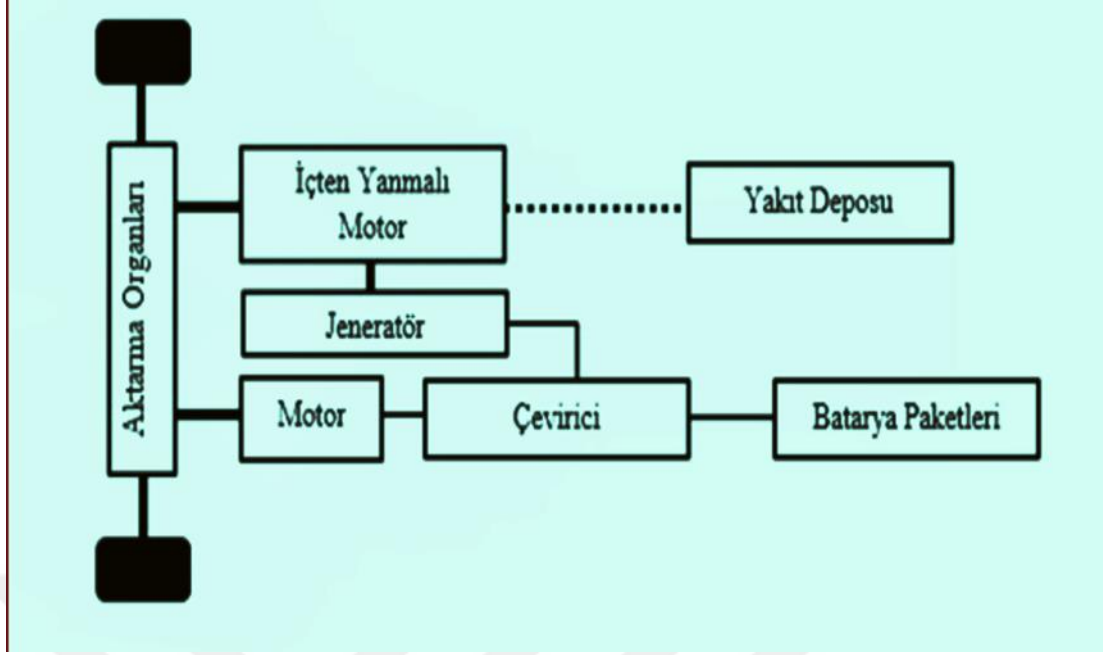
Günümüzde yaygın olarak üretilen paralel hibrit elektrikli araçlar tekerleklerle doğrudan elektrik motoru, içten yanmalı motor veya her ikisi tarafından aynı anda güç verilebilir. Bazı paralel hibrit elektrikli araçlar, bir aksa güç sağlamak için bir elektrik motoru ve diğerine güç sağlamak için bir içten yanmalı motor kullanır, ancak çoğu iki girişi tek bir aksa bağlar. Otoyolda paralel hibrit elektrikli araçlar iyi performans göstermektedir. Paralel hibrit, içten yanmalı motorun doğrudan tekerleklerle güç verebilmesinden dolayı, içten yanmalı motor gücünün elektriğe aktarılmasındaki verimsizlikleri ortadan kaldırır. Pilleri de seri hibritlerin pillerinden çok daha küçük olabilmektedir. Buradaki çelişki, içten yanmalı motorun dur-kalk trafikte çeşitli güç taleplerini karşılamaya devam etmesi ve seri hibritteki kadar verimli çalışmamasıdır [42]. Şekil 3.3'te gösterilenler Paralel hibrit elektrikli araç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Paralel hibrit elektrikli araçlar yapısı [55]

3.1.1.3 Hibrit seri-paralel elektrikli araçlar

Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar, karmaşık seri-paralel ve seri hibrit elektrikli araç yapılarına benzer şekilde enerji performansını artırır. Bu araçlardaki motor ve/veya jeneratör sistemi bazen motorun aküyü yeniden şarj etmesini sağlayan bir vites veya güç ayırıcı cihaz içerir. Motor/jeneratör sayısına ve bunların nasıl kullanıldığına bağlı olarak bu mimarideki değişiklikler son derece basit veya son derece karmaşık olabilir. Geliştirilmiş bileşen esnekliği (seri HEV'lerde olduğu gibi) ve mekanik bağlantıların varlığı (paralel HEV'lerde olduğu gibi) nedeniyle, seri-paralel HEV'ler geniş bir uygulama yelpazesi için daha düşük yakıt kullanımına yol açabilir [43-44]. Şekil 3. 4 paralel ve seri HEA yapısını göstermektedir.



Şekil 3.4 Hibrit seri-paralel elektrikli araçlar yapısı [55]

3.1.2 Elektrikli araçlar

Fikri 18. yüzyılın başlarında başlayan elektrikli otomobillerin, ilk modellerin yavaş hareket etmesi, büyük olması ve üretim maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle ilk etapta seri üretimi ertelenmiştir. Zamanla elektrikli araçlar boyutlarına ve kullanım amaçlarına uygun olarak geliştirilmiştir. Üretim maliyetlerinin düşmesi ve araçların hızları giderek artmaya başlamıştır. Fosil yakıt rezervlerinin azalması ve petrolün küresel bir krize dönüşmesi nedeniyle son yıllarda daha fazla gündeme gelmiştir. Elektrikli araçlar için tek enerji kaynağı elektrik enerjisidir. Aracın çalışması, batarya gruplarında depolanan elektrik enerjisi ile elektrik motorunu tahrik eder.

Bunun bir sonucu olarak, Elektrikli araçların yapısında İYM yoktur. Pille çalışan bu elektrikli araçların en belirgin avantajlarından biri, hava kirliliğinin ve küresel ısınmaya neden olan emisyonların azaltılmasında önemli bir rolü olmasıdır. Esas olarak elektrik motoruyla çalışan elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu araçlar gibi araçları çalıştırmak için yanmaya ihtiyaç duymaz. Yanma olmadığından elektrikli araçların sera gazı emisyonu sıfırdır. Ancak elektrikli otomobillerin içten yanmalı motorlara göre kullanılmasının bazı dezavantajları vardır. Elektrik enerjisini depolamak için gereken pillerin yüksek maliyeti, elektrikli araba pillerinin yeniden şarj edilmesinin uzun sürmesi ve birçok modelin henüz seyahat mesafesinin düşük olması

gibi elektrikli araba kullanmanın dezavantajları olarak sayılabilir. Bu araçların üretimi ve pazar payı arttıkça, kullanıcılar için daha çekici hale getirilmesi önemlidir. Batarya gruplarının dolum süresi ve yol alma menzili doğal olarak bunlara engel olmaktadır. Akü paketi sayısının artırılması bir araç için daha fazla yol alma mesafesi sağlasa da akü paketi ağırlığının artması da bir sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle, elektrikli araç akülerinde güç ve enerji yoğunluğu en önemli konulardır. Bununla birlikte, araç sahipleri için maliyeti artıran özellikler, batarya kullanım ömrünün kısa ve belirli bir süre sonra batarya değişimi gerektirmesidir [45-46].

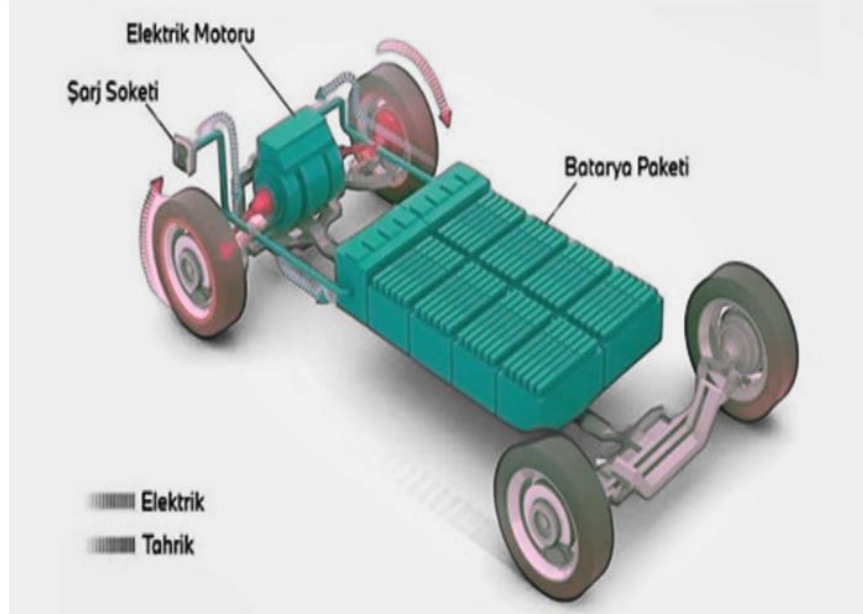
3.1.2.1 Bataryalı elektrikli araçlar

Bataryalı Elektrikli Araçların (BEV'ler) temel olarak, başka hiçbir kaynak (örneğin, hidrojen enerjisi bileşeni, içten yanmalı motor vb) olmadan, şarj edilebilir batarya paketlerinde saklanan, çalıştırmak için tek başına bileşik enerji tüketen bir elektrikli araçtır. BEV'ler, tahrik için içten yanmalı motor (ICE'ler) yerine elektrik motorunu ve sistemini kullanır. Fikri 18. yüzyılın başlarında başlayan elektrikli otomobiller ilk modellerin yavaş hareket etmesi, büyük olması ve üretim maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle ilk etapta kullanımı yaygınlaşmamıştır.

Zamanla elektrikli araçlar boyutlarına ve kullanım amaçlarına uygun olarak geliştirilmiş, üretim maliyetleri düşmüş ve araçların piyasaya girme hızı giderek artmaya başlamıştır. Bu araçlar, Fosil yakıt rezervlerinin azalması ve petrolün küresel bir krize dönüşmesi nedeniyle son yıllarda daha fazla gündeme geldikleri görülmüştür. Elektrikli araçlar, elektrik motoru, güç dönüştürücü ve batarya gibi enerji kaynağı içeren bir alt yapıya sahiptir. Her biri farklı özelliklere sahiptir. İçten yanmalı motorlu araçlara kıyasla bu altyapı çevreyi çok daha az kirletmekte ve bu da artan küresel ısınma tehditlerini azaltmaktadır[30]. Bataryalı elektrikli araçları (BEV'ler) geleneksel içten yanmalı motorlu (ICE) araçlarla karşılaştırıldığında, BEV'lerin kullanımı daha basit ve kolay olduğu hemen fark edilmektedir. EV'ler anında tork oluşturma ve sessiz bir sürücü deneyimi sağlamasıyla bilinir [47].

İlk araştırmalara göre elektrikli otomobiller, içten yanmalı motora sahip geleneksel otomobillerle rekabet edememiştir. Bunun nedeni elektrikli araçların akü menzilinde karşılaştığı zorluklardır. Ancak batarya teknolojisinin gelişmesi sonucunda elektrikli

araçlar içten yanmalı motorlu araçlarla rekabet edebilecek seviyeye ulaşmıştır. Elektrikli araçlar üzerinde yapılan kapsamlı çalışmalar ve araştırmalar sonucunda, çevresel ve ekonomik ihtiyaçlar nedeniyle kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Elektrik enerjisi ve pil depolama alanında halen var olan ve önümüzdeki dönemde çözülmesi beklenen çok sayıda sorun vardır[30,48]. Bu sorunlar arasında bataryanın maliyetinin yüksek olması, şarj süresinin uzun olması, batarya test ve güvenliği konusunda uzmanlaşmış merkezlerin bulunmaması, batarya ömrünün kısa olması ve şarj istasyonlarının azlığı yer almaktadır. Bu sorunlara rağmen elektrikli araçlara geçiş hızla devam etmektedir. Elektrikli arabalar, tekerlekleri hareket ettiren elektrik motoruna güç sağlamak için akülerinde depolanan enerjiyi kullanır. Batarya paketli elektrikli araçlarda diğer araçlarda bulunan yakıt deposu, içten yanmalı motor ve jeneratör bulunmamaktadır. Elektrik motorunu çalıştırmak için gereken elektrik enerjisi yalnızca akülerden elde edilmektedir. Piller boşaldığında yeniden şarj edilebilmektedir[49]. Bir kontrol ünitesi, motora verilen akımın miktarını ve yönünü kontrol eder. Çıkış dönme hareketi, elektrikli motor tarafından diferansiyel kutusuna iletilir. Bu kutu, gücü motordan aksa aktararak, araç döndükçe tekerleklerin farklı hızlarda dönmesine olanak tanır. Şekil 3.5 elektrikli aracın yapısını göstermektedir.



Şekil 3.5 Elektrikli aracın yapısı [49]

Bu elektrikli araçlar benzin, diesel veya diğer yakıtlarla çalışmadığından fosil yakıt tüketmez ve emisyon üretmez. İçten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında,

elektrikli araç bataryalarının şarjı sırasında üretilen zararlı emisyon miktarı oldukça düşüktür, ayrıca çok az gürültüyle çalışır.

3.2 Elektrikli Araçlarda Batarya Çeşitleri

Batarya, her biri belirli bir değerde voltaj (volt) ile sürekli bir akım ileten birkaç özdeş ikincil kimyasal hücreden oluşan bir düzendir. Tekrar şarj edilebilen sekonder batarya, bir yükü (elektrikli araba gibi) çalıştırmak için kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürdüğü gibi, şarj işlemi sırasında da elektrik enerjisini tekrar kimyasal enerjiye dönüştürebilmektedir.

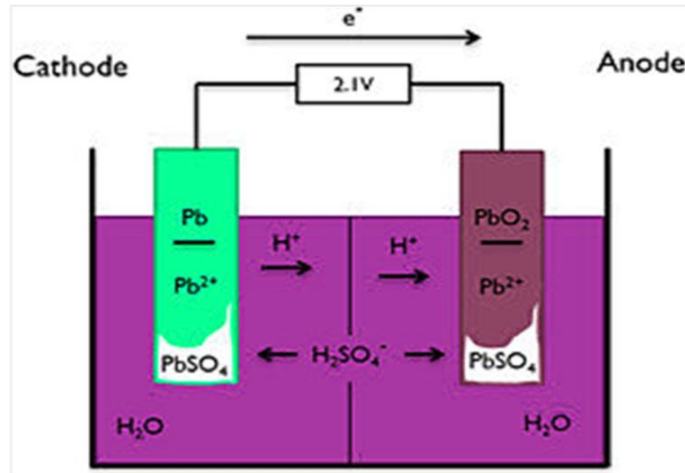
Batarya üç ana katmandan oluşur: iyonların indirgenmesinin gerçekleştiği pozitif elektrot olan katot ve iyonların oksidasyonunun meydana geldiği negatif elektrot olan anot, Elektrolit, iyonlara ayrılan ve daha sonra çözeltinin elektriği iletmesini sağlayan çözünmüş bir maddedir. Kurşun-asit, nikel metal hidrit (NiMH), nikel kadmiyum (NiCd), lityum iyon (Li-ion), lityum iyon polimer, lityum demir fosfat ve lityum sülfürv gibi birçok farklı batarya türü, elektrikli araçlarda kullanılır. Tablo 3.1'de genel olarak elektrikli araçlarda kullanılan ve halen geliştirilme aşamasında olan batarya teknolojileri ve özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 3.1 EA tarafından kullanılan çeşitli batarya türleri ve özellikleri [55]

Batarya Çeşitleri	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü (#)	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı
Pb-acid	2(V)	35(Wh/kg)	1000	Yok	-15, +50 (°C)
NiCd	1,2(V)	50-80(Wh/kg)	2000	Var	-20, +50 (°C)
NiMH	1,2(V)	70-95(Wh/kg)	<3000	Nadir	-20, +60 (°C)
LiPo	3,7(V)	130- 225(Wh/kg)	>1200	Yok	-20, +60 (°C)
Li-S	2.5(V)	350- 650(Wh/kg)	300	Yok	-60, +60 (°C)
LiFePO4	3.2(V)	120(Wh/kg)	>2000	Yok	-45, +70 (°C)
Li-ion	3,6(V)	118- 250(Wh/kg)	2000	Yok	-20, +60 (°C)

3.2.1 Kurşun-asit batarya

Kurşun-asitli aküler, elektrikli araçlarda kullanılan en eski akü türlerinden biridir ancak oldukça yaygındır. Bu tip pil birçok pratik uygulamada kullanılmaktadır ve Şekil 3.6'te iç yapısı gösterilmektedir. Akünün negatif elektrotları elementel kurşun (Pb) içerirken, pozitif plakalar yüklü durumda aktif madde olarak kurşun dioksit (PbO_2) içerir. Elektrotlar bir sülfürik asit elektrolitine (H_2SO_4) daldırılır. Negatif elektrotların kurşunu ve pozitif elektrotun kurşun dioksiti boşaltıldığında sülfürik asitle reaksiyona girer. Elektrotların üzerinde kurşun sülfat oluşur ve elektrolit çözülmüş sülfürik asidi kaybederek suya dönüşür. Kimyasal reaksiyon sırasında enerji açığa çıkar ve enerji eklendiğinde süreç tersine döner. Bu tip piller kullanılmadığı zaman ömrü kısalmır. Diğer bir dezavantaj ise kalite ve boyutun genellikle büyük olmasıdır. Bu da elektrikli otomobillerin ağırlığını ve enerji tüketimini artırılmaktadır [50-51].

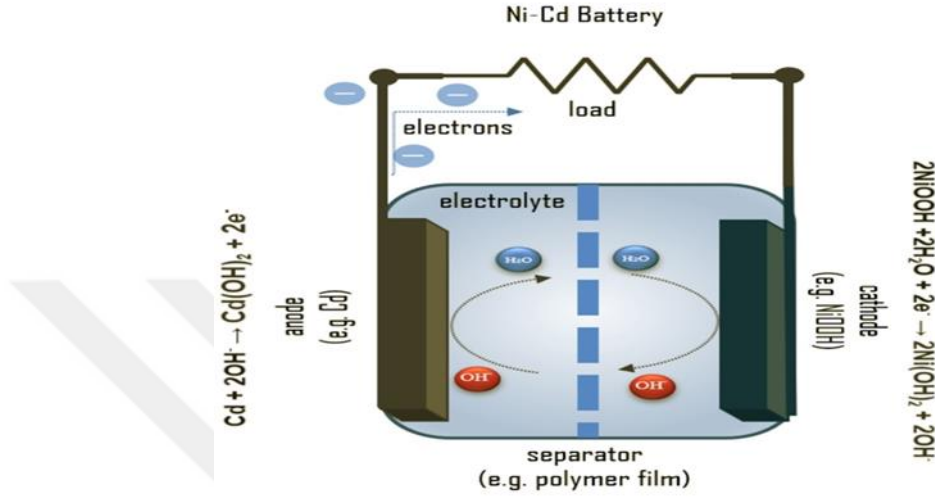


Şekil 3.6 Kurşun asit batarya [55]

3.2.2 Nikel kadmiyum batarya

Nikel-kadmiyum bataryalar, yüzlerce kez şarj edilebilme kapasitesi sayesinde uzun vadede oldukça güvenli ve ekonomik bir teknoloji sunan batarya türlerindendir. Bu bataryaların pozitif elektrotunda nikel hidroksit/nikel oksihidroksit ($Ni(OH)_2/NiOOH$), negatif elektrotunda ise kadmiyum hidroksit ($Cd/Cd(OH)_2$) kullanılmaktadır. Elektrolit olarak potasyum hidroksit (KOH) içeren bir sulu çözeltiden faydalanılır. Nikel-kadmiyum bataryalar, elektrikli araçlar ve çeşitli diğer uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu bataryalar, kurşun-asit bataryalarına kıyasla daha

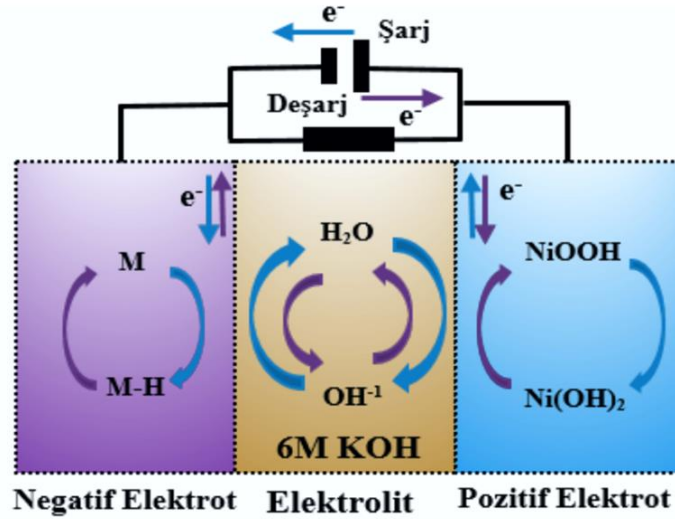
yüksek enerji yoğunluğu, yüksek şarj ve deşarj akımı, uzun ömür ve etkili uzun süreli depolama imkanları sunar. Ayrıca, darbelere karşı yüksek dayanıklılığa sahiptir. Bununla birlikte, nikel-kadmiyum bataryaların hafıza etkisi, düşük şarj/deşarj verimliliği ve yüksek kendi kendine deşarj gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır [49]. Şekil 3.7 nikel-kadmiyum bataryanın yapısını göstermektedir.



Şekil 3.7 Kurşun asit batarya

3.2.3 Nikel metal hidrit batarya

Nikel-kadmiyum bataryaların yerine nikel-metal hidrat (NiMH) bataryalar, zehir olmadıkları ve nikel-kadmiyum bataryalardan daha iyi performans gösterdikleri için son zamanlarda birçok elektrikli araç uygulamasında kullanılmaktadır. Nikel-kadmiyum bataryalara kıyasla nikel metal hidrat bataryalar daha hızlı şarj edilebilir ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Her iki batarya türü de benzer şekilde hafıza etkisine sahip olmasına rağmen, nikel-metal hidrit bataryalar genellikle daha kompakt bir yapıya sahiptir. Nikel-metal hidrit bataryaların yapısı, nikel hidroksit aktif maddesini içeren pozitif elektrot ve potasyum hidroksit ile metal hidrit karışımından oluşan negatif elektrottan oluşur. Nikel-metal hidrit bataryalar hızlı şarj özellikleri nedeniyle soğutma gerektirebilir; bu sebeple batarya kutularında fanlar bulunabilmektedir. Bu bataryaların daha büyük versiyonları elektrikli araçlara daha uygunken, ticari olarak daha küçük versiyonları da mevcuttur [52]. Şekil 3.8 Nikel metal hidrat bataryanın yapısını göstermektedir.

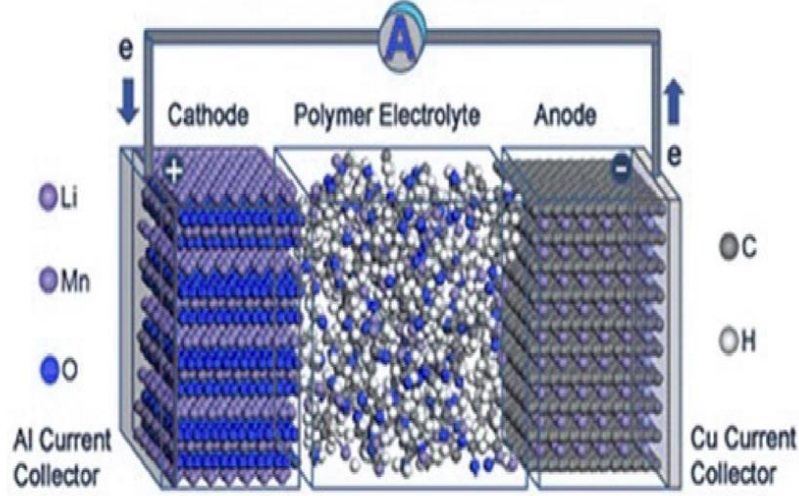


Şekil 3.8 Nikel metal hidrat batarya [55]

3.2.4 Lityum iyon polimer batarya

Lityum iyon polimer batarya, elektrolitin bir polimer katkı maddesi ile "plastikleştirildiği" veya "jelleştirildiği" bir lityum iyon bataryası türüdür. Jelleşmiş elektrolit kullanılsa da lityum iyon polimer (LiPo) batarya, aslında lityum iyon bataryasıyla aynı temel prensiplere sahiptir. Her iki sistem de aynı katot ve anot malzemelerini kullanmakta ve benzer miktarda elektrolit içermektedir. Negatif elektrot katı lityumdan, pozitif elektrot ise metal oksitten üretilir. Kimyasal reaksiyon sonucunda lityum, metal oksit ile birleşerek lityum metal oksit oluşturur ve bu süreçte enerji açığa çıkar. LiPo bataryalar genellikle yumuşak bir paket veya kese şeklinde olup, bu özellikleri sayesinde daha hafif ve daha esnek hale gelirler. LiPo bataryalar, biraz daha yüksek özgül enerji sunar ve geleneksel lityum iyon bataryalardan daha ince üretilir. Şekil 3.9 bu bataryanın yapısını göstermektedir [53].

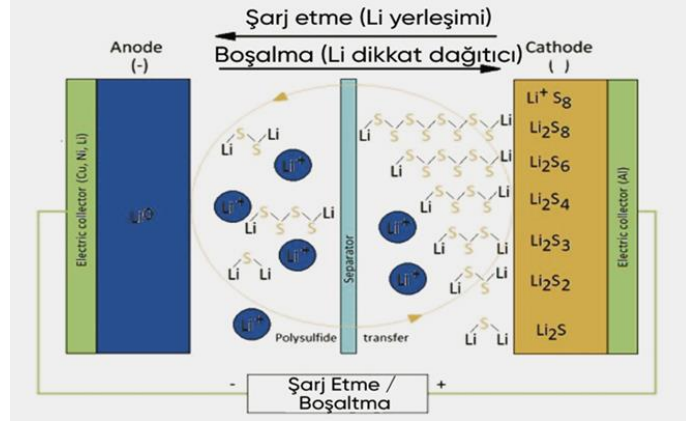
lityum polimer pil



Şekil 3.9 Lityum iyon polimer batarya [55]

3.2.5 Lityum sülfür batarya

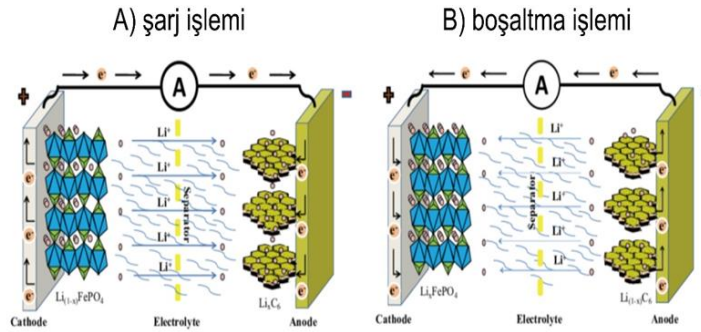
Lityum sülfür (Li-S) bataryalar, anot olarak lityum metali ve katot olarak kükürt kullanarak enerji depolar. Bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu ile dikkat çeker ve düşük kendi kendine deşarj oranına sahiptir. Bu özellikler, lityum sülfür bataryalarını enerji depolama sistemlerinde cazip bir seçenek haline getirmektedir. Kükürt, nikel ve kobalt gibi diğer metallerden daha bol bulunabilir ve daha düşük maliyetli olduğu için, lityum sülfür bataryaların maliyet etkinliğini artırmaktadır. Bununla birlikte, lityum sülfür bataryalarının önemli bir dezavantajı mevcuttur. Zamanla polisülfür iyonlarının oluşumu, bataryanın verimliliğini ve kullanım ömrünü azaltabilir. Polisülfür iyonları, bataryanın performansını olumsuz yönde etkileyebilir; çünkü bu iyonlar bataryanın iç yapısında birikerek elektrotların kapasitelerini düşürebilir ve genel verimliliği azaltabilir [54]. Şekil 3.10, lityum sülfür bataryasının yapısını detaylı bir şekilde göstermektedir.



Şekil 3.10 Lityum sülfür batarya [55]

3.2.6 Lityum demir fosfat batarya

Bu Lityum demir fosfat batarya, lityum bazlı batarya türlerinden biridir ve pozitif yüklü elektrot malzemesi olarak lityum demir fosfat kullanmaktadır. Bu bataryalar, yüksek güvenlik, yüksek dönüşüm oranı ve yüksek enerji yoğunluğu gibi avantajlar sunmaktadır. Ancak, lityum iyon pillere kıyasla performansı daha düşüktür. Şekil 3.11, lityum demir fosfat bataryanın kimyasal bileşimini detaylı bir şekilde göstermektedir [55].

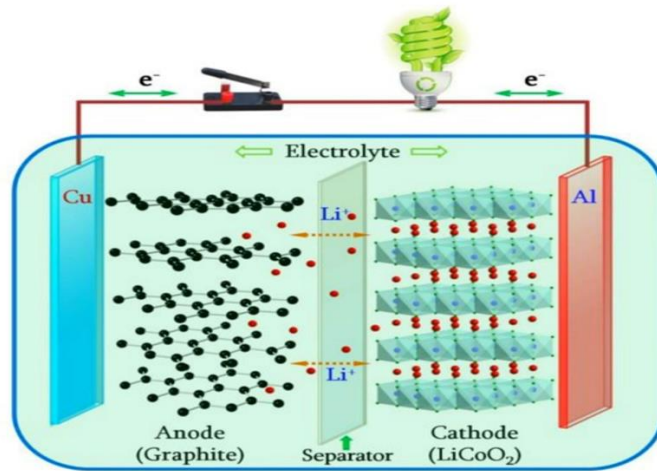


Şekil 3.11 Lityum demir fosfat batarya [35]

3.2.7 Lityum iyon batarya

Lityum-iyon bataryalar, 1990'lı yıllarda piyasaya sunulmuş olup, o tarihten bu yana önemli bir gelişim göstermiştir. Bu gelişim, onları enerji depolama teknolojilerinin en ileri örneklerinden biri ve batarya teknolojisi alanında önde gelen seçeneklerden biri haline getirmiştir. Lityum-iyon bataryalar, elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar,

taşınabilir elektronik cihazlar ve çeşitli diğer uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Lityum-iyon bataryalar, yüksek spesifik enerji, uzun ömür, düşük kendi kendine deşarj oranı, hafıza etkisi olmaması ve yüksek şarj verimliliği gibi bir dizi olağanüstü avantaja sahiptir. Bu avantajlar, pozitif yüklü elektrotlar olarak lityum metal oksitlerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. En yaygın kullanılan oksitler arasında lityum kobalt oksit (LiCoO_2), lityum nikel oksit (LiNiO_2) ve lityum mangan oksit (LiMn_2O_4) yer almaktadır. Bu malzemeler, bataryaların enerji yoğunluğu ve yüksek voltaj açısından performansını artırmaktadır. Lityum-iyon bataryalar, lityum iyonlarının pozitif elektrot (anot) ile negatif elektrot (katot) arasında organik elektrolit aracılığıyla hareket etmesi prensibiyle çalışır. Boşaltma süreci sırasında lityum iyonları anottan katota hareket ederken, şarj sürecinde bu hareket tersine döner ve iyonlar katottan anoda geri döner. Anot ve katot, çok katmanlı bir yapı ile tasarlanmış olup, bu yapı iyonların bu katmanlar arasında verimli bir şekilde hareket etmesini sağlar. Mekanik açıdan, lityum-iyon bataryalar, en dayanıklı batarya türlerinden biri olarak kabul edilmekte ve diğer batarya türlerine kıyasla daha az bakım gerektirmektedir. Bu bataryalar, taşınabilir elektrokimyasal enerji depolamanın temel kaynağı olarak kabul edilmekte olup, performans iyileştirmeleri ve yenilikçi stratejiler ile gelecekteki uygulama alanlarının genişletilmesinde önemli bir etkiye sahip olacaktır. Lityum-iyon bataryalarının, yeni malzemeler ve yenilikçi stratejilerin geliştirilmesine yönelik sürekli araştırmalar sayesinde, önümüzdeki yıllarda yaşam koşulları üzerinde önemli bir etki yaratmaya devam etmesi beklenmektedir. Şekil 3.12 kimyasal bileşimini göstermektedir [7,25,50].



Şekil 3.12 Lityum iyon batarya [55]

3.3 Elektrikli Araç Bataryalarının Modellemesi

Batarya modelleme, elektrikli araç teknolojisinin geliştirilmesi, enerjinin verimli kullanımının sağlanması ve batarya ömrünün uzatılması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Batarya modelleme, termal davranışın tahmin edilmesinden akü tasarımlarının optimize edilmesine kadar geniş bir yelpazede bilinçli kararların alınmasına ve ilerleme sağlanmasına olanak tanır. Batarya modelleme, batarya geliştirme süreçlerinin optimize edilmesi ve batarya sistemi davranışının izlenmesi bakımından son derece önemlidir. Bu süreç, bataryaların davranışlarını ve işlevlerini modellemek amacıyla dijital batarya temsillerinin geliştirilmesini kapsar ve elektrikli araçların enerji depolama kapasitesinin ve performansının anlaşılması için kritik bir aşamadır. Bu modeller, hücre kimyasını, batarya tasarımını, sıcaklık etkilerini ve diğer ilgili faktörleri içerir. Elektrikli araçların menzilinın doğru bir şekilde tahmin edilmesi, uygun modelleme tekniklerinin kullanılmasına bağlıdır.

Çeşitli modelleme teknikleri, farklı gerçeklik düzeylerinde ve farklı modelleme felsefeleri kullanılarak uygulanmaktadır. Batarya modeli, tüm araç modelinin bir parçası olarak elektrikli bir aracın menzilinın hesaplanmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Bataryanın şarj durumunun (SOC) doğru bir şekilde bilinmeden, elektrikli bir aracın menzilinı tahmin etmek mümkün değildir. Bu nedenle, elektrikli araç uygulamaları için batarya modellemenin özel koşullarında SOC tahmininin, batarya özelliklerinin açıklanmasından daha önemli olduğu anlaşılmaktadır. SOC tahminine ek olarak, elektrikli araç batarya modellerinin uygulanmasıyla ilgili iki önemli sorun daha bulunmaktadır. Birincisi zaman faktörüdür; batarya yönetim sistemlerinde (BMS) gerçek zamanlı hesaplamalara ihtiyaç duyulduğundan, karmaşık ve doğru modeller yerine hızlı modeller tercih edilmektedir. İkincisi ise yüksek deşarj oranlarıyla ilgilidir. Düşük deşarj hızlarında iyi çalışan model basitleştirme yöntemleri, elektrikli araç uygulamaları için uygun olmayabilir. Literatürde, elektrikli araç batarya modelleme çalışmaları genellikle iki ana gruba ayrılmaktadır. Birinci grup, model basitleştirme tekniklerinin uygulandığı elektrokimyasal modelleme yaklaşımını kullanırken, ikinci grup elektrik devre modelleme yaklaşımına veya bataryalar için eşdeğer devrelerin modellenmesine odaklanmaktadır [56].

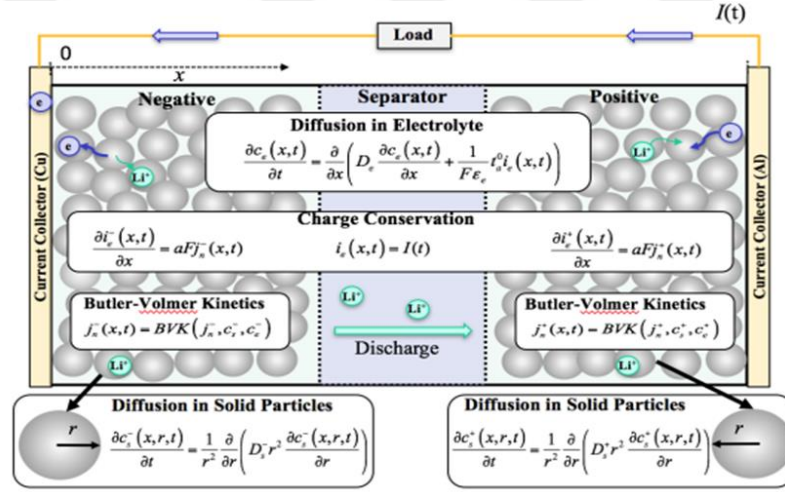
3.4 Batarya Modelleri

Elektrikli araçların ticarileştirilmesinde karşılaşılan en büyük engellerden biri, batarya paketlerinin yüksek maliyetidir. Bu sorunun çözülmesi için enerji yoğunluğunun artırılması, malzeme maliyetlerinin düşürülmesi gibi çeşitli stratejiler değerlendirilebilir. En uygun çözümü bulmak için bir yaklaşım, batarya ile çalışan sistemlerin tasarımında vazgeçilmez bir araç haline gelen batarya modellerinin geliştirilmesidir. Batarya modelleme, çeşitli stres faktörlerinin (örneğin, sıcaklık, deşarj hızı) etkisi altında bataryanın şarj/deşarj davranışını, geçici tepkilerini ve bataryanın sağlık durumunu (bozulma durumu) hakkında bilgi sağlar. Bu modeller, tasarımcıların bataryayı uygun şekilde boyutlandırmalarına ve batarya performansını tahmin etmelerine olanak tanır. Ayrıca, batarya modelleri çevrimiçi kendi kendine öğrenme performansı ve batarya yönetim sistemlerinde (BMS) şarj durumu (SOC) tahmini için de kullanılmaktadır. Aşağıdaki bölüm, otomobil uygulamalarında yaygın olarak kullanılan batarya modellerini incelemektedir [34].

3.4.1 Elektrokimyasal modeller

Elektrokimyasal modelleme, bataryaların, özellikle elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon bataryaların anlaşılmasında ve performansının iyileştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu modeller, bataryada meydana gelen kimyasal süreçlere dayalı olarak batarya işlemlerini ayrıntılı bir şekilde açıklayarak, bu modelleri en doğru batarya modelleri arasında konumlandırmaktadır. Ancak son derece ayrıntılı açıklamalar, bu modelleri karmaşık ve yapılandırmayı zorlaştırmaktadır. Doyle, Fuller ve Newman, lityum ve lityum iyon bataryalar için bir elektrokimyasal model geliştirmiş ve bu modeller, konsantre çözelti teorisi ile gözenekli elektrot teorisi gibi fiziksel yasaları kullanmıştır. Elektrokimyasal pil modelleri, pilin iç elektrokimyasal dinamiği hakkında kapsamlı bilgi sağlayabilir. Bu modeller, bir dizi birleşik kısmi diferansiyel denklemden (PDE'ler) oluşur ve bu denklemlerin çözümü, gerilim ve akımı zamanın bir fonksiyonu olarak verirken, elektrolit ve elektrot fazlarındaki potansiyeli, elektrolitteki tuz konsantrasyonunu, reaksiyon hızını ve akım yoğunluğunu zamanın ve konumun bir fonksiyonu olarak belirler. Dualfoil adlı Fortran programı, bu model kullanılarak bir lityum batarya simüle edilir. Program, kullanıcı tarafından sağlanan yük profilini temel alarak tüm batarya özelliklerinin zaman içindeki değişimini gösterir. Ayrıca, yük profilinin yanı sıra, kullanıcının akü

elektrotunun kalınlığı gibi 50'den fazla parametreyi belirtmesi gerekmektedir. Elektrolitin tuz akım yoğunluğu ve sıcaklık kapasitesi de modellenebilir. Bununla birlikte, program son derece doğrudur ve genellikle deneysel sonuçlar yerine diğer modellerle karşılaştırmalar yapmak için kullanılır. Bu modellerin hassasiyeti ve dayanıklılığı büyük bir avantaj teşkil etmekle birlikte, ayrıntılı bilgi gerektirmesi, yapılandırılmalarının zor olması, hesaplamaların zaman alıcı olması, esnek olmamaları ve çok sayıda diferansiyel denklemin çözülmesini gerektirmesi nedeniyle sistem düzeyinde modelleme veya çalışma zamanı uygulamaları için uygun olmamaktadır. Bu modeller, pil tasarımı için uygundur ancak uzun vadeli dinamik simülasyon çalışmalarına genellikle uygun değildir [56-58]. Şekil 3.13 elektrokimyasal modeli göstermektedir.



Şekil 3.13 Elektrokimyasal model [57]

3.4.2 Eşdeğer devre modeli

Geçmişteki elektrokimyasal modellerin karmaşıklığı ve bilgisayarların sınırlamaları, araştırmacıları elektrik devre modelleme veya eşdeğer devre (ECM) modelleme olarak bilinen alternatif bir modelleme yaklaşımını araştırmaya yöneltmiştir. Bu modelleme yaklaşımında, hücre içindeki elektrokimyasal olaylar ile devre elemanları arasında doğrudan bir korelasyon kurma amacı güdülmektedir. Günümüzde, modellerin mikroişlemcilerle entegre edilmesi ve gerçek zamanlı olarak kesin sonuçlar sunması için model doğruluğu ve karmaşıklığını dengeleme büyük önem taşımaktadır. ECM'ler, doğrusal olmayan elektrokimyasal olayları kaydetme yeteneğine sahip olmasına rağmen, uzun elektrokimyasal süreç hesaplamalarını ortadan kaldırma potansiyeline sahiptirler. Bu özellikleri, ECM'leri güç aktarma organlarının

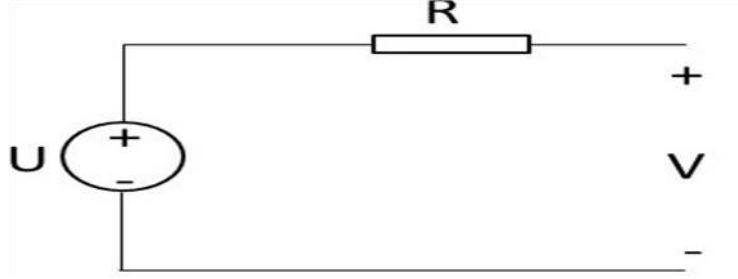
elektrifikasyonu gibi sistem düzeyinde modelleme için ideal hale getirir. Başka bir deyişle, yeterince doğru ve gereksiz derecede karmaşık olmayan modellere sahip olmak önemlidir. Elektrik mühendisleri, devre modellerinin daha kolay anlaşılması ve diğer devre cihazlarıyla birleştirilebilmesi nedeniyle tercih etmektedirler. EV sistem entegrasyonu, kontrolü, optimizasyonu ve EV'lerin şebeke ara bağlantısına ilişkin çalışmalar için birleştirilmiş parametre modelleri iyi karşılanmaktadır. ECM modelleme, özellikle EV uygulamaları için en yaygın pil modelleme yaklaşımlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Daha az karmaşıklığa sahip bu modeller, çeşitli uygulamalarda ve farklı pil türlerinde kullanılabilmektedir. Elektriksel eşdeğer devre Modelleri (ECM'ler), ideal voltaj kaynakları, dirençler, kapasitörler gibi elektrikli bileşenler üzerine inşa edilen pil davranışı simülasyon modelleridir.

ECM modellerinin çoğu, nihai çıktılarınizi hesaplama sürecinin iki farklı faaliyete dayandığı yarı deneysel modellerdir. İlk adım karakterizasyon olarak adlandırılır ve sistemin başlangıç durumlarını ve değerlerini (enerji, kapasite, voltaj duyarlılığı ve OCV gibi) hesaplamayı içerir. İkinci adım, modelin parametrelerini belirlemektir. ECM modellerinin tasarımı, elde edilmesi öngörülen çıktı ve doğruluğa bağlı olarak kompozisyon açısından büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Gerilim performansı, iç direnç, SoC – OCV ilişkileri, SoH ve T gibi temel akü özellikleri ve verileri, akü ECM modelinin çıkışlarından toplanmaktadır. Ayrıca, pilin farklı sabit veya geçici performanslarını simüle etmek için gereken simülasyon süresi ve hesaplama gücü, elektrokimyasal modellere göre daha düşüktür. ECM modellerinin bu özelliği, onları kabul edilebilir doğruluk ve daha düşük hesaplama gücü ile hızlı hesaplamalar için daha uygun hale getirir. Bu nedenle, bir Batarya Yönetim Sistemi (BMS) sisteminde kullanım ve uygulama için idealdirler. ECM'nin çeşitli modelleri bulunmaktadır ve pil davranışları, farklı elektrik elemanlarına sahip eşdeğer elektrik devreleri kullanılarak temsil edilebilir. Bu çalışmada, ECM pil hücrelerini modellemek için kullanılmıştır [59-61].

3.4.2.1 0 RC Devre modeli

Şekil 3.14, ideal bir voltaj kaynağı U , hücre iç direnci R ve terminal voltajı V 'den oluşan en basit ve en temel 0 RC eşdeğer devre modelini göstermektedir. Bu model, hızlı hesaplamalar için uygun sonuçlar sağlamakta olup, belirlenmesi gereken tek

parametre iç direnç R 'dir. Bu değerler, açık devre ölçümlerinden ve bataryaların tamamen şarj olduğu durumlarda yük bağlıken yapılan ölçümlerden elde edilebilir. Bununla birlikte, bu model bataryanın dinamik tepkilerini yeterince doğru bir şekilde yansıtamamaktadır [62-63].



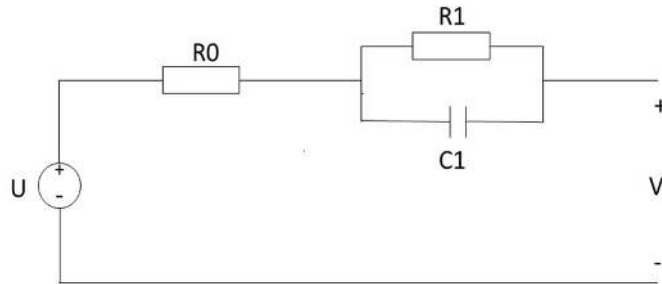
Şekil 3.14 0 RC Devre Modeli

3.4.2.2 1 RC Devre modeli

Şekil 3.15, ideal voltaj kaynağı U , hücre iç direnci R_0 , terminal voltajı V ve bir RC elemanından (R_1 ve C_1) oluşan 1 RC devre modelini göstermektedir. Eklenen RC elemanı, bu modelin 0 RC modeline kıyasla daha üstün dinamik davranış sergilemesini sağlayan bir zaman sabiti katkısı sunmaktadır [63].

$$G(S) = \frac{R_0 + SR_0R_1C_1 + R_1}{1 + SR_1C_1} \quad (3.1)$$

$G(S)$, Laplace etki alanında sistemin girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan transfer fonksiyonunu temsil eder. R_0 , hücrenin veya pilin terminal voltajını etkileyen iç direncini temsil eder. S , Laplace dönüşümlerinde kullanılan kompleks frekans değişkenini temsil eder. R_1 ayrıca RC_1 elemanındaki direnci temsil ederken, C_1 ise RC_1 elemanındaki kapasitansı ifade eder.



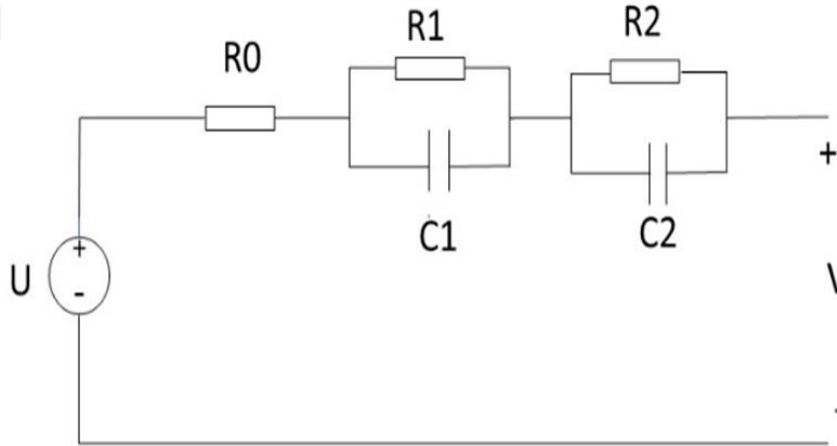
Şekil 3.15 1RC devre modeli

3.4.2.3 2 RC Devre modeli

Şekil 3.16, ideal voltaj kaynağı U , hücre iç direnci R_0 , terminal voltajı V ve iki RC dalını ($R_1 + C_1$ ve $R_2 + C_2$) içeren 2RC devre modelini göstermektedir. İki RC dalı, iki farklı zaman sabiti sağladığından, bu model 1RC devre modeline kıyasla bataryanın daha hassas bir dinamik davranışını temsil edebilir [64].

$$G(S) = \frac{S^2 R_0 R_1 R_2 C_1 C_2 + S R_1 R_2 C_1 + S R_0 R_1 C_1 + S R_2 C_2 + S R_1 R_2 C_2 + R_0 + R_1 + R_2}{S^2 R_1 R_2 C_1 C_2 + S R_1 C_1 + S R_2 C_2 + 1} \quad (3.2)$$

$G(S)$, Laplace dönüşümünde sistemin giriş ve çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan transfer fonksiyonunu ifade eder. R_0 , hücrenin veya bataryanın terminal voltajını etkileyen iç direnci temsil eder. S , Laplace dönüşümlerinde kullanılan kompleks frekans değişkenidir. R_1 , RC1 devresindeki direnci; C_1 ise RC1 devresindeki kapasitansı belirtir. Benzer şekilde, R_2 , RC2 devresindeki direnci; C_2 ise RC2 devresindeki kapasitansı ifade eder.

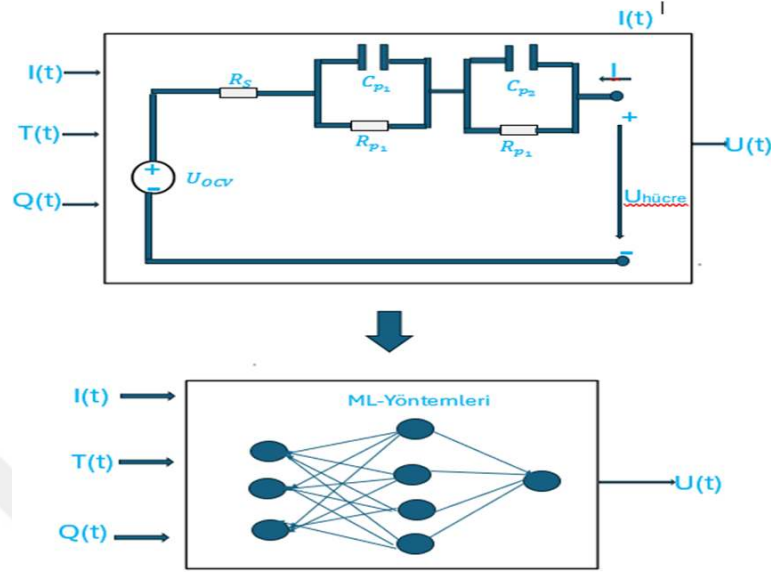


Şekil 3.16 2RC devre modeli

3.4.3 Sinir ağı modelleri

Sinir ağı modelleri, batarya araştırma ve yönetiminde kritik bir öneme sahiptir. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık temelli modeller, girdiler ile çıktılar arasındaki doğrusal olmayan ve karmaşık ilişkileri tanımlayabilen modellerdir. Bu tür modellemeler, deneysel eğitim verilerine ihtiyaç duyduğundan, gerçek zamanlı uygulamalar için

yüksek hesaplama gücü ve zaman gerektirmektedir. Şekil 3.17, sinir ağı modellerini görsel olarak temsil etmektedir.

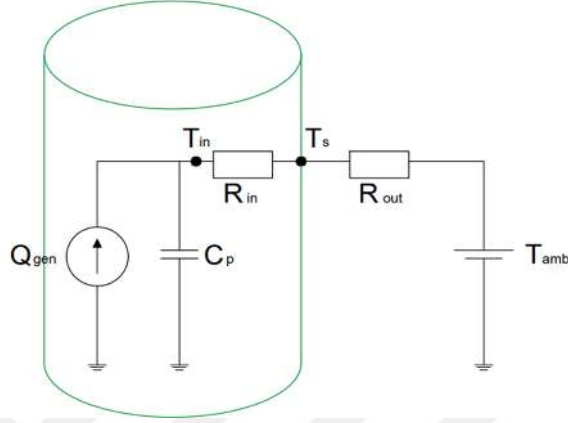


Şekil 3.17 Sinir ağı modelleri

3.4.4 Termal model

Elektrikli araçlar bağlamında, bataryaların termal davranışını analiz etmek ve tahmin etmek amacıyla termal modeller önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Bataryanın termal modelinin oluşturulmasındaki temel hedef, batarya içindeki sıcaklık dağılımını geliştirebilmek için ısı üretimi ve enerjinin korunumu ile ilgili denklemleri belirlemektir. Termal model, bataryaların içindeki ısı transferinin ve iç sıcaklık dağılımının tahmin edilmesine odaklanmaktadır. Ancak bağımsız termal modeller genellikle, termal davranışı etkili bir şekilde tahmin etmek için gereken doğruluk seviyesinden yoksun olabilmektedir. Bu nedenle, bu modeller sıklıkla elektrokimyasal modellerle veya benzer devre modelleriyle birleştirilir. Batarya termal modelleri (BTM'ler), şarj ve deşarj işlemleri sırasında meydana gelen sıcaklık değişiklikleri ve ısı üretimine özel olarak odaklanan batarya termal özelliklerini incelemek üzere geliştirilmiştir. Batarya içindeki ısı üretimi, iç direnç, elektrokimyasal reaksiyonlar, hücre dengesizliği ve bu reaksiyonlarla ilişkili entropi değişimi gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bataryanın termal davranışını yönetmek, performans, verimlilik, güvenlik ve uzun ömür açısından doğrudan etkiye sahip olduğundan son derece önemlidir. Temel bir batarya termal modeli genellikle ısı üretiminin bir akım kaynağı olarak temsil edildiği eşdeğer bir termal devreyi içerir. Bu modelde, malzemelerin ısı

direnci dirençlerle, ısı kapasitesi ise kapasitörlerle ifade edilir. Durum değişkenleri genellikle bataryanın farklı bölgelerindeki sıcaklıkları kapsar. Şekil 3.18, radyal yönde ısının aktığı bir silindirik batarya için basitleştirilmiş bir termal eşdeğer devreyi göstermektedir.



Şekil 3.18 Silindirik bir bataryanın basit termal eşdeğer devresi [65]

Batarya içindeki Q_{gen} , bir akım kaynağı olarak işlev görerek ve diğer bileşenlere akım ileterek ısı üretir. C_p , bataryanın dahili termal kapasitesini temsil eder. R_{in} , ısı kaynağından batarya yüzeyine kadar olan termal direnci gösterir ve bu, ısının batarya içinde nasıl aktığını belirler. R_{out} , bataryanın yüzeyinden çevreye olan termal direnci belirtir; genellikle çevredeki ortam hava olduğunda konvektif ısı transferini dikkate alır. T_{amb} , bataryayı çevreleyen ortamın sıcaklığını voltaj kaynağı olarak modelleyen bir parametredir. Bu termal model, bataryanın hem iç sıcaklığını (T_{in}) hem de yüzey sıcaklığını (T_s) tahmin edebilme kapasitesine sahiptir [65-67].

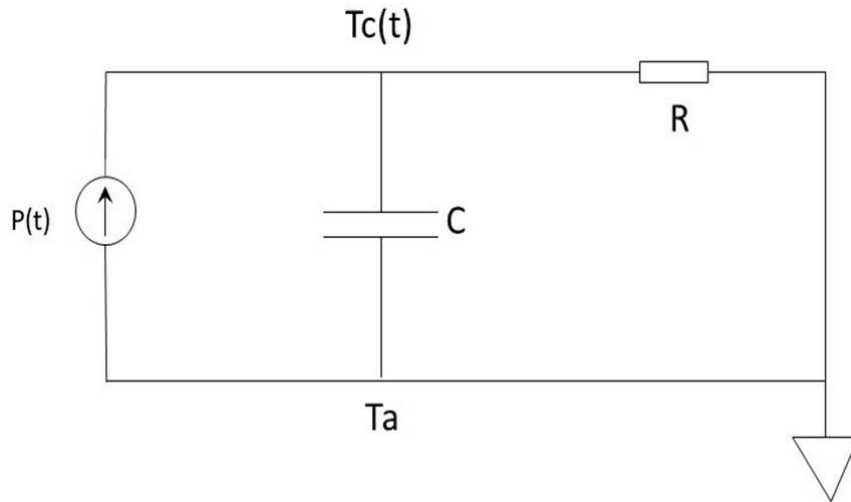
3.5 Lityum İyon Bataryaların Termal Modellemesi

Lityum iyon bataryaların termal modellemesi, şarj ve deşarj süreçlerinde ısı üretimi, dağılımı ve iletimi gibi temel parametreleri anlamak için gereklidir. Bu parametreler arasında ısı kapasitesi, yoğunluk ve termal iletkenlik önemli rol oynamaktadır. Termal gradyanlar, özellikle elektrikli araçlar gibi yüksek performans gerektiren uygulamalarda batarya performansını etkileyen elektrokimyasal reaksiyonları doğrudan etkiler. Dolayısıyla, optimum batarya tasarımı ve verimli enerji sistemlerinin geliştirilmesi için bataryadaki termal, elektrokimyasal ve elektriksel süreçler arasındaki karmaşık etkileşimlerin doğru bir şekilde modellenmesi kritik öneme

sahiptir. Performans ve güvenliğini korumak adına aşırı ısınmayı ve termal kaçışları önlemek için etkili bir ısı yönetimi şarttır. Elektrokimyasal ve elektriksel süreçler termal mekanizmaları tetikleyebilir; bu nedenle iyi bir ısı yönetimi, aşırı ısınma ve termal kaçışları önlemek için gereklidir. Son yıllarda yapılan 3D analizler gibi modelleme gelişmeleri, termal yönetim sistemlerinin daha iyi tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Çeşitli çalışmalar, termal analizleri ilerletmekte ve farklı modelleme teknikleri ile sıcaklık ve iletkenlik değişimleriyle ilgili sonuçlar sunmaktadır. Ampirik termoelektrik modelleme ve tahmine dayalı yöntemler, elektrikli araçlar da dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda tasarım, güvenilirlik ve performansın iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu yöntemler, batarya davranışının daha iyi anlaşılmasını ve doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlar [65].

3.5.1 Toplu parametre modeli

Toplu parametre modeli, termal modeli tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu durum, fiziksel deneyde mevcut bulunan geçici ısı transferinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.19, birleştirilmiş parametreler kullanılarak oluşturulan termal modeli göstermektedir. Burada, P pilde üretilen ısıtma gücünü, C pilin ve kurulumun termal kapasitesini, R yalıtımın termal direncini, T_c pilin sıcaklığını ve T_a ortam sıcaklığını temsil etmektedir.



Şekil 3.19 Tipik bir toplu parametrelili termal model

Çevre ile ısı alışverişi yapan homojen bir cisim için ısı denkleminin çözümünden, aşağıdaki denklemle temsil edilen iç hücre sıcaklığı hesaplanabilir.

$$C \frac{dT_c(t)}{dt} = p + \frac{T_a - T_c(t)}{R} \quad (3.3)$$

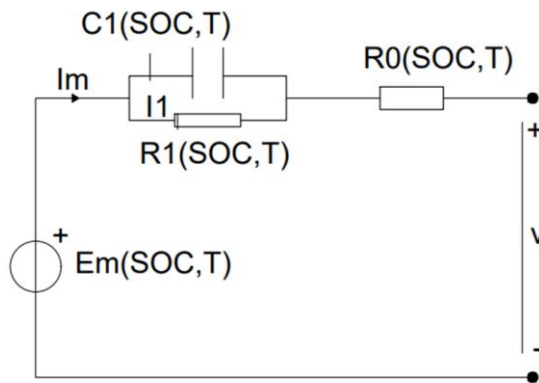
Adım giriş P için, (3.3) 'in çözümü şu şekildedir:

$$T_c(t) = PR \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) + T_a \quad (3.4)$$

Batarya sıcaklığı $T_c(t)$ 'nin üstel denkleme karşılık geldiği görülebilir. Denkleme (3.4) göre, bu durum, sabit durum sıcaklığı ile başlangıç ortam sıcaklığı arasındaki farkın yalıtımın R ısı direnci tarafından belirlendiğini, buna karşın geçici pil sıcaklığının başlangıçta tamamen termal kapasite C ve R tarafından belirlendiğini ifade etmektedir [63].

3.5.2 Eşdeğer devre modeli parametreleri

Şekil 3.20 'de gösterilen tek bir RC blok modeli, endüstriyel öneme sahip pek çok problemi ele alabilir. Bu çalışmada sunulan tahmin stratejileri, diğer eşdeğer devre modellerinin topolojilerine uygulanabilir niteliktedir ve genel bir geçerliliğe sahiptir. Şekil 3.20'deki eşdeğer devre modelinin seçimi, hücrenin sıcaklığına ve şarj durumuna (SOC) bağlı olarak değişen E_y , R_0 , R_i ve C_i olmak üzere dört bağımsız parametrenin tahmin edilmesini içermektedir. Şekil 3.20'deki eşdeğer devrenin her bir elemanı, SOC ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Özellikle:



Şekil 3.20 Kullanılan model, n=1 [52]

$$R_0 = R_0(SOC, T) \quad (3.5)$$

$$R_1 = R_1(SOC, T) \quad (3.6)$$

$$C_1 = C_1(SOC, T) \quad (3.7)$$

$$E_m = E_m(SOC, T) \quad (3.8)$$

SOC bataryanın şarj durumunu, R_0 ise hücrenin iç direncini temsil eder. T iç hücre sıcaklığını temsil eder. R_1 , RC_1 dalındaki direnci temsil eder ve C_1 , RC_1 dalındaki kapasitansı temsil eder. Ayrıca E_m ana dalın elektromotor kuvvetini temsil eder.

Parametre tahmin rutini, farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir dizi deşarj deneyi için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu dört eşdeğer devre elemanının her biri için iki boyutlu arama tabloları sağlamaktadır [68].

3.5.3 Hücre kapasitesinin ve şarj durumunun etkileyen faktörleri

Hücre kapasitesi, çıkarılabilir yük olarak da bilinen, birçok kritik faktörden etkilenir:

- Ortalama hücre deşarj akımı ve deşarj süresi

Bir hücrenin depolanan enerjisini boşaltma hızı, kapasitesini doğrudan etkiler. Genel kapasite, daha yüksek ortalama deşarj akımları veya daha uzun deşarj süreleri ile değişkenlik gösterebilir. Bu durum, artan iç direnç ve ısı üretimi ile birleşerek, yüksek deşarj akımlarına maruz kalan hücrelerin kapasitesinde azalmaya yol açabilir.

- Hücre iç sıcaklığı:

Sıcaklık, hücre performansını önemli ölçüde etkiler. Sıcaklık arttıkça kapasite düşme eğilimi gösterir. Yüksek sıcaklıklar, hücre içindeki kimyasal reaksiyonları hızlandırarak, hücrenin kendi kendine deşarj oranını artırır ve bu durum toplam kapasitenin azalmasına neden olur.

- Deşarj sonu voltaj değeri

Hücrenin tamamen boş olduğu düşünüldüğünde, hücrenin son deşarj gerilimi değerini belirler. Düşük voltajda boşaltılan hücreler, geri dönüşü olmayan kimyasal reaksiyonlar nedeniyle kapasitelerini kaybedebilir.

- Elektrolit sıcaklığı:

Hücredeki iyonların hareketi ve reaksiyon hızı, elektrolitin sıcaklığından etkilenir. Kapasite aşırı sıcaklıklarda (çok sıcak ve çok soğuk) etkilenebilir.

- Hücrenin şarj-deşarj (yaşlanma) döngüsü sayısı:

Zamanla hücre malzemeleri bozulur ve kapasitelerinde kademeli bir düşüşe yol açar. Depolama koşulları ve takvim yaşı gibi faktörler yaşlanmaya katkıda bulunur.

- Depolama süresi (kendi kendinedeşarj)

Bataryalar, kullanılmadığında bile zamanla kendiliğinden boşalır. Daha uzun depolama süreleri kapasite kaybına neden olabilir.

Bu faktörlerin anlaşılması batarya tasarımının, kullanımının ve bakımının iyileştirilmesine yardımcı olur. Yukarıdaki liste kısa süreler için ortalama hücredeşarj akımı,deşarj süresi ve iç hücre sıcaklığı ile sınırlandırılabilir.

Dolayısıyla hücre kapasitesi, $c_Q = c_Q(I, T)$

Olduğundan, hücrenin $t=0$ anında tamamen doldurulduğu varsayılırsa, çıkarılan yük şu şekilde tanımlanır:

$$Q_e(t) = \int_0^t I_m(\tau) d\tau \quad (3.9)$$

Daha sonra, şarj durumu (SOC) aşağıdaki gibidir:

$$SOC = 1 - Q_e/C_Q \quad (3.10)$$

Bu durumda, C_Q dikkate alınandeşarj akımı ve sıcaklıkta hücrenin kapasitesidir. Sonuç olarak, SOC tanımlarında bir hücrenindeşarj edildiği koşullar ve SOC'nin değerlendirildiği belirlideşarj akımı ve sıcaklığı dikkate alınmalıdır.

3.5.4 Şarj durumunun çalışma zamanı tespiti

Şarj durumu (SoC), özellikle şarj edilebilir bataryalar (örneğin, elektrikli araçlarda kullanılan lityum bataryalar) bağlamında batarya yönetiminin kritik bir bileşenidir. Bataryanın kapasitesine bağlı olarak şarj seviyesini gösterir ve genellikle yüzde cinsinden ifade edilir. SoC, batarya performansını ve ömrünü tahmin etmek açısından bataryada kalan şarj miktarını belirlemede büyük önem taşır. Bataryanın şarj durumunu ölçmek, voltaj, akım integrali, empedans spektroskopisi ve coulomb sayımı gibi çeşitli yöntemlerin kullanılmasını gerektirir ve bu süreç kolay değildir. Her yöntemin avantajları ve dezavantajları bulunmakta olup, yöntemin seçimi uygulama

özelliklerine bağlıdır. Çalışma zamanı boyunca SOC'yi tahmin etmek için hücrenin mevcut çıktısını zaman içinde entegre etmek (coulomb sayımı) en yaygın yöntemdir. Bu basit yaklaşım, mevcut ölçüm hatalarını veya parazit olaylarını (özellikle şarj esnasında) hesaba katmadığı için, periyodik hataların düzeltilmesi gerekmektedir. Hata düzeltme için en etkili yöntem, açık devre gerilimi (SOC-OCV) korelasyon eğrisidir.

3.5.5 Eşdeğer devre modeli termal model ile birlikte (Termoelektrik Model)

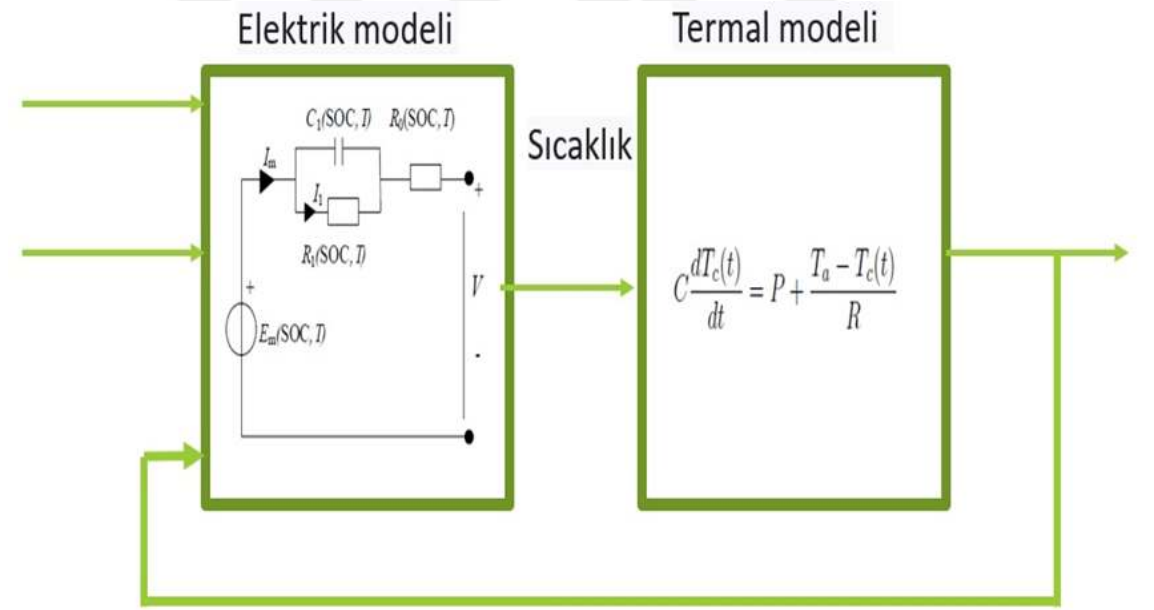
Bataryanın iç sıcaklığını ve şarj durumunu (SOC) tahmin etmek teknik olarak zordur. Bu bağlamda, bu iki dahili durumun gerçek zamanlı olarak eşzamanlı tahminine yönelik yenilikçi bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem, gerçek zamanlı şarj durumu tahmini için geliştirilmiş bir batarya modelinin oluşturulmasına katkıda bulunur. Önerilen yöntem, eşdeğer devre modelini termal modelle entegre ederek etkileşimli bir şekilde birleştirmeye dayanır. Eşdeğer devre modeli ve termal model, parametrelerin değişimi aracılığıyla bir elektro-termal model oluşturacak şekilde birleştirilir [11]. Bu termoelektrik model, elektriksel ve termal modeller arasındaki bağlantıyı geliştirerek bataryanın iç durumunu tahmin etme doğruluğunu artırır. Termoelektrik model, sistem içindeki elektriksel ve termal davranışların kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlar; zira eşdeğer devre modelinin termal modelle birleştirilmesi, bataryaların gerçek davranışını tasvir etmedeki doğruluğu artırır.

Huria ve arkadaşları tarafından sunulan öncü çalışma, yukarıda belirtilen modellerin entegrasyonuna dair nispeten yeni bir konuyu ele almakta olup, termoelektrik modellemeye yönelik bu birleşik yaklaşımı inceleyen ilk çalışmalardan biridir. Bu yeni model, bataryanın durumu üzerindeki çeşitli etkilerin gelişmiş bir temsilini sağlayarak davranışının doğru bir şekilde tahmin edilmesine olanak tanır. Bu, batarya biliminde önemli bir ilerleme olarak değerlendirilmektedir. Şekil 3.21, bataryanın termoelektrik modelinin genel diyagramını göstermektedir.

Elektriksel model, giriş olarak deşarj akımını, şarj durumunu (SoC) ve sıcaklığı alır; bu veriler termal modele bir termal sinyal gönderir. Termal model, ECU'nun iç direnç ve kapasitans gibi elektriksel parametrelerini etkileyen yeni sıcaklık değerini hesaplar. Bu periyodik değişim, batarya performansının daha derinlemesine anlaşılmasını sağlayarak bataryaların elektriksel ve termal özelliklerini dikkate alır. Termal eşdeğer

devre modeli, bir lityum hücrenin tüm dinamik özelliklerini daha doğru bir şekilde modellemek üzere Huria ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [63,69].

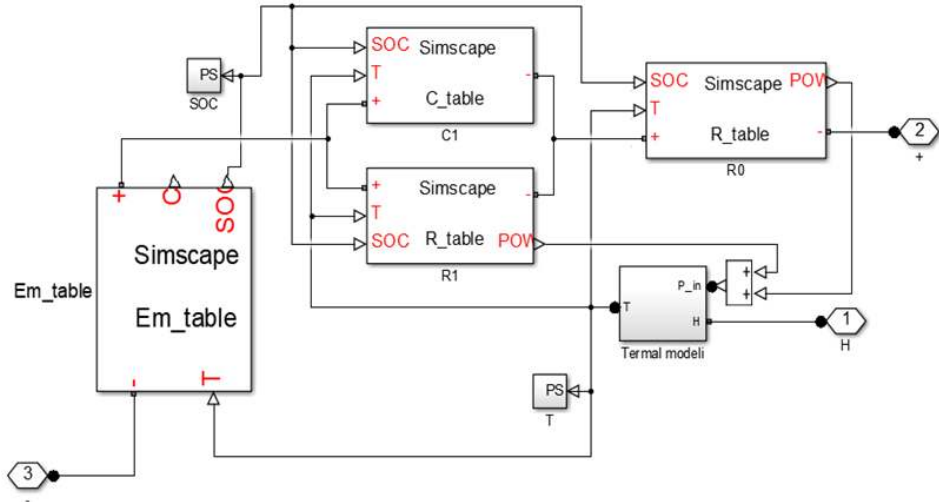
Bu modelin parametre değerleri, gerçek bir bataryaya şarj ve deşarj darbeleri uygulandıktan sonra elde edilen deneysel veriler kullanılarak belirlenmiştir. Model ayrıca bataryanın çıkış voltajını ve şarj durumunu tahmin etmenin bir yolunu da sunmaktadır. Termal eşdeğer devre modeli, bir voltaj kaynağı ve tek bir RC dalı içeren bir seri direnç kullanılarak oluşturulmuştur. Huria, bu modeli tasarlamak için MATLAB ve Simscape™ yazılımlarını kullanmıştır. Gerçek sonuçlar, simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılarak, gerçek voltaj ve şarj durumu yanıtlarının simüle edilen yanıtlarla ne derece uyumlu olduğu gösterilmiştir. Şekil 3.22, 3.23 ve 3.24'te MATLAB Simulink ortamındaki farklı batarya modelleri sunulmaktadır; Şekil 3.22'de elektriksel model, Şekil 3.23'te termal model, Şekil 3.24'te ise bataryanın termoelektrik modeli gösterilmektedir. Ayrıca, Tablo 3.2'de bu çalışmada kullanılan lityum pilin teknik özellikleri sunulmaktadır.



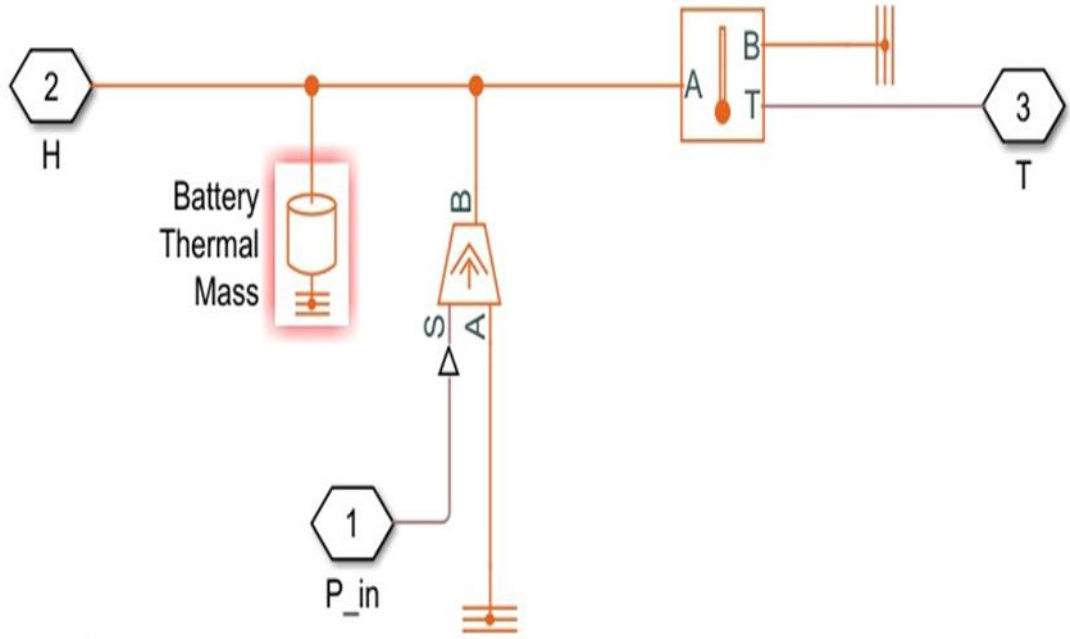
Şekil 3.21 Elektro-termal modeli

Tablo 3.2 Batarya Modeli Parametreleri [70]

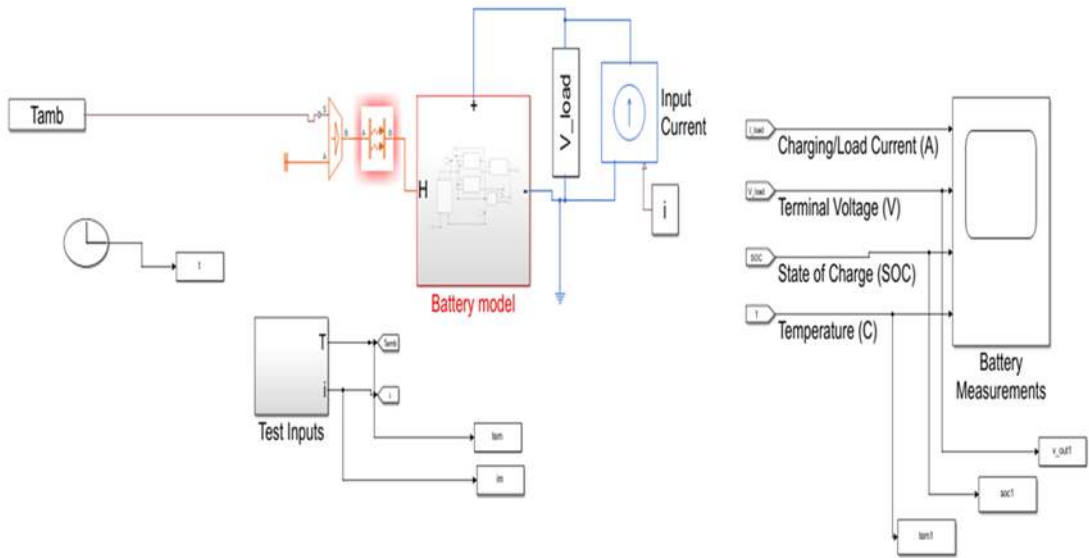
Parametre	Değeri
Tipik kapasite	31.0hA
Batarya nominal gerilimi	3.0V
Şarj durumu maksimum gerilimi	4.2V $\pm$ 0.03 V
Şarj durumu maksimum akım	62.0A
Deşarj durumu sürekli akım	155.0A
Deşarj durumu tepe akım	310.0A
Deşarj durumu kesme gerilimi	2.7V
Çalışma sıcaklığı şarjı	0 ~ 40 °C
Çalışma sıcaklığı deşarj	-20 ~ 60 °C
Boyut kalınlığı (mm)	8.4 $\pm$ 0.5
Boyut genişlik (mm)	215 $\pm$ 2.0
Boyut uzunluk(mm)	220 $\pm$ 2.0
Ağırlık(g)	860 $\pm$ 40



Şekil 3.22 Simscape™ Eşdeğer Devre Modeli



Şekil 3.23 Simscape™ Termal modeli



Şekil 3.24 Simscape™ termal eşdeğer devre modeli

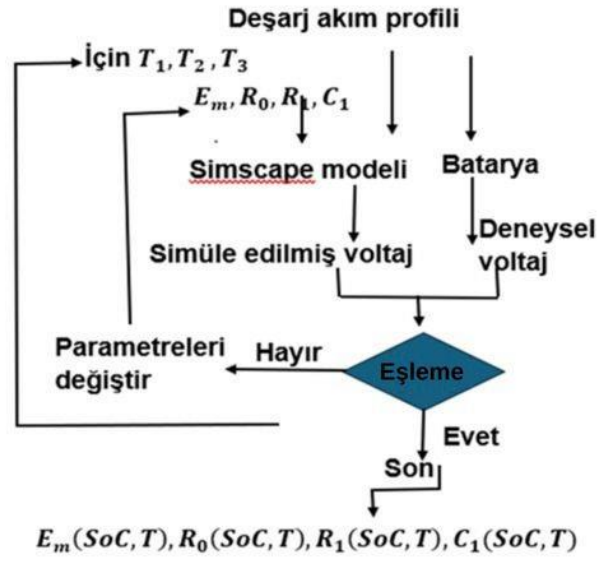
3.5.5.1 Modelleme ve simülasyon

Huria ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada, yüksek enerjili lityum batarya hücrelerini modellemek ve simüle etmek için elektriksel ve termal dinamikleri entegre

eden gelişmiş bir yaklaşım sunulmuştur. Modelleme çerçevesi, Simscape™ blokları ve Simscape™ dili kullanılarak oluşturulan yüksek hassasiyetli Eşdeğer Devre Modeli (ECM) üzerine kuruludur. Bu model, direnç ve kondansatörlerden oluşan tek bir RC bloğunu içermekte olup, direnç elemanları elektriksel davranışı hassas bir şekilde yakalamak amacıyla değişken dirençler olarak temsil edilmektedir. Parametre tahmin süreci, deşarj profillerinin yinelemeli simülasyonunu ve modeli geliştirmek için deneysel verilerle karşılaştırmayı içermektedir. Başlıca özelliklerden biri, bataryanın performansındaki varyasyonu geleneksel deneysel denklemlerle ele almakta zorlanan, şarj durumu (SOC) ve sıcaklığa dayalı olarak devre elemanlarının parametrelerini belirlemek için arama tablolarının kullanılmasını içermektedir.

Simülasyon süreci, sıcaklığın batarya performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla ECM ve termal modellerin entegrasyonunu sağlamaktadır. Bu yaklaşımda, doğrusal olmayan en küçük kareler algoritmalarına dayanan Simulink Design Optimization™ yöntemi kullanılmıştır. Bu algoritma, simülasyon sonuçları ile deneysel veriler arasındaki farkı minimize etmek için hata eğimini hesaplamaktadır. Şekil 3.25, Simulink Design Optimization™'in her sıcaklık durumu için tek boyutlu arama tablolarını yinelemeli olarak optimize etmek amacıyla doğrusal olmayan bir en küçük kareler algoritmasını nasıl kullandığını gösteren parametre tahmin adımlarının bir akış şemasını sunmaktadır.

Darbeli deşarj eğrilerinden ve deneysel verilerden türetilen bu tablolar, hücrenin elektriksel davranışını dört parametre aracılığıyla karakterize eder: E_m (SOC, T), R_0 (SOC, T), R_1 (SOC, T) ve C_1 (SOC, T). Bu sistematik yaklaşım, farklı sıcaklıklarda hücre performansının doğru simülasyonunu sağlar ve modelin deneysel sonuçları yeniden üretme etkinliğini kanıtlar [68,71].



Şekil 3.25 Parametre tahmin prosedürünün akış şeması

3.6 İkinci Dereceden Transfer Fonksiyonu Kullanarak Elektrikli Araç Bataryalarının Modellenmesi

İkinci dereceden transfer fonksiyonu kullanılarak elektrikli araç (EV) bataryalarının modellenmesi, bataryalar davranışını doğru bir şekilde göstermede etkili olan bir kontrol sistemi mühendisliği ve sistem spesifikasyon tekniğidir. İkinci dereceden transfer fonksiyonu, batarya sisteminin şarj ve deşarj akımları gibi girdilere yanıt vererek nasıl hareket ettiğini kaydedebilir. Bu modeller, iç direnç, kapasite, zaman gecikmesi, deşarj oranı gibi çeşitli batarya parametrelerinin tahminine dayanır ve batarya performansına ilişkin doğru tahminler sağlamak amacıyla geliştirilir.

Giriş ve çıkışların tanımlanması:

Bu bağlamda, giriş olarak bataryaya uygulanan şarj veya deşarj akımları kabul edilirken, çıkış olarak bataryanın voltajı veya şarj durumu (SOC) ele alınır.

Veri toplama:

Bataryanın çeşitli girişlere verdiği tepkileri incelemek için, bilinen girdiler uygulayıp ortaya çıkan çıktıları ölçen deneyler yapmanız gerekmektedir. İkinci dereceden transfer fonksiyonu, bataryanın doğrusal olmayan davranışlarını modelleyebilmek için kullanılır ve bataryanın dahili durumu (şarj seviyesi, sıcaklık, deşarj oranı gibi) değiştikçe voltaj ve akım değişikliklerini tahmin etmekte faydalıdır.

İkinci dereceden transfer fonksiyonu, bataryanın doğrusal olmayan davranışını temsil eden bir dizi parametreyi içeren matematiksel bir denklemle temsil edilebilir. Bu denklemin parametreleri, genellikle bataryanın çeşitli koşullar altında yapılan deneysel veriler ve testler aracılığıyla ayarlanır. İkinci dereceden transfer fonksiyonları, batarya yönetim sistemlerinin (BMS) tasarımı, elektrikli araçlar için elektrik sistemlerinin oluşturulması, batarya ömrünün tahmin edilmesi ve elektrik sistemlerinin performansının iyileştirilmesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir.

3.6.1 Transfer fonksiyonu modeli

Transfer fonksiyonları, sistemlerin matematiksel modellemesinde girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla polinomlar kullanılarak oluşturulan bir araçtır. Transfer fonksiyonunun derecesi, genellikle paydadaki polinomun derecesi ile ifade edilir. Bu çerçevede, paydadaki polinomun kökleri sistemin kutuplarını, paydaki polinomun kökleri ise sıfırlarını temsil eder. Kutuplar ve sıfırlar, transfer fonksiyonunun temel bileşenleri olup, sistemin dinamik tepkisinin analizinde kritik bir rol oynar. Ayrıca, zaman gecikmelerini ve sistem davranışı üzerindeki zaman etkilerini yansıtmak amacıyla transfer fonksiyonları kullanılır. Sürekli zamanda transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

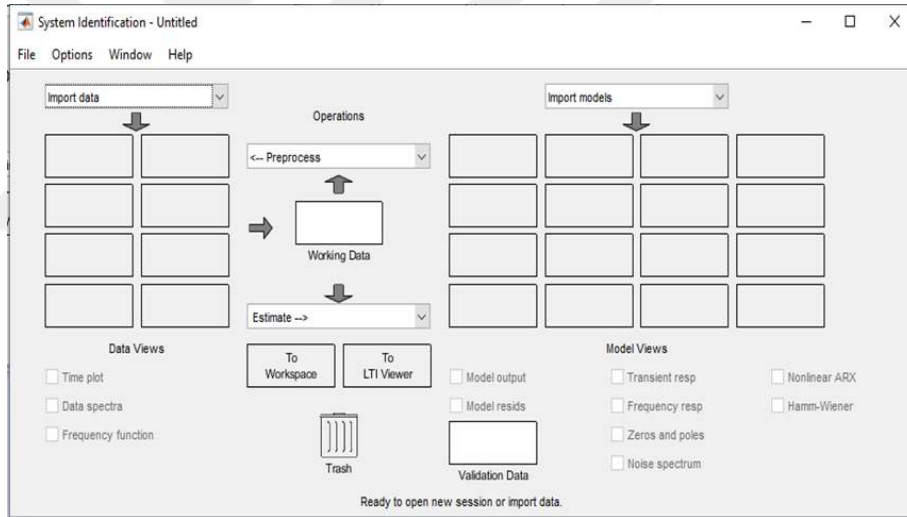
$$Y(s) = \frac{num(s)}{den(s)} U(s) + E(s) \quad (3.11)$$

Burada, $Y(s)$, $U(s)$ ve $E(s)$ sırasıyla çıkış, giriş ve gürültünün Laplace dönüşümlerini temsil eder. $num(s)$ ve $den(s)$ ise giriş ile çıkış arasındaki ilişkiyi tanımlayan pay ve payda polinomlarını temsil eder [72].

3.6.2 Matlab'ın sistem tanımlama aracı aracılığıyla bataryaları modelleme

MATLAB sistem Tanımlama Araç Kutusu, dinamik sistemlerin matematiksel modellerinin oluşturulmasını kolaylaştıran, ölçülen giriş ve çıkış verilerini kullanarak modelleme süreçlerini destekleyen bir uygulama içermektedir. Bu uygulama, özellikle geleneksel yöntemlerle modelleme sırasında zorluklar yaşanabilecek dinamik sistemler için modelleme sürecini basitleştirmekte ve iyileştirmektedir. Sistem Profil

Oluşturucu, zaman alanında veya frekans alanında elde edilen giriş ve çıkış verilerine dayalı olarak dinamik sistemlerin çeşitli temsillerini türetme imkânı sağlar. Bu temsiller, sürekli zamanlı transfer fonksiyonları, ayrık zamanlı modeller, durum uzayı modelleri, süreç modelleri ve doğrusal olmayan modelleri kapsayabilir. MATLAB Sistem Tanımlama Aracı, maksimum benzerlik, tahmin-hata minimizasyonu (prediction-error minimisation, PEM) ve alt uzay yöntemi gibi çeşitli sistem tanımlama tekniklerini içermektedir. Model parametrelerinin tahmin edilmesinde gri kutu sistem tanımı kullanılmakta olup, bu nedenle modelin ölçülen verilere uyum sağlaması için tahmin hatalarının azaltılması gerekmektedir. Gri kutu modelleme, sistem tanımlamada önemli bir rol oynar ve modelin doğruluğunu ve sağlamlığını artırmak amacıyla mevcut verilerin deneysel verilerle entegrasyonunu kolaylaştırır [73-74]. Şekil 3.26, Matlab sistem tanımlama aracının kullanıcı arayüzünü göstermektedir.



Şekil 3.26 Matlab sistem tanımlama aracının kullanıcı arayüzü

3.6.3 Önerilen yöntem (Transfer Fonksiyonunun Kullanımı)

Bu tezde önerilen yöntem, akü voltajını ve şarj durumunu (SOC) tahmin etmek amacıyla basit ve etkili bir matematiksel model sunmaktadır. Bu modelleme yöntemi, bataryanın giriş ve çıkış verilerini kullanarak basit bir işlevsel ilişki kurmaktadır. Önerilen model, giriş verileri (akım darbeleri) ve çıkış verileri (voltaj) dikkate alınarak geliştirilmiştir. Bir önceki bölümde, bu tezde kullanılan batarya parametreleri ve ayarlamaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışmada kullanılan akımlar ve gerilimler, referans araştırması tarafından sağlanmıştır [68].

Önerilen yöntem, bataryanın çıkış gerilimini tahmin etmek amacıyla temel bir transfer fonksiyonu oluşturmaya dayanmaktadır. Bu transfer fonksiyonunun denklemi aşağıda verilmiştir:

$$G(s) = \frac{b_1s+b_0}{a_2s^2+a_1s+1} \quad (3.12)$$

Bu transfer fonksiyonu, kutupları paydanın kökleri ve sıfırları payın kökleri olarak içerir.

Batarya çıkış voltajı için son denklem aşağıdaki gibidir.

$$U(s)=OCV+G(s)I(s) \quad (3.13)$$

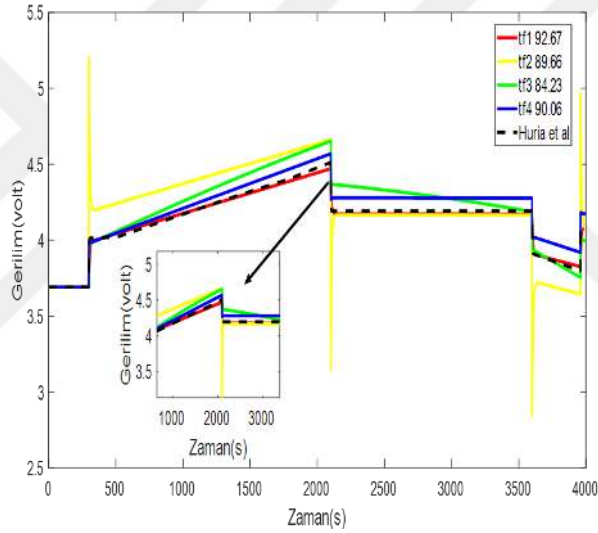
Burada U(S) sistemin çıkışını, (OCV) yer değiştirmesini, G(S) transfer fonksiyonunu, I(S) ise sistemin girişini temsil eder.

3.6.3.1 Performans Karşılaştırması

Performans karşılaştırması ile ilgili olarak, Tablo 3, transfer fonksiyonlarını ve performans değerlerini farklı pay ve payda değerlerine göre göstermektedir. Gerilimin tahmininde transfer fonksiyonu kullanılarak akım verileri giriş, gerilim verileri ise çıkış olarak kullanılmıştır; bu model Şekil 3.27'da göstermektedir. Dört farklı transfer fonksiyonu elde edilmiş ve performans MATLAB'ın sistem tanımlama kütüphanesi kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk dereceden pay ve ikinci dereceden payda içeren taşıma fonksiyonunun performansı en yüksek olarak gözlemlenmiştir; bu fonksiyonun performansı %92,67 olarak ölçülmüş ve ISE değeri 6.8500'e+04 olarak belirlenmiştir. ISE değeri, taşıma fonksiyonu modeli ile karşılaştırma modeli arasındaki hatayı ne kadar azalttığını yansıtır; değer düştükçe modelin performansı daha iyi olmaktadır. İkinci dereceden pay ve üçüncü dereceden payda içeren taşıma fonksiyonu ise sistemin daha az temsil edildiği görülmüştür; bu fonksiyonun performansı %84,23 olarak ölçülmüş ve ISE değeri yüksek çıkmıştır. Tf _2 ve tf_4 fonksiyonlarının performansları ise birbirine yakın olup, ISE değerleri de benzerlik göstermiştir; tf_2 fonksiyonunun performansı %89.66, ISE değeri ise 7.0981e+04 olarak ölçülürken, tf_4 fonksiyonunun performansı %90.06 ve ISE değeri 7.0875e+04 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.3 Farklı pay ve payda değerleri için transfer fonksiyonları ve performans değerleri

TF - Name	Model	Performans	ISE
TF-1	$\frac{0.0016045 + 1.445e - 06}{s^2 + 0.1688s + 3.615e - 07}$	92.67%	6.8500e+04
TF-2	$\frac{0.048s^2 + 0.002503s + 1.332e - 06}{s^2 + 0.1582s + 2.515e - 07}$	89.66%	7.0981e+04
TF-3	$\frac{0.09707s^2 + 0.0001409s + 1.013e - 18}{s^3 + 10.77s^2 + 8.787e - 06s + 8.008e - 07}$	84.23%	7.1392e+04
TF-4	$\frac{0.009619s^3 + 0.001265s^2 + 1.747e - 06s + 3.645e - 10}{s^3 + 0.1364s^2 + 3.551e - 05s + 5.76e - 14}$	90.06%	7.0875e+04



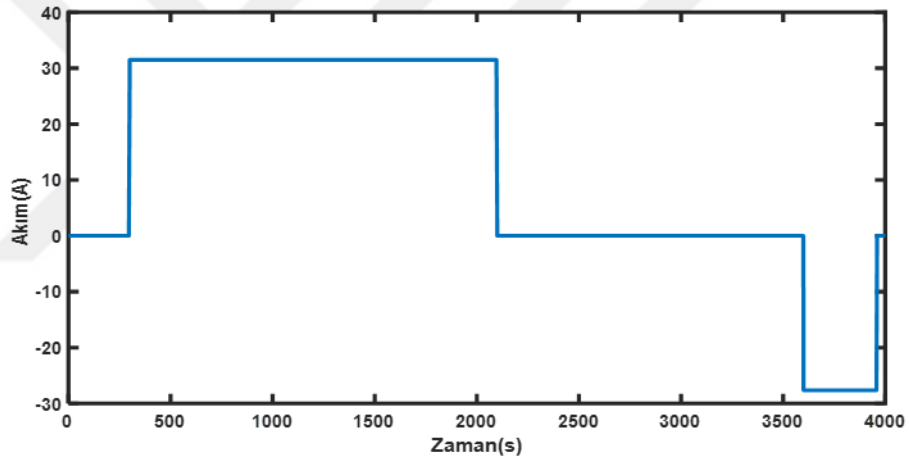
Şekil 3.27 Adım tepkileri ve performans göstergeleri

3.6.3.2 Transfer fonksiyonunu tanımlama

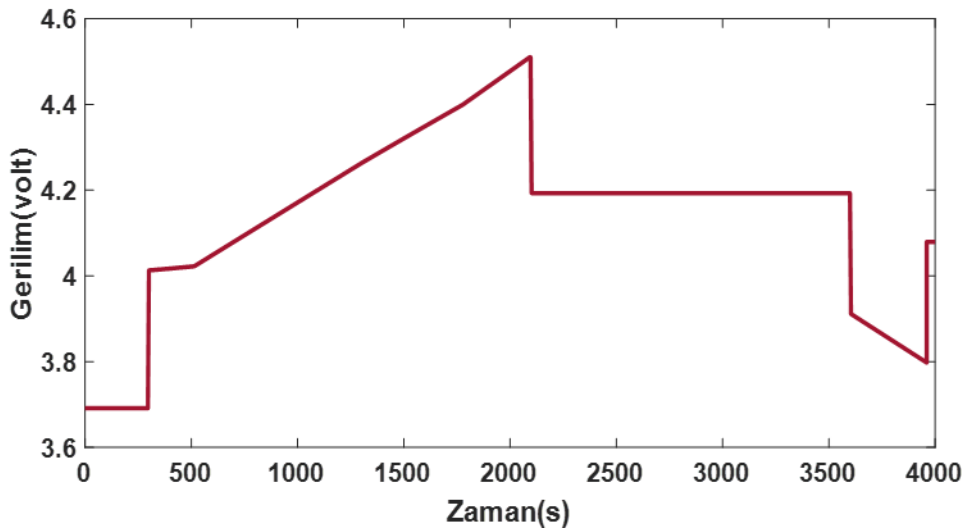
Matlab Sistem Tanımlama Aracı kullanılarak bataryanın modellenmesi için transfer fonksiyonunun türetilmesi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, bir dizi deneysel çalışma sonucunda ikinci dereceden bir transfer fonksiyonunun termal eşdeğer devrenin davranışını doğru bir şekilde yansıttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, 3.12 denklemin transfer fonksiyonu parametrelerini belirlemek amacıyla, MATLAB ortamında sunulan model tanımlama aracı etkin bir şekilde kullanılmıştır. Bu aracın nasıl kullanıldığı Şekil 3.28'da gösterilmektedir. Şekil 3.29, gerilim ve akımın giriş şekillerini göstermektedir. Modelin doğru bir şekilde tanımlanması için tahmin (Estimate) seçeneği kullanılmıştır. Ayrıca, Şekil 3.30, 3.31 ve 3.32'te gösterildiği gibi,

transfer fonksiyonu seçeneği dikkatle seçilmiştir. Tanıma işlemini gerçekleştirdikten sonra transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Transfer fonksiyonu denkleminin türetilmesi, MATLAB profil oluşturucu ve termal eşdeğer devre modeli verileri kullanılarak sağlandı (Huria ve ark.). Ayarlama süreci sırasında çeşitli parametre kombinasyonları test edilmiştir ve en iyi performansı gösteren taşıma fonksiyonu seçilmiştir; bu fonksiyon, birinci dereceden pay ve ikinci dereceden payda içermektedir. Sonrasında, transfer fonksiyonu simüle edilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

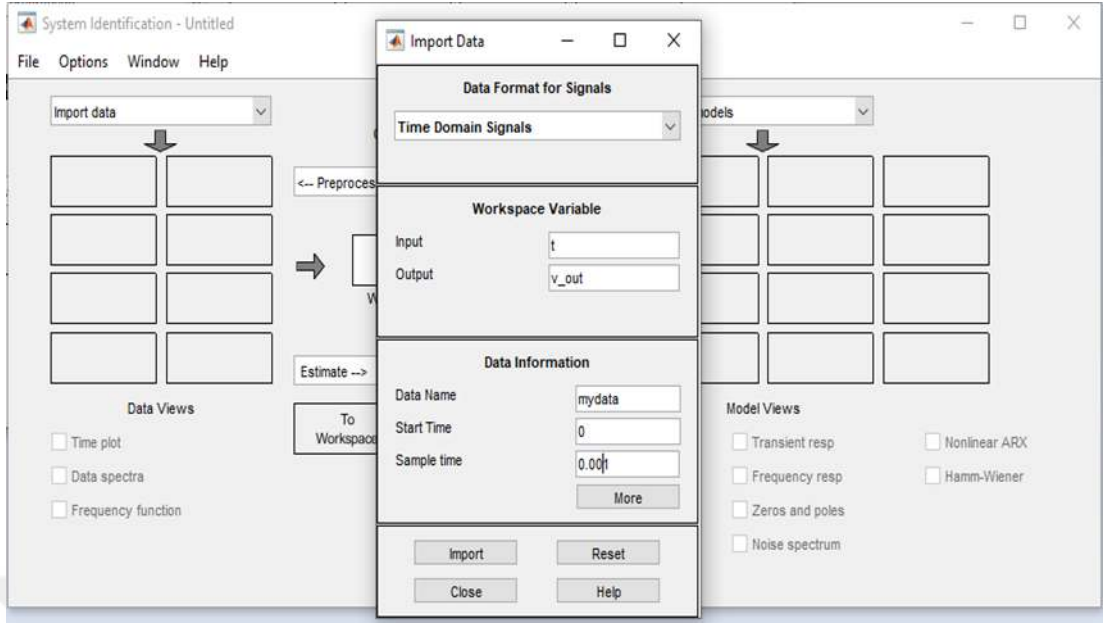
$$G(S)=\frac{0.0016045s+1.445e-06}{s^2+0.1688s+3.615e-07} \quad (3.14)$$



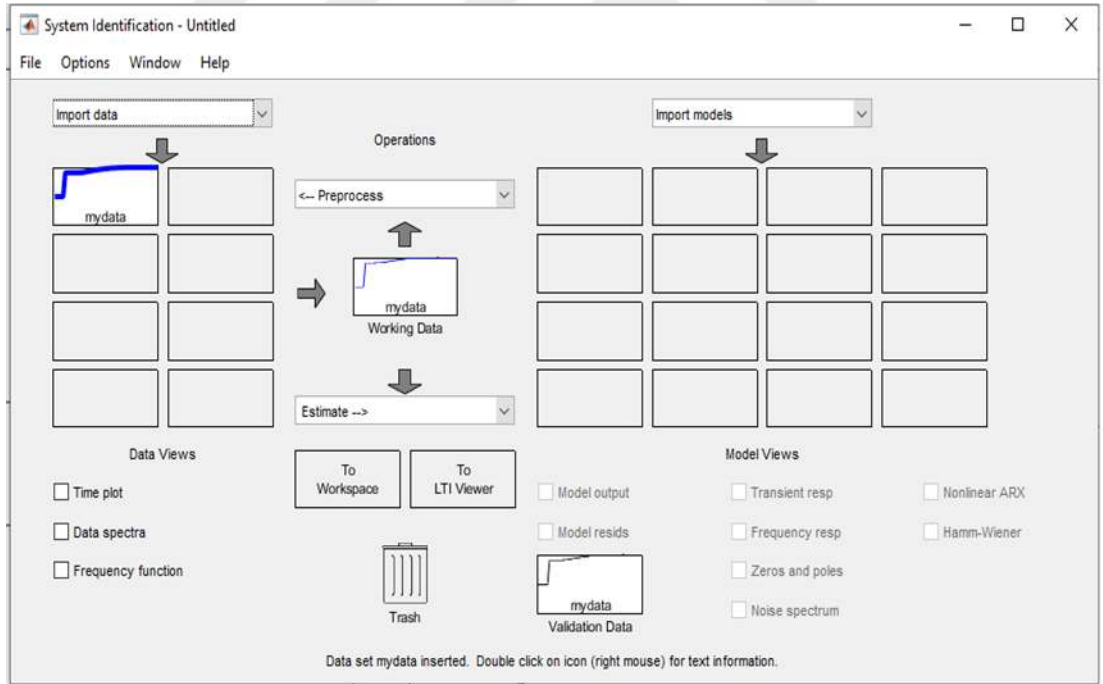
Şekil 3.28 Batarya akımı birimi darbe ve deşarj



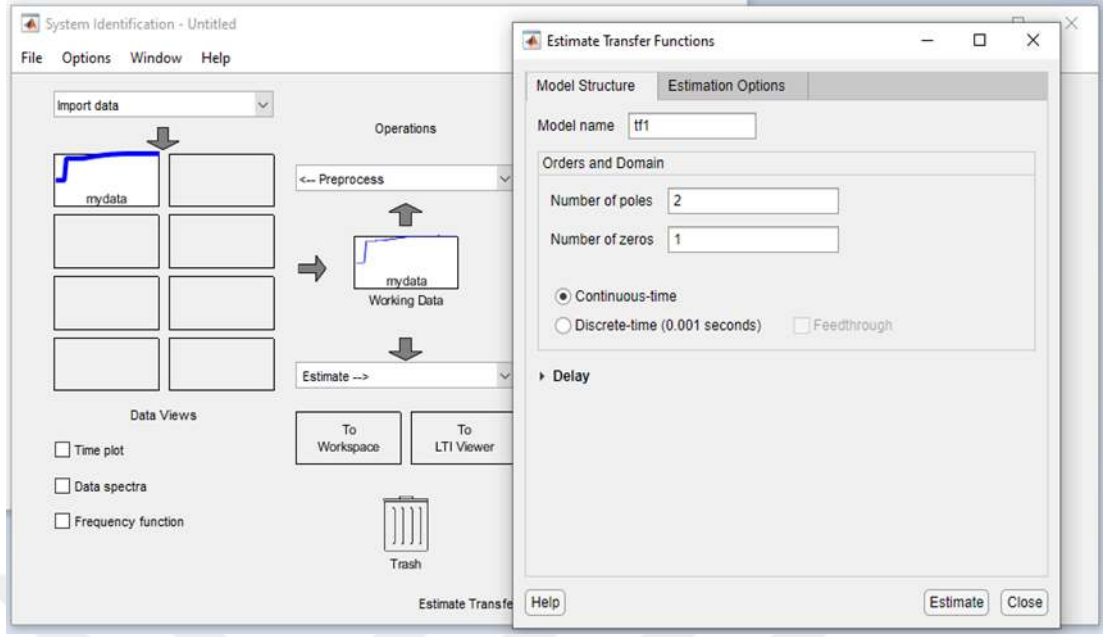
Şekil 3.29 Batarya gerilimi



Şekil 3.30 MATLAB'deki model tanımlama aracı(ilk adım)



Şekil 3.31 MATLAB'deki model tanımlama aracı (ikinci adım)

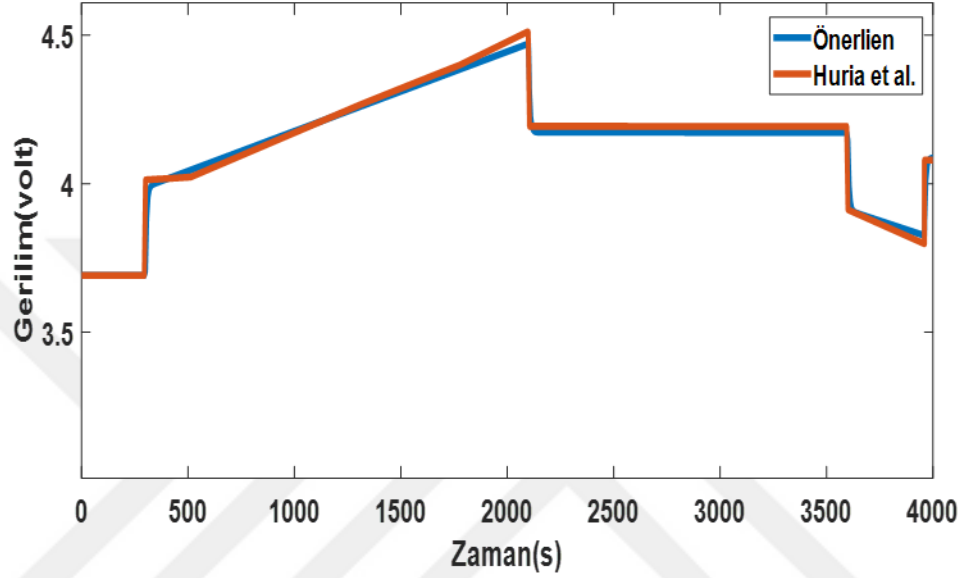


Şekil 3.32 MATLAB'deki model tanımlama aracı (üçüncü adım)

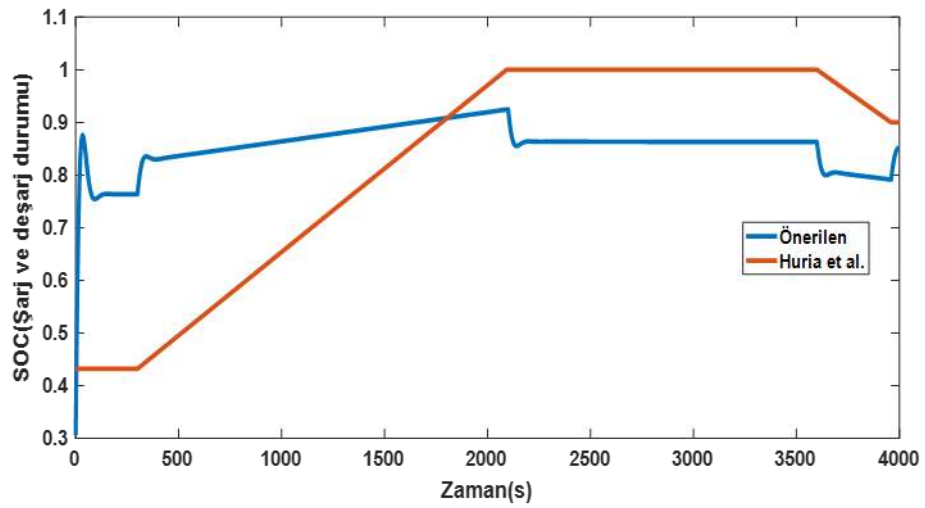
Denklem 3.14'te verilen transfer fonksiyonunu kullanarak elde edilen benzetim geriliminin yanı sıra karşılaştırılan (Huria et al.) gerilimin tepkisi Şekil 3.33'te sunulmuştur. Bu karşılaştırma sonucunda, iki gerilimin oldukça yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, önerilen transfer fonksiyonunun bataryanın davranışını iyi bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir. Transfer fonksiyonunu kullanarak, çıkış voltajı fonksiyonunu tanımlamaya benzer bir şekilde, şarj durumunu tahmin etmek için matematiksel bir ilişki kurulmuştur. Huria'nın simülasyon modeli temel alınarak, bu matematiksel ilişki çıkış voltajına ve şarj durumuna göre belirlenmiştir. Başka bir deyişle, transfer takipçisinin girişi çıkış voltajı, transfer takipçisinin çıkışı ise şarj durumu olarak belirlenmiştir. MATLAB model tanımlama aracı kullanılarak, Huria'nın simülasyon modelinden bu veriler (transfer fonksiyonlarının girişi ve çıkışı) çıkarılmıştır. Aşağıdaki matematiksel denklem 3.15, çıkış voltajı transfer fonksiyonunu elde etmek için kullanılanlara benzer adımlar kullanılarak elde edildi. Şekil 3.34, önerilen transfer fonksiyonu ile bataryanın şarj durumunu göstermektedir. Buradan, şarj durumu transfer fonksiyonunun, Şekil 3.34'te gösterilen önerilen voltaj transfer fonksiyonundan daha az doğruluğa sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, şarj durumunu tahmin etmenin voltajı tahmin etmekten daha karmaşık olmasıdır. Düşük dereceli bir transfer fonksiyonu kullandık, ancak bu sorunu çözmek

için, Bölüm 4.3'te gösterildiği gibi çok iyi sonuçlar veren şarj durumunu tahmin etmek için bir yapay sinir ağı kullandık.

$$G(S) = \frac{0.0831s^2 + 0.0177s + 0.0009479}{s^2 + 0.08449s + 0.004582} \quad (3.15)$$



Şekil 3.33 Termal eşdeğer devre modeli voltajı ve bu çalışma için önerilen voltaj



Şekil 3.34 Termal eşdeğer devre modeli şarj durumu ve bu çalışma için önerilen şarj

3.7 Elektrikli Araç Bataryalarını Modellemek İçin Sinir Ağlarını Kullanma

Batarya modellemede sinir ağlarının kullanılması, şarj durumu (SOC) ve sağlık durumu (SOH) gibi batarya performans parametrelerini analiz etmek ve tahmin etmek için makine öğrenme algoritmalarından yararlanır. Yapay sinir ağları, çeşitli giriş özellikleri ile batarya performans ölçümleri arasındaki karmaşık, doğrusal olmayan ilişkileri yakalamada oldukça yeteneklidir. Bu kabiliyet, batarya parametrelerinin doğru modellenmesi ve tahmininin performans ve ömrün optimize edilmesi açısından kritik önem taşıdığı Batarya Yönetim Sistemleri (BMS) için onları oldukça etkili kılmaktadır.

Wang et al., yapay sinir ağlarını kullanarak şarj durumu (SOC) tahmini üzerine odaklanmış ve özellikle sıcaklık değişikliklerinin batarya performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, farklı sıcaklıklarda toplanan verileri kullanarak sinir ağlarını eğitip geliştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, yapay sinir ağlarının sıcaklığa bağlı değişiklikleri etkili bir şekilde hesaplayabildiğini ve geleneksel yöntemlere kıyasla şarj durumu hakkında daha doğru ve güvenilir tahminler sağladığını göstermiştir. Bu yöntemin, batarya yönetimini iyileştirmeye ve batarya ömrünü uzatmaya katkıda bulunduğu, dolayısıyla bataryaların çeşitli uygulamalarda kullanım etkinliğini artırdığı bulunmuştur [75].

Bin Wu ve arkadaşları, batarya sağlığını tahmin etmek amacıyla çeşitli potansiyel değişkenlerden en alakalı özellikleri belirlemek için birden fazla özellik seçim yöntemini entegre ederek bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu değişkenler arasında voltaj, akım ve sıcaklık gibi batarya ölçümlerinin yanı sıra geçmiş performans verileri de yer almaktadır. Çalışmalarında, verilerin boyutluluğunu azaltmaya ve tahmine dayalı modelin doğruluğunu artırmaya yönelik olarak en etkili özelliklere odaklanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, belirlenen özelliklere dayalı olarak tahmine dayalı modeller oluşturmak için sinir ağlarının kullanımının etkinliğini göstermiş ve modelin batarya sağlığına ilişkin doğru tahminler sağlama yeteneğini artırmıştır[76].

Chemali ve arkadaşları, derin sinir ağlarının (DNN'ler) veriler içindeki karmaşık, doğrusal olmayan ilişkileri modelleme yeteneklerinden yararlanarak bir lityum iyon bataryanın şarj durumunu (SOC) tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Geleneksel yöntemlere kıyasla tahminlerin doğruluğunu artırmayı hedefleyen araştırmacılar, batarya verilerini önceden toplamakta, birden fazla derin sinir ağı

modeli tasarlayıp eğitmekte ve bu modellerin performansını mevcut SOC tahmin yöntemleriyle karşılaştırmaktadır. Çalışmaları, basit batarya modellerine güvenmenin ve değişken çalışma koşullarına duyarlılığın geleneksel şarj durumu tahmin yöntemlerinin sınırlamaları arasında yer aldığını ortaya koymuştur. Sonuçlar, derin öğrenme yöntemlerinin şarj durumu tahmininin doğruluğunu önemli ölçüde artırabileceğini ve gerçek dünya senaryolarında daha güvenilir ve sağlam performans sağlayabileceğini göstermiştir [77].

Modi ve arkadaşları, evrimsel sinir ağlarını (CNN'ler) kullanarak hız, çekiş gücü ve yol yüksekliğini dikkate alarak elektrikli araçların enerji tüketimini tahmin etmeyi hedeflemiştir. Çalışma, zaman serisi verilerinden dönüştürülen görüntüler üzerinde uygulanan yedi katmanlı modelin daha iyi performans gösterdiğini bulmuştur. Bu, uzun yolculuklarda elektrikli araçların kullanılmasına ilişkin genel kullanıcı deneyimini ve güvenini artırma potansiyeline sahiptir [78].

Bu çalışmada önerilen metodoloji, hesaplama karmaşıklığını azaltmak ve tahmin doğruluğunu artırmak amacıyla sinir ağları ve ikinci dereceden transfer fonksiyonunun kullanımını birleştiren hibrit bir yaklaşımı içermektedir. Gerilim, ikinci dereceden bir transfer fonksiyonunun yanı sıra bir şarj durumu tahmini kullanılarak tahmin edilmiştir. Ancak, şarj durumu tahmininin sonuçları yeterince doğru bulunmamış ve bu durum, şarj durumu tahmininin doğruluğunu artırmak için yapay sinir ağlarının kullanılmasını gerektirmiştir. Çalışma kapsamında, sinir ağı üç farklı zaman periyodunda eğitilmiş, nöron sayısı artırılıp azaltılmış ve ardından en uygun sonuçlar seçilmiştir. En iyi sonuçların belirlenmesinin ardından, ikinci dereceden transfer fonksiyonu yönteminin sonuçları ile sinir ağının şarj durumu tahmini sonuçları arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

3.7.1 İleri sinir ağları

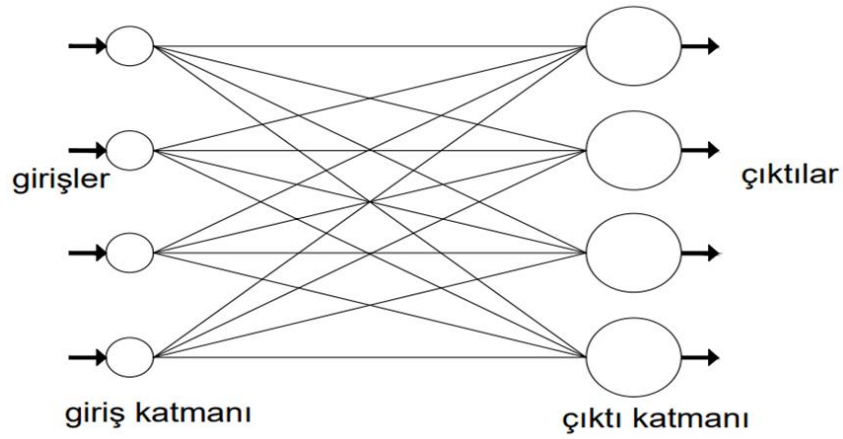
İleri beslemeli sinir ağları (YSA'lar), karmaşık verileri analiz etme ve doğru tahminler yapma yetenekleri nedeniyle elektrikli araç bataryalarının modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. YSA'lar, batarya kullanım modelleri, çevresel koşullar ve performans ölçümleri gibi geçmiş veriler üzerinde eğitim alarak bataryanın gelecekteki sağlığını tahmin eden tahmine dayalı modeller oluşturur. Bu modeller,

batarya kullanımını optimize etmeye, bakım planlaması yapmaya ve bataryanın uzun ömürlülüğünü sağlamaya yardımcı olur.

YSA'lar, şarj oranları, sıcaklık, sürüş koşulları ve bunlara karşılık gelen batarya davranışları gibi girdi değişkenleri arasındaki karmaşık ilişkileri modelleme konusunda üstün bir performans sergiler ve doğru modellemeyi kolaylaştırır. Ayrıca, YSA'ların çeşitli koşullara uyum sağlama yeteneği, güçlü ve çok yönlü batarya modellerinin geliştirilmesine olanak tanır. Bu yaklaşım, batarya sağlığı, performansı ve zaman içindeki bozulma hakkında kapsamlı bilgi sağlayarak elektrikli araçların verimliliğini ve güvenilirliğini artırır. YSA tabanlı modelleme, elektrikli araç teknolojisinin ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin gelişimine katkıda bulunur ve paydaşların batarya yönetimi stratejileri konusunda bilinçli kararlar almasına yardımcı olur.

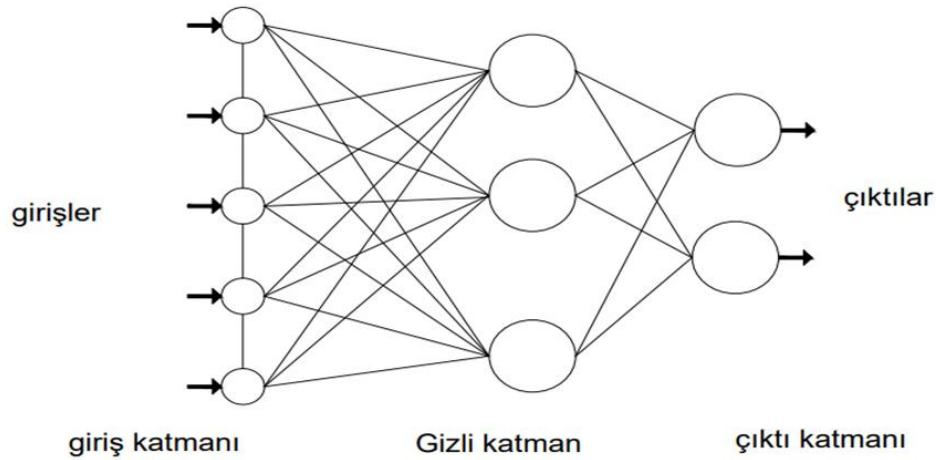
3.7.1.1 İleri beslemeli sinir ağları

Yapay sinir ağları, biyolojik beyin ve sinir sisteminden ilham alıyor ve uyum sağlama ve öğrenme yeteneklerine sahiptir. Programlanmış talimatlara göre çalışan geleneksel bilgisayarların aksine, sinir ağları bilgiyi birbirine bağlı nöronlar aracılığıyla işler. Ayrıca yapay sinir ağının uygun tasarımı, öğrenme sisteminin performansının önemli ölçüde artmasına katkıda bulunur. Bu ağların temel bileşenleri, çeşitli yapay sinir ağı modellerinin geliştirilmesinden sorumlu olan düğümleri, ağırlıkları ve katmanları içerir. İleri beslemeli sinir ağı, tasarıma bağlı olarak tek katmanlı veya çok katmanlı olabilir. Şekil 3.35'te tek katmanlı (tamamen bağlantılı) bir sinir ağı gösterilmektedir. Bu yapıda giriş katmanı dahil olmak üzere iki katman bulunmaktadır. Ancak girdi katmanı, o katmanda herhangi bir hesaplama yapılmadığından sayılmaz. Giriş sinyalleri ağırlıklar aracılığıyla çıkış katmanına iletilir ve çıkış katmanındaki nöronlar çıkış sinyallerini hesaplar.



Şekil 3.35 Tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağı

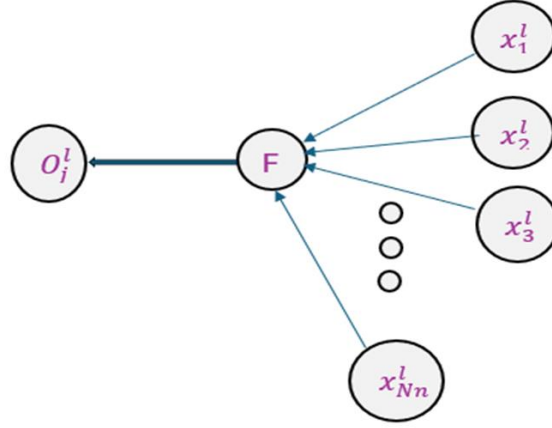
Çok katmanlı sinir ağlarının en basit formu, bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Şekil 3.36'da çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağının bir "gizli katmana" sahip olduğu gösterilmektedir. Tek katmanlı ağların aksine, bu yapıda giriş ve çıkış katmanları arasında en az bir "gizli nöron" katmanı bulunur.



Şekil 3.36 Çok katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağı

Gizli katmanlardaki ve çıkış katmanındaki işlem birimlerine nöron denir; her nöron, kendi aktivasyon fonksiyonundan ve basit bir toplam işleminden oluşur. Aktivasyon fonksiyonları, sigmoid fonksiyon veya doğrusal eşik gibi sınırlı eşik tipinde olabilir. Nöronlar, kısmen veya tamamen diğer katmanlardaki nöronlara bağlıdır ve her bağlantının bir ağırlığı ve önyargısı (bias) bulunur. Ağırlıklar ve önyargılar, sinir ağını, çıktıları istenen hedefe daha yakın hale getirecek şekilde ayarlamak için kullanılır. Her katmanda, girdiler ilgili ağırlıklarla çarpılır, ardından nöronlardaki aktivasyon

fonksiyonuna uygulanır ve Şekil 3.37'de gösterildiği gibi bir sonraki katmana girdi olarak iletilir [79].



Şekil 3.37 İleri beslemeli sinir ağı

İleri beslemeli bir sinir ağı sisteminin denklemleri, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'te gösterilmektedir.; Bu denklemler, katman lüzerindeki j düğümüne gelen giriş x_j^{l+1} , katman l-1'den gelen i düğümünden katman l'deki j düğümüne olan ağırlık W_{ij}^{l+1} , katman l'in j düğümünün önyargısı θ_j^l ve katman l'in j düğümünün çıktısı θ_j^{l+1} ile tanımlanır. Burada, N-n, önceki katmandaki düğümlere bağlı nöron sayısını ifade ederken, F aktivasyon fonksiyonunu temsil etmektedir. Ayrıca, N ise ilgili düğüme bağlanan önceki katmandaki nöron sayısını belirtirken, F aktivasyon fonksiyonunu temsil etmektedir.

$$O_j^1 = F(\sum_{j=1}^{Nn} (W_j^1 x_j^1 + \theta_j^1)) \quad (3.16)$$

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-cx}} \quad (3.17)$$

Sinir ağlarını daha iyi uyarlamak ve optimal ağırlık ile önyargı değerlerini belirlemek amacıyla çeşitli optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler, istenen yanıt ile sinir ağının çıktıları arasındaki farkı ölçerek hatayı hesaplar. Hesaplanan hata, ağırlıklar ve önyargılar üzerinde yapılacak güncellemeler için bir referans noktası sağlar. Böylece, hata minimizasyonu süreci, her iki fonksiyonun da yaklaşık değerlerini elde etmeye yönelik bir süreç olarak gerçekleşir. Bu yaklaşımlar genellikle

gradyan inişi, lojistik regresyon veya geri yayılım gibi hata minimizasyon algoritmaları aracılığıyla uygulanır [80-82].

3.7.1.2 Ağ mühendisliği

Bir nöron üzerinde çalışıldığında, bu nöron gelen bilgiyi işleyerek doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu kullanarak bir çıktı üretir. Daha karmaşık bilgi işleme süreçleri oluşturmak amacıyla nöronlar birbirine bağlanır; böylece bir nöronun çıktısı diğer bir nöronun girdisi haline gelir ve bu bağlamda daha çeşitli ve karmaşık ilişkilerin öğrenilmesi sağlanır. İleri beslemeli sinir ağlarında bilgi, yalnızca ileri doğru işlenir; önceki nöronlara herhangi bir bilgi gönderilmez ve döngü oluşturulmaz. Nöronlar, "tam bağlantılı" (FC) katmanlar olarak bilinen ardışık katmanlar halinde düzenlenir; burada bir katmandaki her nöron, bir sonraki katmandaki tüm nöronlara bağlanırken, aynı katmandaki nöronlar arasında bağlantı bulunmaz. Sinir ağı, giriş özelliklerine karşılık gelen nöron sayısında bulunan giriş katmanıyla başlar, $X = \{x_1, \dots, x_D\}$. Bu hücreler, aktivasyon değerlerini gizli katmana iletir. Gizli katmandaki her nöron, bir önceki katmandan aldığı sinyal değerlerine göre uyarılır ve aktivasyon değerlerini bir sonraki katmana eş zamanlı olarak aktarır. Bu süreç, nöron sayısının nihai tahmine karşılık geldiği çıkış katmanına kadar devam eder ve çıkış katmanındaki nöronlar ağı tahminlerini sağlar. Regresyon görevlerinde, çıkış değerleri sürekli bir aralıkta olduğu için son katmanda genellikle herhangi bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmaz. Gizli katmanlardaki nöron sayısı, görevle ilişkili bir hiper parametre olarak belirlenir. Genel olarak, gizli katmanların derinliği ve çeşitliliği arttıkça, ağı karmaşık ilişkileri tanıma yeteneği de artar. "Evrensel Yaklaşım" teoremi, tek bir gizli katmana sahip bir ağı yeterince büyük parametre sayısı ile herhangi bir işlevi yaklaşık olarak tahmin edebileceğini belirtir. Ancak bu teorem, nöron sayısını veya ağı nasıl eğitilmesi gerektiğini ayrıntılı olarak açıklamaz. Bu nedenle, ağı yapısı, nöron tipleri ve aktivasyon fonksiyonları gibi hiper parametre ayarlarının uygulama özelinde dikkatlice belirlenmesi gerekmektedir [83].

3.7.1.3 İleri beslemeli sinir ağlarının çalışması

İleri beslemeli sinir ağları iki aşamada çalışır: ileri besleme ve geri yayılım.

İleri besleme aşamasında, giriş verileri ağ üzerinden geçer; burada her bir gizli katman, girişlerin ağırlıklı toplamını hesaplar ve bir aktivasyon fonksiyonu uygular. Bu işlem, çıktı katmanını bir tahmin üretene kadar tekrarlanır.

Geri yayılım aşamasında tahmin hataları hesaplanır ve ağ üzerinden geriye doğru yayılır. Ağırlıklar, eğim iniş optimizasyonu kullanılarak hataları en aza indirecek şekilde ayarlanır. Bu yinelemeli süreç, ağın doğruluğunu ve tahmin performansını artırır.

3.7.1.4 Eğitim prosedürü

Sinir ağlarının eğitim süreci, ağırlık parametrelerinin bilinmeyen hedef fonksiyon $u(X)$ ile ilişkili olarak ayarlanmasını ifade eder. Bir İleri Beslemeli Sinir Ağı (YSA) içerisinde J sayıda nöron bulunduğunda, ağırlık parametreleri matrisini W oluşturur. Bu matris, her bir bireysel nöron $j \in \{1, \dots, J\}$ için ağırlık vektörünü $\rightarrow w_j$ ve ilgili bias (sapma) $b_{j,0}$ içerir [84].

$$W = \begin{bmatrix} \overrightarrow{w_1} \\ \overrightarrow{w_2} \\ \vdots \\ \overrightarrow{w_j} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{1,0} \\ b_{2,0} \\ \vdots \\ b_{j,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \vdots & w_{1,N} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \vdots & w_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{j,1} & w_{j,2} & \vdots & w_{j,N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{1,0} \\ b_{2,0} \\ \vdots \\ b_{j,0} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

3.7.1.5 Ağ başlatma

Ağ başlatma, sinir ağının eğitim sürecine başlamadan önce gerekli ayarların yapılmasını ifade eder. Bu süreç, ağırlıkların başlangıç değerlerinin belirlenmesini ve aktivasyon fonksiyonları ile öğrenme hızı gibi diğer parametrelerin uygun şekilde seçilmesini içerir. Başlatmanın amacı, ağın eğitim sürecine en iyi şekilde başlamasını sağlamak ve bu sayede performansın artırılmasını, ayrıca gradyanların solması veya patlaması gibi olası sorunların önlenmesini mümkün kılmaktır.

3.7.1.6 Kayıp fonksiyonu (Hata Fonksiyonu)

Kayıp fonksiyonu, modelin tahmin ettiği çıktılar ile gerçek hedef değerler arasındaki farkı ölçen ve makine öğreniminin temel bir bileşeni olan bir ölçüttür. Bu fonksiyon, modeldeki tahmin hatalarını değerlendirir ve bu hataların azaltılmasını, dolayısıyla modelin doğruluğunun artırılmasını sağlamak amacıyla optimizasyon sürecine yön

verir. Farklı görevler için farklı kayıp fonksiyonu türleri kullanılmaktadır; örneğin, regresyon problemlerinde ortalama kare hata (MSE) ve sınıflandırma problemlerinde çapraz entropi kaybı gibi fonksiyonlar tercih edilir [83].

3.7.1.7 Geri yayılım (Backpropagation)

Sinir ağlarını eğitmek için kullanılan temel bir algoritma, ağırlık matrisini kayıp fonksiyonunu minimize edecek şekilde ayarlamak amacıyla tasarlanmıştır. Mevcut performans belirlendikten sonra, hedef, kayıp fonksiyonu olan LMSE (W)'yi minimize etmektir. Bu hedefe ulaşmak için, ağırlıklar, kayıp fonksiyonunun gradyanı (türev) temel alınarak güncellenir. Geri Yayılım (BP) algoritması, zincir kuralını kullanarak kayıp fonksiyonunun hatasının çıktı katmanından giriş katmanına doğru nasıl yayıldığını hesaplar. Bu süreç, her bir ağırlığın genel hata üzerindeki etkisini belirler ve bu sayede hedeflenmiş ayarlamalar yapılmasına olanak tanır. Ağırlıklar, Gradient Descent Algoritması (GDA) kullanılarak güncellenir; burada her ağırlık, kayıp fonksiyonunu en fazla azaltacak yönde değiştirilir.

$$W_{k+1} = W_k - \eta \frac{\partial LMSE}{\partial W} \quad (3.19)$$

Ve η öğrenme oranını ifade eder Küçük bir öğrenme oranı, yakınsamanın yavaşlamasına neden olabilirken, büyük bir oran patlayan gradyanlar gibi sorunlara yol açabilir. Bu zorlukları aşmak için, öğrenme verimliliğini artırmak ve gradyan güncellemelerini stabilize etmek amacıyla Momentum içeren Adaptive Moment Estimation (ADAM) gibi optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır.

3.7.1.8 Erken durdurma

Erken durdurma, makine öğrenmesi modellerinin eğitiminde aşırı uyumu (overfitting) önlemek amacıyla kullanılan bir tekniktir. Bir model, veri kümesi üzerinde birden fazla dönem (epoch) boyunca eğitim aldıkça, eğitim verileri üzerindeki hata genellikle azalır. Ancak, model aşırı uyum gösterdiğinde, doğrulama verileri üzerindeki hata artış gösterebilir. Erken durdurma tekniği, her epoch'un sonunda doğrulama hatasını izleyerek modelin performansını değerlendirir. Eğer doğrulama hatası kötüleşirse, eğitim süreci durdurulur. Bu yöntem, modelin iyi bir şekilde genelleştiğinden ve aşırı uyumdan kaçınıldığından emin olunmasını sağlar [84].

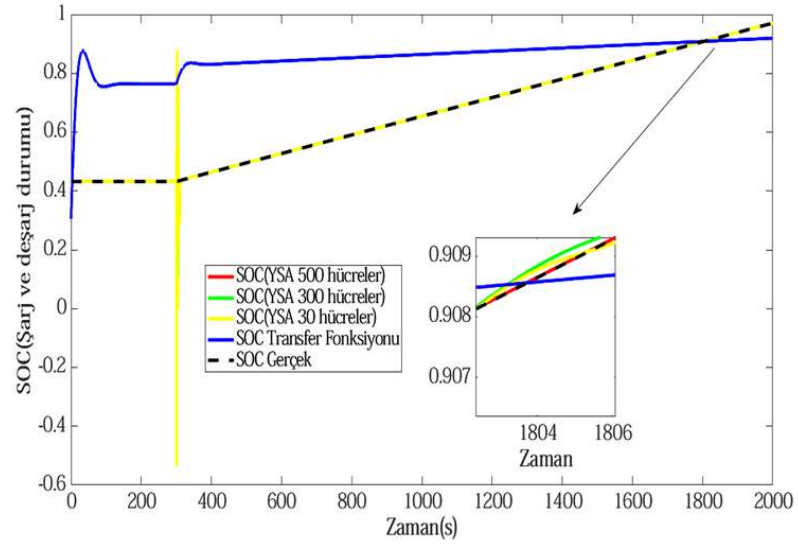
3.7.1.9 İleri beslemeli sinir ağlarının eğitimi

İleri beslemeli bir sinir ağının eğitimi, nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlıklarını optimize etmek amacıyla bir veri kümesinin kullanıldığı yinelemeli bir süreçtir. Bu süreçte, veri kümesi ağ üzerinden birden fazla kez geçirilir ve her iterasyonda tahmin hatasının azaltılması amacıyla ağırlıklar güncellenir. Bu yöntem, gradyan düşüşü olarak adlandırılır ve süreç, ağın eğitim verileri üzerinde tatmin edici bir performans sergilemesi sağlanana kadar devam eder.

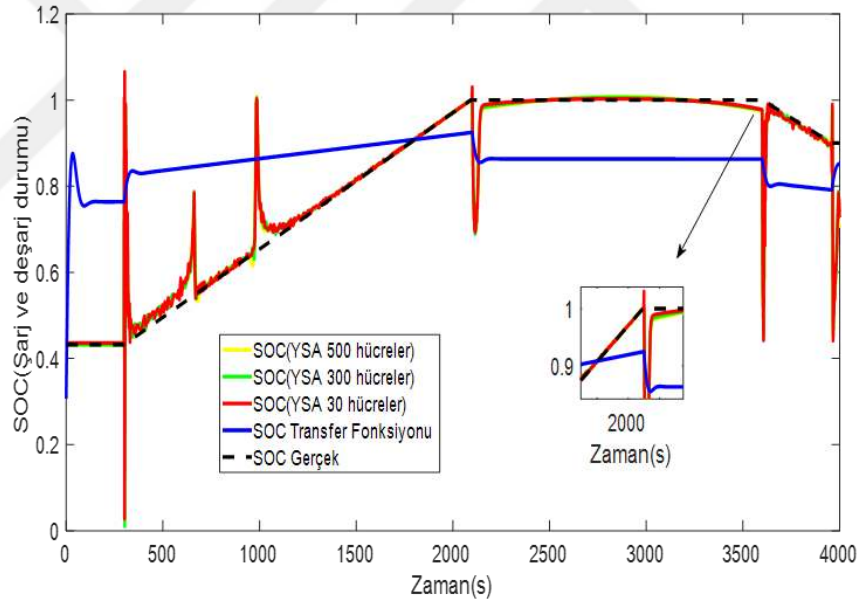
3.7.2 MATLAB'da sinir ağlarını kullanarak şarj durumunu tahmin etmek için önerilen yöntem

Bu yöntemi, önceki yöntemle (ikinci dereceden transfer fonksiyonu kullanılarak modelleme) elde edilen düşük şarj durumu sonuçlarını iyileştirmek amacıyla kullanmış bulunmaktayız. Yapay sinir ağı modeli, şarj durumunu (SOC) tahmin etmede daha yüksek doğruluk sağlamayı hedeflemektedir. MATLAB ortamında ileri beslemeli sinir ağını eğittik ve giriş ile çıkış verilerini belirledik. Bu yöntemde, çıkışın gerçek şarj durumu olduğu ve voltajın transfer fonksiyonunun çıkışına girişi voltaj olarak uygulandığı bir yaklaşım izledik. Giriş ve çıkış verilerini MATLAB programı kullanarak belirledikten sonra, Feedforwardnet komutunu kullanarak ağdaki nöron sayısını seçtik. Daha sonra, Train (net, P', T') komutunu kullanarak yapay sinir ağını eğittik. Eğitim sürecinde, şarj durumu tahminini iyileştirmek amacıyla modelin etkinliğini değerlendirmek üzere çeşitli eğitim senaryolarını test ettik.

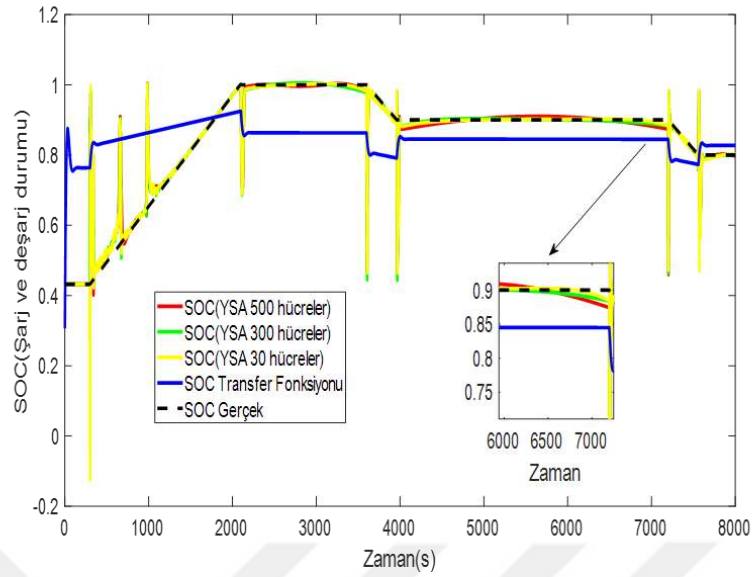
MATLAB programında yapay sinir ağını eğittikten sonra, modeli üç farklı zaman diliminde test ettik: 2000 saniye, 4000 saniye ve 8000 saniye. Her bir zaman diliminde, modelin performansını değerlendirmek amacıyla nöron sayısındaki artış veya azalış açısından üç farklı senaryo ile eğittik; bu senaryolar Şekil 3.38, 3.39 ve 3.40'da gösterilmektedir.



Şekil 3.38 Sinir ağını kullanarak 2000 saniye ve 30, 300 ve 500 nöronluk bir süre boyunca şarj vedeşarj durumunun belirlenmesi



Şekil 3.39 Sinir ağını kullanarak 4000 saniye ve 30, 300 ve 500 nöronluk bir süre boyunca şarj vedeşarj durumunun belirlenmesi



Şekil 3.40 Sinir ağını kullanarak 8000 saniye ve 30, 300 ve 500 nöronluk bir süre boyunca şarj vedeşarj durumunun belirlenmesi

Şekil 3.38, 2000 saniyelik bir süre boyunca 30, 300 ve 500 nöron kullanılan modellerin bir temsilini sunmaktadır. Şekil 3.39'da ise aynı nöron sayıları kullanılarak 4000 saniyelik bir süre boyunca modelin benzer bir gösterimi yer almaktadır. Ayrıca, Şekil 3.40 aynı nöron sayılarını koruyarak 8000 saniyelik bir süre boyunca modelin performansını göstermektedir. Bu verileri analiz ederek, eğitim süresinin ve nöron sayısının farklı zaman dilimlerindeki model performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırmak mümkündür. Elde edilen sonuçlar, nöron sayısının artırılmasının model performansını belirgin şekilde iyileştirdiğini, eğitim süresinin ise tahmin doğruluğunu artırabileceğini ve hata oranlarını azaltabileceğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Şekil 3.38'de gösterildiği gibi, 2000 saniyelik süre boyunca 500 nöron kullanılan modelin performansı, aynı süre zarfında 300 veya 30 nöron kullanılan modellere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu gözlem, Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'ta da doğrulanmıştır; burada nöron sayısının artışı model performansının iyileşmesine katkıda bulunmuştur. Ancak, model performansının zamanla veya uzun eğitim süreleri boyunca azalabileceği de gözlemlenmiştir. Örneğin, Şekil 3.38 ve Şekil 3.40'ta görüldüğü gibi, modelin 2000 saniyelik süre boyunca gösterdiği performans, aynı nöron sayısı (500) ile 8000 saniyelik süredeki performansından daha yüksektir. Bu performans düşüşü, uzun eğitim süreleri sırasında yetersiz eğitim örneklerinin etkisinden kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca, eğitim süresinin uzatılmasının potansiyel sorunları da bulunmaktadır:

Aşırı Eğitim (Overfitting): Uzun eğitim süreleri, modelin eğitim verilerine aşırı uyum sağlamasına neden olabilir. Bu durum, modelin genel desenler yerine veri üzerindeki ince detayları ve gürültüyü öğrenmesine yol açar ve dolayısıyla modelin yeni, görülmemiş verilerle test edilmesinde performans düşüşü yaşanabilir.

Ağırlık Güncelleme Sorunları: Eğitim süresinin uzaması, model parametrelerinde dalgalanmalara veya sapmalara neden olabilir, bu da performansın düşmesine yol açabilir.

Öğrenme Hızı Artışı: Uzun eğitim süreleri, öğrenme hızının uygun şekilde ayarlanmaması durumunda olumsuz etkilere yol açabilir. Öğrenme hızı çok yüksekse, ağırlıklarda dalgalanmalara ve modelin dengesizliğine neden olabilir. Öğrenme hızı çok düşükse, öğrenme süreci yavaşlayabilir.

Bu nedenlerle, gelişmiş model performansı ve nöron sayısı ile eğitim süresi arasında en uygun dengeyi sağlamak için bu faktörlerin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

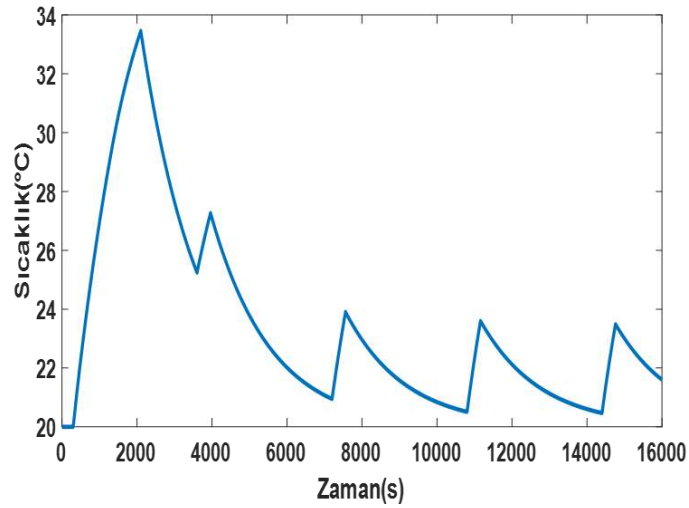
4.1 MATLAB Kullanarak Lityum Batarya İçin Termoelektrik Model Oluşturma

Elektrikli araçlarda kullanılan lityum bataryaların termoelektrik modelinin oluşturulması, bataryanın termal ve elektriksel davranışlarının derinlemesine anlaşılmasını gerektiren karmaşık bir süreçtir. MATLAB, böyle bir modeli geliştirmek için kullanılacak güçlü bir araçtır. Termoelektrik model oluşturma'nın ilk adımı, termal ve elektriksel alt modelleri birleştiren basitleştirilmiş bir batarya modeli oluşturmaktır. Bu model, bataryanın termal ve elektriksel davranışları arasındaki etkileşimleri yakalayarak bataryanın genel termal ve elektriksel davranışının kapsamlı bir açıklamasını sağlar. Basitleştirilmiş modelin geliştirilmesinin ardından, simülasyon hatalarının minimizasyonu amacıyla model parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Bu optimizasyon, meta sezgisel algoritmalar ve en küçük kareler yaklaşımını birleştiren hibrit bir yöntem kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ayrıca, farklı ısı dağılımı koşulları altında zamanla değişen model parametreleri göz önünde bulundurulabilir ve bataryanın iç durumunu ve zamanla değişen model parametrelerini gerçek zamanlı olarak tahmin etmek için ortak bir genişletilmiş Kalman filtresi kullanılabilir.

MATLAB, elektrikli araçlarda kullanılan lityum bataryaların termoelektrik modelini oluşturmak için geniş bir araç ve işlev seti sunar. Bu araçlar ve işlevler, bataryanın termal ve elektriksel davranışlarını doğru bir şekilde yansıtan kapsamlı bir modelin geliştirilmesi için kullanılabilir. Model, bataryanın performansını etkileyen iki önemli durum değişkeni olan bataryanın iç sıcaklığını ve şarj durumunu (SOC) tahmin etmek amacıyla kullanılabilir. Bu tez kapsamında, bir lityum hücrenin dinamik özelliklerini daha doğru bir şekilde modellemek için bir termoelektrik model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin parametre değerleri, şarj ve deşarj darbeleri uygulandıktan sonra elde edilen deneysel batarya verileri kullanılarak belirlenmiştir. Simülasyon için MATLAB/Simulink yazılımı kullanılarak termoelektrik model oluşturulmuştur. Batarya ayarları Tablo 3.2'de gösterilen parametreler kullanılarak yapılmıştır.

Model MATLAB ortamında kurulup uygulandı; Şekil 3.23, Simscape™ aracı kullanılarak oluşturulan elektrik devresi modelini göstermektedir. Buna karşılık, Şekil 3.24 aynı araç kullanılarak oluşturulan termal modeli göstermektedir. Şekil 3.25, termoelektrik modelin Simscape™'deki son versiyonunu temsil etmektedir.

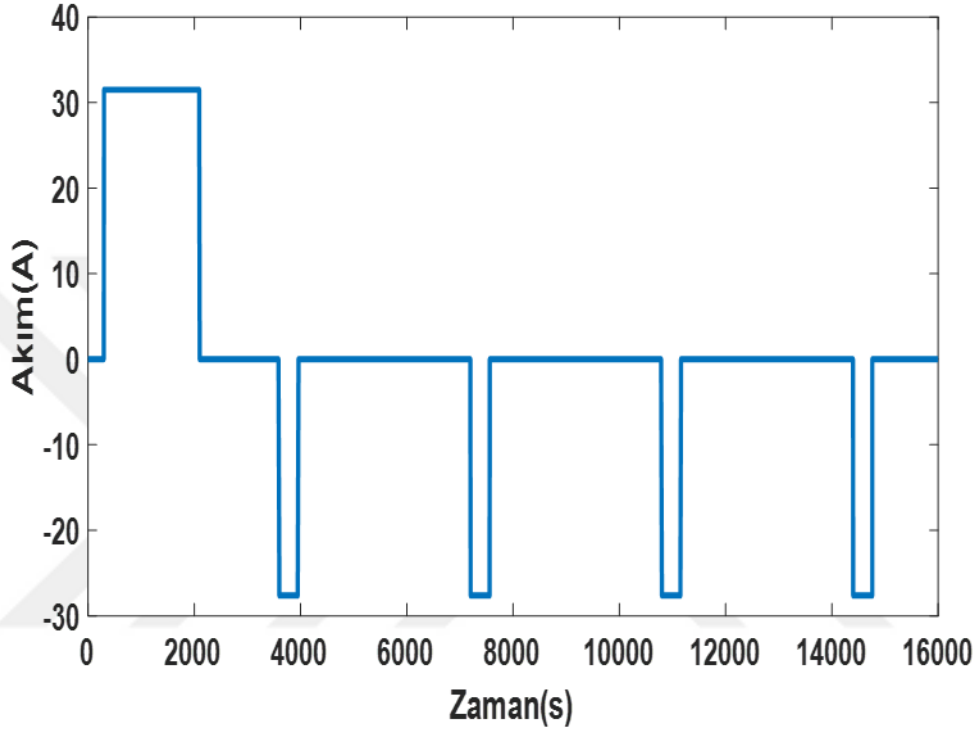
Elektrikli araç akülerinde genellikle sadece akünün yüzey sıcaklığı gerçek zamanlı olarak ölçülebilmektedir. Ancak, özellikle yüksek güç gerektiren uygulamalarda, bataryanın performansını doğrudan etkileyen faktör, bataryanın iç sıcaklığıdır. Bu durumlarda, bataryanın yüzey sıcaklığı ile iç sıcaklığı arasında önemli bir fark bulunabilir. Mohammed ve Bayındır [78] tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, şarj ve deşarj işlemleri sırasında batarya sıcaklığı farkı ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Şekil 4.1, sıcaklık değişimini görsel olarak temsil etmektedir. Grafik, şarj süresi boyunca sıcaklığın $t = 0$ saniye ile $t = 2000$ saniye arasında kademeli olarak arttığını ve ardından deşarj süresi boyunca kademeli olarak azalmaya başladığını göstermektedir. Bu gözlemler, bataryanın optimum performansını sağlamak ve yüzey sıcaklığına kıyasla iç sıcaklığın artışı önlemek amacıyla iç sıcaklığın izlenmesinin önemine dikkat çekmektedir.



Şekil 4.1 Bataryanın zamanı bağlı olarak şarj ve deşarj durumundaki sıcaklık(°C) zamanı(s) ilişkisi

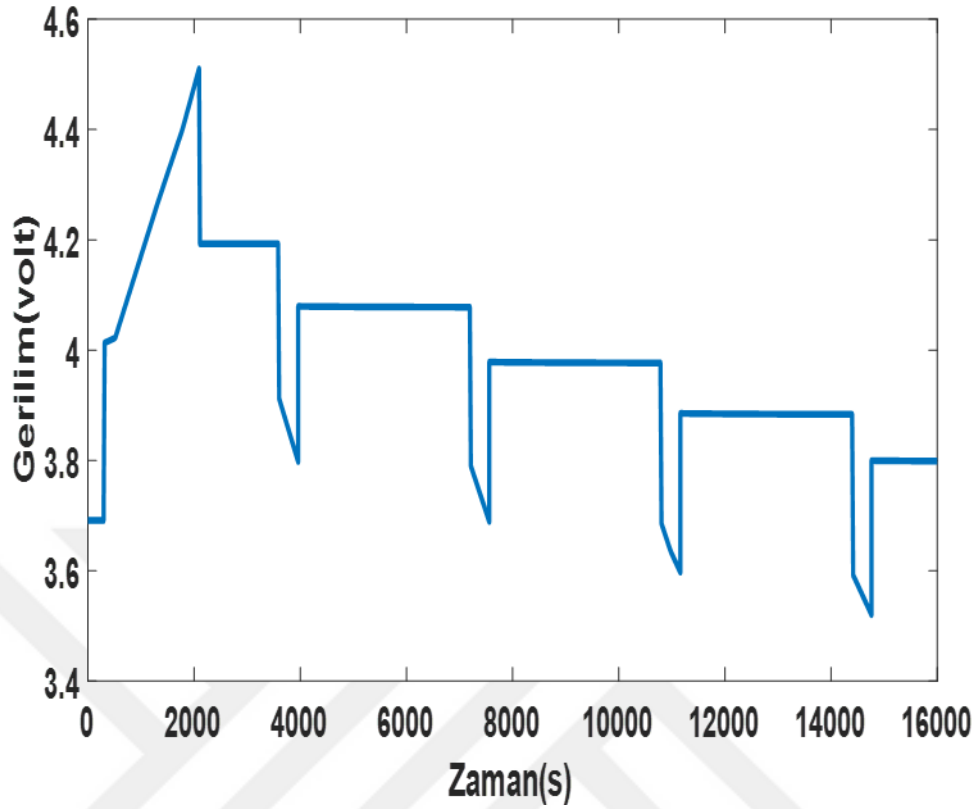
Bataryanın şarj ve deşarj akımlarını tahmin etmek, bataryanın daha verimli çalışmasını ve enerjiyi daha etkili bir şekilde kullanmasını sağlamak açısından büyük öneme sahiptir. Şekil 4.2 ardışık dalgalardan oluşan şarj ve deşarj akımını göstermektedir. Akım, batarya performansının doğru analizine olanak tanıyan şarj ve deşarj darbelerinin bir kombinasyonu olarak tanımlanır. Mohammed ve Bayındır'a[78]göre,

şekilde gösterildiği gibi, şarj darbeleri $t = 0$ saniye ile $t = 2000$ saniye arasında bir zaman diliminde gerçekleşir. Bu sürenin sonunda, darbeler şarjdandeşarja geçişi yansıtandeşarj darbelerine dönüşür. Bu darbe modeli, bataryanın enerjiyi depolama ve boşaltma verimliliğini belirlemek ve böylece çeşitli uygulamalarda elektrik sisteminin genel performansını artırmak için kullanılabilir.



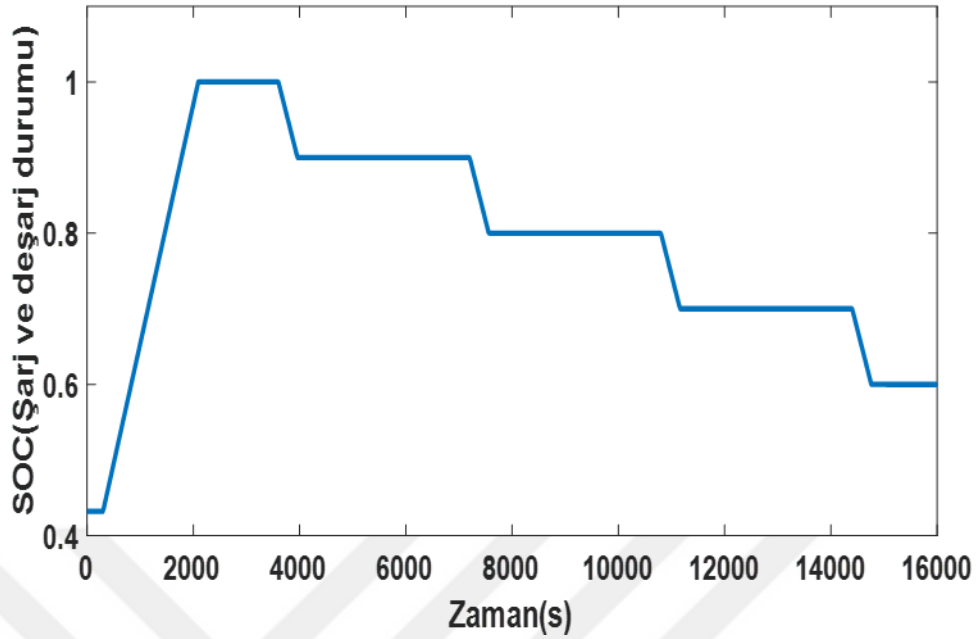
Şekil 4.2 Bataryanın zamanı bağlı olarak şarj vedeşarj durumundaki akımı zamanı (s) ilişkisi

Bataryaların termoelektrik modelleri bağlamında, batarya voltaj çıkışını tahmin etmek, termal ve elektriksel davranışlar arasındaki etkileşimin anlaşılmasını içerir. Şekil 4.3 bataryanın beklenen voltaj çıkışını göstermektedir. Mohammed ve Bayındır'a [78] göre, şekil 4.3'de gösterilen voltajın, akımın temsil ettiği giriş sinyaliyle eşleştiğine dikkat edilmelidir. Şekil 4.2'teki şarj darbeleri, bu darbelerin yüksek olduğu $t=0$ saniye ve $t= 2000$ saniye kadar olan zaman dilimindeki voltaj darbelerine karşılık gelir. Kalan darbeler gelince, bunlar kalan anlardaki voltaj darbelerine karşılık gelir, bu da voltaj darbelerinin giderek azalmaya başladığı anlamına gelir.



Şekil 4.3 Bataryanın zamanı bağlı olarak şarj ve deşarj durumundaki gerilim zamanı (s) ilişkisi

Bataryanın şarj durumu (SOC), bataryanın toplam kapasitesine göre depolanan enerji miktarını ifade eder. Batarya performansını optimize etmek, şarj ve deşarj işlemlerini yönetmek ve genel sistem verimliliğini sağlamak için doğru SOC tahmini büyük önem taşır. Bu bağlamda, doğru termoelektrik modellerin geliştirilmesi kritik bir rol oynar. Bu modeller, sıcaklık, iç direnç ve SOC arasındaki etkileşimi etkili bir şekilde yakalar. Şekil 4.7 bataryanın şarj durumunu göstermektedir. Mohammed ve Bayındır'a [78] göre, $t=0$ saniye ile $t=2000$ saniye arasındaki ilk darbe bataryanın tam şarjlı durumunu temsil eder ancak Şekil 4.2'te gösterilen deşarj darbeleri uygulandığında şarj durumu da aynı şekilde azalmaya başlar.



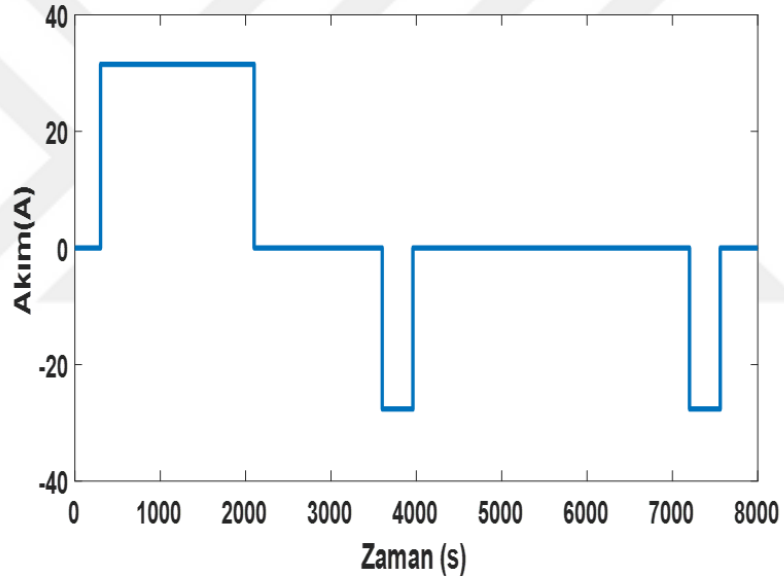
Şekil 4.4 Bataryanın zamanı bağılı olarak şarj ve deşarj durumundaki zamanı(s) ilişkisi

4.2 Transfer Fonksiyonunu Kullanan Önerilen Batarya Modelinin Bulguları

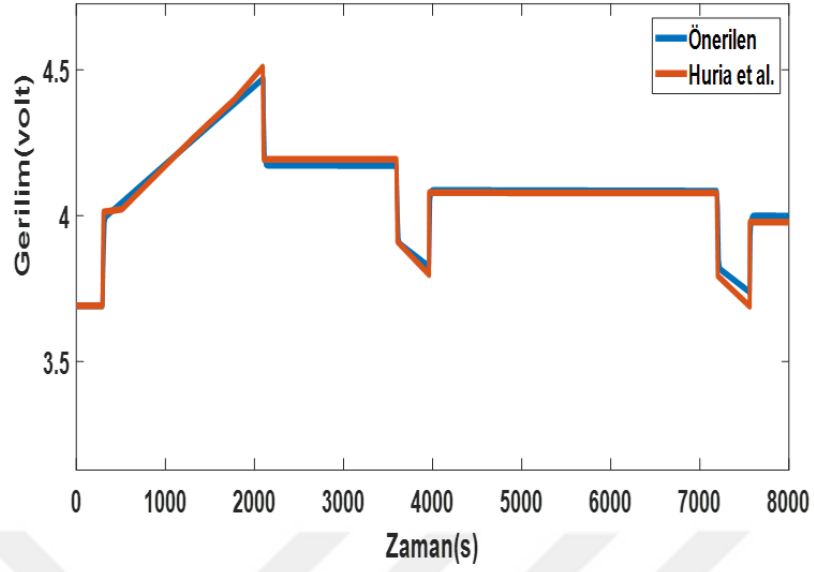
Bu tezde, Denklem 3.14'te tanımlanan transfer fonksiyonunun batarya davranışını temsil etmesi önerilmiştir. Bu transfer rölesi, batarya performansını iyileştirmek ve durumunu gerçek zamanlı olarak tahmin etmek gibi birden fazla uygulamada kullanılabilecek doğru bir model sağlamak için bataryanın dinamik tepkisini analiz etmeye dayanmaktadır. Bu transfer fonksiyonunun incelenmesiyle, bataryanın farklı çalışma koşulları altındaki elektriksel ve termal özelliklerine ilişkin daha derin bir anlayış elde edilebilir, bu da elektrikli araçlardaki enerji depolama sistemlerinin verimliliğinin ve güvenliğinin artırılmasına katkıda bulunur. Bu araştırmada önerilen transfer fonksiyonunun etkinliği bilimsel literatürde önerilen bazı yöntemlerle karşılaştırılmıştır [68]. Bu karşılaştırmanın amacı, önerilen fonksiyonun batarya davranışını temsil etmedeki doğruluğunu ve etkinliğini daha önce onaylanmış yöntemlerle karşılaştırmaktır. Bu karşılaştırma aracılığıyla performans ve verimlilik, çeşitli çalışma koşulları altında analiz edilerek, batarya modellemesinin geliştirilmesine ve pratik uygulamalarda en yüksek düzeyde doğruluk ve güvenilirliğe ulaşmak için en iyi yöntemlerin seçilmesine ilişkin kapsamlı bilgiler sağlanmıştır. Başlangıçta, Huria ve arkadaşlarının yöntemi hakkında bilgi verilmiştir, çünkü bu yöntem paragraf 3.5.5 ve 3.5.5.1'te gösterilen termoelektrik modele ve bu yöntemin

MATLAB programında temsilini gösteren Şekil 3.22 ve 3.23'ye bağlıdır. Şekil 3.22 elektriksel eşdeğer devre modelini gösterirken, Şekil 3.23 termal modeli göstermektedir. Bu yöntem, termal ve elektriksel etkilerin kapsamlı bir model sağlamak üzere birleştirildiği Matlab'da bir bataryanın dinamik davranışını modellemek için kullanılır. Bu model, Matlab'da bulunan araçların ve fonksiyonların, batarya performansını analiz etmek ve tasarımını farklı uygulamaların gereksinimlerine göre optimize etmek için nasıl kullanılabileceğini, termal ve elektriksel etkileşimlerin ve bunların elektrikli araçlarda batarya performansı üzerindeki etkisinin anlaşılmasını geliştireceğini göstermektedir. Huria ve arkadaşlarının yöntemi, batarya davranışını temsil etmek için 28 parametreler kullanıyor. Buna karşılık önerilen model, Denklem 4.3'te belirtilen transfer fonksiyonunun parametrelerini belirlemek için yalnızca yedi değişkene ihtiyaç duyar. Bu, önerilen modelin daha az hesaplama belleği tüketmesini sağlayarak hesaplamalardaki verimliliğini ve hızını artırır. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi, her iki yöntemin performansını karşılaştırmak için akım dalgalarını içeren bir giriş sinyali kullanıldı. Bu karşılaştırma, hesaplama karmaşıklığının azaltılması ve farklı çalışma koşulları altında batarya davranışının tahmin edilmesinin etkinliğinin artırılması açısından potansiyel faydaların belirlenmesine yardımcı olan diğer yöntemle karşılaştırıldığında önerilen modelin doğruluğunu ve verimliliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu dalgalar, 300 saniye ve 2100 saniyelik bir şarj darbesiyle başlar ve ardından sırasıyla 3600 saniye ve 3950 saniye ve 7200 saniye ve 7560 saniyelik iki deşarj darbesi gelir. Bu zaman sinyalleri, önerilen modelin tepkisini değerlendirmek ve diğer yöntemle karşılaştırıldığında performansını analiz etmek için kullanılır. Bu karşılaştırma, şarj ve deşarj dinamiklerinin bataryalar davranışı üzerindeki etkisinin anlaşılmasını sağlar ve farklı çalışma koşulları altında elektrikli araçlarda bataryalar performansını tahmin etmek için kullanılan termoelektrik modellerin doğruluğunun geliştirilmesine yardımcı olur. Şekil 4.6, Huria ve diğerleri tarafından sunulan termal eşdeğer devre modelinin voltajını göstermektedir. Bu çalışmada önerilen gerilime ek olarak 8000 s'lik bir zamanda. Şekil 4.6'de gösterilen önerilen yöntemin Huria ve diğerleri tarafından sunulan yöntemle göre iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bu karşılaştırma, önerilen modelin batarya davranışını temsil etmedeki etkinliğini ve performansını tahmin etmedeki doğruluğunu yansıtır ve bu çalışmada önerilen yöntemin önceki modellere göre yapabileceği iyileştirmeleri vurgular. Önerilen

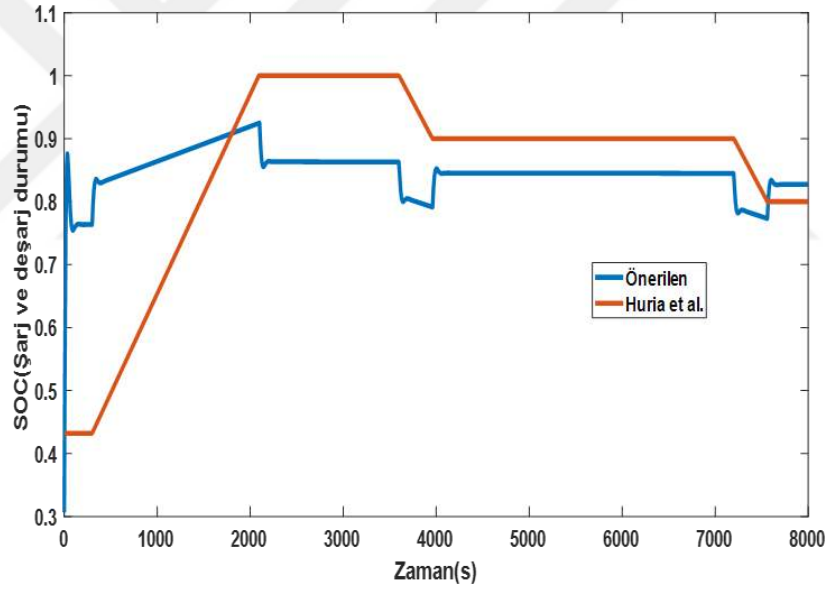
yöntemin Huria ve arkadaşlarının yöntemine göre daha az programlama çabası gerektirdiği de belirtilmelidir. Huria ve arkadaşlarının yöntemi ise 28 değişken kullanılarak uygulanmıştır, bu çalışmada kullanılan yöntem ise yalnızca 7 değişkene ihtiyaç duymaktadır. Bu, önerilen modelin hesaplama verimliliğini artırır ve uygulama sürecini ve elektrik batarya ile çalışmalarında kullanılan verileri analiz etmeyi kolaylaştırır. Şekil 4.7, Huria ve diğerleri tarafından sunulan ve tatmin edici sonuçlar veren termal eşdeğer devre modelindeki şarj durumuyla karşılaştırıldığında önerilen şarj durumunu göstermektedir. Bu rakam, bataryanın şarj durumunu temsil etme doğruluğunun iyileştirilmesi ve değişen koşullar altında batarya davranışını tahmin etmede modelin verimliliğinin artırılması dahil olmak üzere önerilen teklifin potansiyel faydalarını vurgulamaktadır.



Şekil 4.5 Bir şarj ve iki deşarj darbesi için batarya akımı



Şekil 4.6 Termal eşdeğer devre modeli voltajı ve bu makalede önerilen voltaj



Şekil 4.7 Termal eşdeğer devre modeli şarj durumu ve bu makalede önerilen şarj durumu

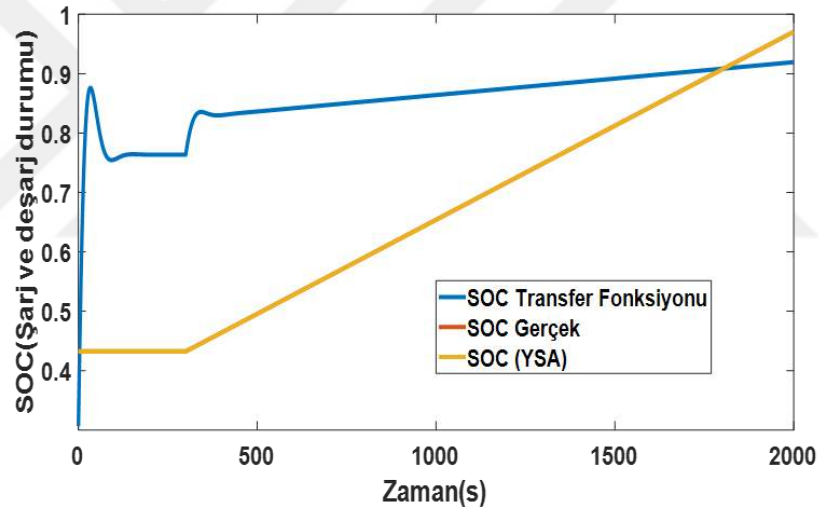
4.3 Sinir Ağı Kullanarak Şarj Durumu Tahmin Bulguları

Bu çalışmada, şarj durumunu tahmin etmek için yapay sinir ağı teknikleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ikinci dereceden transfer fonksiyonu kullanılarak elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında belirgin bir üstünlük göstermiştir. Yapay sinir ağının eğitimi Bölüm 3.8.2'de anlatılan metodolojiye göre tamamlandıktan sonra modelden elde edilen en iyi şarj durumu sonuçları seçilmiştir. Bu sonuçlar, ikinci dereceden transfer fonksiyonu kullanılarak elde edilen sonuçlarla ve ayrıca ısı eşdeğer devre modeli sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmayı gerçekleştirmek için, aynı nöron sayısına sahip olmakla birlikte farklı zaman dilimlerinde üç senaryoda performans analizi yapılmıştır. Bu değerlendirme, yapay sinir ağlarının geleneksel yöntemlerle ve diğer şarj durumu analiz yöntemleriyle karşılaştırıldığında etkinliğini anlamaya yardımcı olmakta ve farklı zaman koşulları altında performans değerlendirmesi yapma imkânı sunmaktadır.

- İlk sonuç

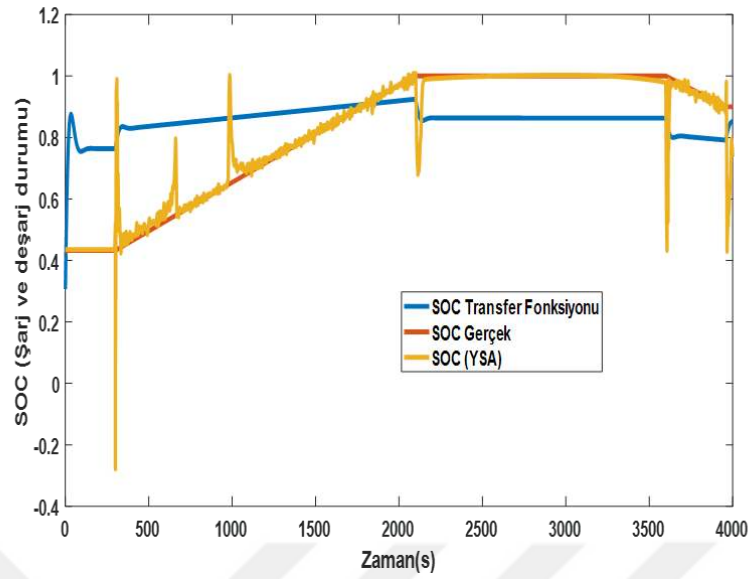
Sinir ağı MATLAB kullanılarak 2000 saniyede ve 500 nöron kullanılarak eğitildi. Bu durumda sonuçlar, Şekil 4.8'de gösterildiği gibi sinir ağının çıkış voltajının gerçek şarj durumunda mükemmel eşleşir olduğunu göstermektedir. Bu durum, sinir ağını kullanan önerilen yöntemin, şarj durumunu belirlemede transfer fonksiyonunu kullanmaya göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.



Şekil 4.8 Şarj durumunun 2000 saniyelik bir süre içinde sinir ağı kullanılarak belirlenmesi

- İkinci sonuç

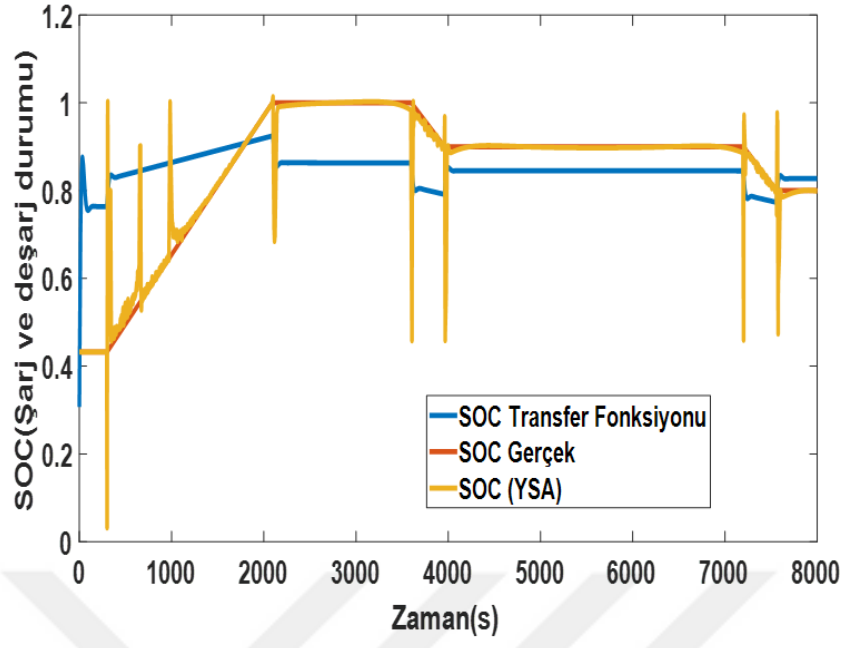
Bu durumda süre 2000 saniyeden 4000 saniyeye uzatılmış ve sinir ağı MATLAB kullanılarak 500 nöron ile eğitilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Şekil 4.9'da gösterildiği üzere, sinir ağının çıkış voltajının gerçek şarj durumuna oldukça yakın olduğunu, ancak önceki durumda elde edilen mükemmel eşleşmeye kıyasla daha az uyum sağladığını göstermektedir. Buna rağmen, bu bulgular sinir ağı kullanan önerilen yönteminin, bu koşullarda bile şarj durumunu belirlemede transfer fonksiyonunu kullanmaktan daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.9 Şarj durumunun 4000 saniyelik bir süre içinde sinir ağı kullanılarak belirlenmesi

- Üçüncü sonuç

Bu durumda süre, önceki iki duruma göre daha uzun olup 8000 saniyeye tekabül etmektedir. Sinir ağı, aynı sayıda nöron (500 nöron) kullanılarak MATLAB ile eğitilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Şekil 4.10'da gösterildiği üzere, sinir ağının çıkış voltajının gerçek şarj durumuna yakın olduğunu, ancak önceki iki durumda sağlanan doğruluğa ulaşamadığını göstermektedir. Buna rağmen, bu bulgular sinir ağını kullanan önerilen yöntemimizin, ağın eğitildiği üç durumda da şarj durumunu belirlemede transfer fonksiyonunu kullanmaktan daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.10 Şarj durumunun 8000 saniyelik bir süre içinde sinir ağı kullanılarak belirlenmesi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Elektrikli araçlar alanındaki hızlı teknolojik gelişmelere ve bu alana yönelik büyük ilgiye rağmen, mevcut teknoloji henüz geleneksel içten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında eşdeğer bir seviyeye ulaşmamıştır. Batarya ile ilgili sorunlar, elektrikli araçların gelişiminin önündeki en büyük engellerden biridir. Bu nedenle, bu araştırma batarya modellemeye odaklanmıştır. MATLAB/Simulink programını kullanarak elektro termal bir model oluşturmuş ve bu modelin davranışını incelemiş bulunmaktayız.

MATLAB programında yapılan çalışmanın sonuçları, $t=0$ saniye ile $t=2000$ saniye arasındaki süre zarfında şarj darbelerinin gözlemlendiğini, şarj durumunun zirveye ulaştığını ve sıcaklığın arttığını göstermiştir. Ayrıca batarya voltajı giriş akımıyla, şarj darbeleri ise voltaj artışıyla orantılıydı. Buna karşılık, kalan süre boyuncadeşarj darbeleri, sıcaklıkta bir düşüş ve şarj durumunda bir azalma gözlenir. Bu sonuçlar, modelin bataryanın sağlık davranışını ve şarj durumunu doğru bir şekilde yansıttığını ve aynı zamanda modelin şarj vedeşarj süreçleri sırasında termal ve elektriksel değişiklikleri doğru bir şekilde simüle etmedeki etkinliğini ortaya koyduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, ikinci dereceden transfer fonksiyonuna dayalı matematiksel bir ilişki kurularak batarya voltajını ve şarj durumunu tahmin etmek için basit ve etkili bir model geliştirilmiştir. Bu yöntemin sonuçları, termal eşdeğer devre modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemin batarya voltajını tahmin etmede mükemmel performans ve şarj durumunu tahmin etmede kabul edilebilir bir performans sağladığını göstermiştir. Bu yöntemin temel avantajlarından biri, karşılaştırmalı modele göre daha az hesaplama belleği gerektirmesi ve daha az parametre kullanmasıdır; bu da onu pratik uygulamalar için uygun bir seçim haline getirmektedir. Voltaj tahmininin sonuçları, şarj durumu tahmininden daha iyi olsa da şarj durumu tahmininin daha karmaşık olması nedeniyle model genel olarak iyi performans göstermiştir.

Daha iyi şarj durumu tahminleri elde etmek amacıyla yapay sinir ağı modeli entegre edilmiştir. Şarj durumu, sinir ağı kullanılarak üç farklı senaryoda incelenmiştir; bu

senaryolar, zaman aralığı ve sinir hücrelerinin sayısındaki değişiklikleri içermektedir. Sonuçlar, sinir ağının transfer fonksiyonuna dayalı yaklaşıma kıyasla şarj durumu tahmininde iyileştirme sağladığını ve özellikle 2000 saniyelik zaman diliminde ve 500 sinir hücresi kullanıldığında belirgin bir iyileşme sağladığını göstermiştir.

Bu çalışmaya ve elde edilen sonuçlara dayanarak, elektrikli araç batarya modellemesi ve geliştirmesinin batarya performansının iyileştirilmesinde ve verimliliğinin artırılmasında önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

5.2 Öneriler

Önerilen algoritmaları uygulayacak kişiler gerçek bir batarya modeli hazırlamalıdır. Bu hazırlık, lityum iyon bataryalar gibi uygun batarya tipinin seçilmesini ve kapasite, voltaj ve çevrim ömrü gibi teknik özelliklerinin belirlenmesini içermelidir. Önerilen algoritma, batarya performansına ilişkin verileri gerçek zamanlı olarak izleyen ve işleyen bir batarya yönetim sistemi (BMS) ile entegre edilerek çalışma yapılmalıdır. Deneysel araştırma sonuçlarına dayanarak, batarya davranışını temsil eden farklı modellerin, örneğin elektro termal ve kimyasal modellerin, en uygun modeli bulmak için karşılaştırılması gerekir. Ayrıca, her modelin verimlilik, tahmin doğruluğu ve farklı çalışma koşullarında performans istikrarı gibi bir dizi kriterle değerlendirilmesi gerekir. Değerlendirmenin doğruluğunu sağlamak ve en iyi modeli belirlemek için, verilerin ileri istatistiksel araçlar ve matematiksel modeller kullanılarak analiz edilmesi gerekir.

Sinir ağlarının batarya verilerini analiz etme ve yönetme performansını artırmak amacıyla yeni bir sinir ağı geliştirilmelidir. Geliştirme sürecinde, gelişmiş derin öğrenme ve sinir ağı yöntemlerinin kullanılması, batarya davranışını tahmin etmenin doğruluğunu artırmaya ve yönetimin verimliliğini artırmaya odaklanmalıdır. Yeni sinir ağı, batarya testinden alınan verilerle eğitilecek ve daha sonra etkinliğinin doğrulanması için test edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] G. Xia, L. Cao, and G. Bi, "A review on battery thermal management in electric vehicle application," *J. Power Sources*, vol. 367, pp. 90–105, 2017, doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.09.046.
- [2] H. Tarlak and E. İşen, "Elektrikli Araçlar ve Akü Şarj Sistemleri," *Kırklareli Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 4, pp. 124–141, 2018.
- [3] J. Sarkar and S. Bhattacharyya, "Application of graphene and graphene-based materials in clean energy-related devices Minghui," *Arch. Thermodyn.*, vol. 33, no. 4, pp. 23–40, 2012, doi: 10.1002/er.
- [4] M. Kaba, O. Kalkan, and A. Celen, "Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryalar ve Termal Yönetim Sistemlerinin İncelenmesi," *Konya J. Eng. Sci.*, vol. 9, no. 4, pp. 1119–1136, 2021, doi: 10.36306/konjes.945819.
- [5] S. Üniversitesi, "Dışarıdan Şarj Edilebilen Hibrit Elektrikli Araç ile Menzil Artırıcı Elektrikli Araç Konseptlerinin Karşılaştırmalı Analizi," 2021.
- [6] D. Chen, J. Jiang, G. H. Kim, C. Yang, and A. Pesaran, "Comparison of different cooling methods for lithium ion battery cells," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 94, pp. 846–854, 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.10.015.
- [7] M. S. ÇETİN, B. KARAKAYA, and M. GENÇOĞLU, "Elektrikli Araçlar İçin Lityum İyon Bataryaların Modellenmesi," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 33, no. 2, pp. 755–763, 2021, doi: 10.35234/fumbd.953296.
- [8] M. A. Jusoh and M. Z. Daud, "Accurate battery model parameter identification using heuristic optimization," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 11, no. 1, pp. 333–341, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i1.pp333-341.
- [9] W. Wu, S. Wang, W. Wu, K. Chen, S. Hong, and Y. Lai, "A critical review of battery thermal performance and liquid based battery thermal management," *Energy Convers. Manag.*, vol. 182, no. December 2018, pp. 262–281, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2018.12.051.
- [10] R. Kantharaj and A. M. Marconnet, "Heat Generation and Thermal Transport in Lithium-Ion Batteries: A Scale-Bridging Perspective," *Nanoscale Microscale Thermophys. Eng.*, vol. 23, no. 2, pp. 128–156, 2019, doi: 10.1080/15567265.2019.1572679.
- [11] Y. Cai, Y. Che, H. Li, M. Jiang, and P. Qin, "Electro-thermal model for lithium-ion battery simulations," *J. Power Electron.*, vol. 21, no. 10, pp. 1530–1541, 2021, doi: 10.1007/s43236-021-00300-1.
- [12] V. Lucaferri, M. Quercio, A. Laudani, and F. Riganti Fulginei, "A Review on Battery Model-Based and Data-Driven Methods for Battery Management Systems," *Energies*, vol. 16, no. 23, pp. 1–19, 2023, doi: 10.3390/en16237807.
- [13] J. Lin, X. Liu, S. Li, C. Zhang, and S. Yang, "A review on recent progress, challenges and perspective of battery thermal management system," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 167, p. 120834, 2021, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120834.

- [14] S. Barcellona and L. Piegari, "Lithium ion battery models and parameter identification techniques," *Energies*, vol. 10, no. 12, 2017, doi: 10.3390/en10122007.
- [15] Ghani, Faizan, Kunsik An, and Dongjin Lee. "A Review on Design Parameters for the Full-Cell Lithium-Ion Batteries." *Batteries* 10.10 (2024): 340.
- [16] E. Acar, N. Jain, P. Ramu, C. Hwang, and I. Lee, A survey on design optimization of battery electric vehicle components, systems, and management, vol. 67, no. 3. Springer Berlin Heidelberg, 2024. doi: 10.1007/s00158-024-03737-7.
- [17] M. S. Hossain Lipu et al., "Smart Battery Management Technology in Electric Vehicle Applications: Analytical and Technical Assessment toward Emerging Future Directions," *Batteries*, vol. 8, no. 11, 2022, doi: 10.3390/batteries8110219.
- [18] C. Zhang, K. Li, S. McLoone, and Z. Yang, "Battery modelling methods for electric vehicles - A review," 2014 Eur. Control Conf. ECC 2014, no. June, pp. 2673–2678, 2014, doi: 10.1109/ECC.2014.6862541.
- [19] R. Rao, S. Vrudhula, and D. N. Rakhmatov, "Battery modeling for energy aware system design," *Computer*, vol. 36, no. 12, pp. 77–87, 2003
- [20] M. Pedram and Q. Wu, "Design considerations for battery-powered electronics," *Proc. - Des. Autom. Conf.*, no. c, pp. 861–866, 1999, doi: 10.1145/309847.310089.
- [21] Y. Jin, W. Zhao, Z. Li, B. Liu, and L. Liu, "Modeling and Simulation of Lithium-ion Battery Considering the Effect of Charge-Discharge State Modeling and Simulation of Lithium-ion Battery Considering the Effect of Charge-Discharge State," 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1907/1/012003.
- [22] D. Qin, J. Li, T. Wang, and D. Zhang, "Modeling and Simulating a Battery for an Electric Vehicle Based on Modelica," *Automot. Innov.*, vol. 2, no. 3, pp. 169–177, 2019, doi: 10.1007/s42154-019-00066-0.
- [23] H. Miniguano, A. Barrado, A. Lazaro, P. Zumel, and C. Fernandez, "General parameter identification procedure and comparative study of Li-Ion battery models," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 1, pp. 235–245, 2020, doi: 10.1109/TVT.2019.2952970.
- [24] Artificial Neural Network Simulation of Battery Performance C .. C . O ' Gorman , D . Ingersoll , R . G . Jungst and T . L . F ' aez Sandia National Laboratories PO Box 5800 Albuquerque , NM 87 185 Abstract 2 . Artificial Neural Networks (ANNs),," pp. 115–121.
- [25] A. Panday, H. O. Bansal, and P. Srinivasan, "Thermoelectric Modeling and Online SOC Estimation of Li-Ion Battery for Plug-In Hybrid Electric Vehicles," *Model. Simul. Eng.*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/2353521.
- [26] T. High Fidelity Fidelity Electrical Electrical Model Model with with Thermal Thermal Dependence Dependence for for Characterization Characterization and and Simula- tion tion of of High High Power Power Lithium Lithium Battery Battery CellsHuria, J. Gazzarri, O. Hill, and H. Place, "High Fidelity Fidelity Electrical Electrical Model Model with with Thermal Thermal Dependence Dependence for for Characterization Characterization and and Simula- tion tion of of High High Power

Power Lithium Lithium Battery Battery Cells,” 2012. doi: 10.1109/IEVC.2012.6183271.

[27] S. Okiy, C. Chukwuemeka Nwobi-Okoye, and A. Clement Igboanugo, “Transfer Function Modelling: A Literature Survey,” *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 11, pp. 1265–1279, 2015, doi: 10.19026/rjaset.11.2234.

[28] J. Rodríguez, E. Silva, F. Blaabjerg, P. Wheeler, J. Clare, and J. Pontt, “Matrix converter controlled with the direct transfer function approach: Analysis, modelling and simulation,” *Int. J. Electron.*, vol. 92, no. 2, pp. 63–85, 2005, doi: 10.1080/00207210512331337686.

[29] J. Engelberger, “Springer Handbook of Robotics Robotics & Automation : Books for Robotics,” no. June, 2014.

[30] M. Ali Özel, “Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batary Paketinin Termal Modeli VAnalizi,” BURSA, 2019.

[31] G. Şefkat and M. A. Özel, “Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Hücresinin Elektriksel ve TermalModeli,” *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.*, pp. 51–64, 2020, doi: 10.17482/uumfd.541391.

[32] C. Zhang, K. Li, S. McLoone, and Z. Yang, “Battery modelling methods for electric vehicles - A review,” 2014 Eur. Control Conf. ECC 2014, pp. 2673–2678, 2014, doi: 10.1109/ECC.2014.6862541.

[33] O. Juhlin, “Modeling of Battery Degradation in Electrified Vehicles,” p. 54, 2016, [Online]. Available: <https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1067565/FULLTEXT01.pdf>

[34] E. Samadani, “Modeling of Lithium-ion Battery Performance and Thermal Behavior in Electrified Vehicles,” Univ. Waterloo, Thesis, 2015, [Online]. Available: https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/9256/Samadani_Ehsan.pdf;sequence=1

[35] Y. Hu, S. Yurkovich, Y. Guezennec, and B. J. Yurkovich, “Electro-thermal battery model identification for automotive applications,” *J. Power Sources*, vol. 196, no. 1, pp. 449–457, 2011, doi: 10.1016/j.jpowsour.2010.06.037.

[36] R. Xiong, H. He, H. Guo, and Y. Ding, “Modeling for lithium-ion battery used in electric vehicles,” *Procedia Eng.*, vol. 15, pp. 2869–2874, 2011, doi: 10.1016/j.proeng.2011.08.540.

[37] N. N. Mawuntu, B. Q. Mu, O. Doukhi, and D. J. Lee, “Modeling of the Battery Pack and Battery Management System towards an Integrated Electric Vehicle Application,” *Energies*, vol. 16, no. 20, 2023, doi: 10.3390/en16207165.

[38] A. Fotouhi, D. J. Auger, K. Propp, S. Longo, and M. Wild, “A review on electric vehicle battery modelling: From Lithium-ion toward Lithium-Sulphur,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, no. April, pp. 1008–1021, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.009.

[39] A. Moshirvaziri, “VEHICLES and REGENERATIVE CELL TESTING,” p. 76, 2013.

- [40] S. V. Zaccaria, "Implementation of a semi-empirical, electrochemistry-based Li-ion battery model for discharge characterization," no. June, 2021.
- [41] M. Habib Ullah, T. S. Gunawan, M. R. Sharif, and R. Muhida, "Design of environmental friendly hybrid electric vehicle," 2012 Int. Conf. Comput. Commun. Eng. ICCCE 2012, no. July, pp. 544–548, 2012, doi: 10.1109/ICCCE.2012.6271246.
- [42] Vu, Trieu Minh, et al. "Parallel hybrid electric vehicle modelling and model predictive control." *Applied Sciences* 11.22 (2021): 10668.
- [43] E. Silvas, T. Hofman, N. Murgovski, L. F. P. Etman, and M. Steinbuch, "Review of Optimization Strategies for System-Level Design in Hybrid Electric Vehicles," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 1, pp. 57–70, 2016, doi: 10.1109/TVT.2016.2547897.
- [44] K. Li, B. H. Soong, and K. J. Tseng, "A high-fidelity hybrid lithium-ion battery model for SOE and runtime prediction," *Conf. Proc. - IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC*, pp. 2374–2381, 2017, doi: 10.1109/APEC.2017.7931032.
- [45] H. & J. O. Ambrose, "Electric vehicle batteries, Addressing questions about critical materials and recycling," *Electrochem. Soc. Interface*, vol. 5, no. 1, pp. 32–35, 1996.
- [46] A. A. E. B. A. El Halim, E. H. E. Bayoumi, W. El-Khattam, and A. M. Ibrahim, "Electric vehicles: a review of their components and technologies," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 13, no. 4, pp. 2041–2061, 2022, doi: 10.11591/ijpeds.v13.i4.pp2041-2061.
- [47] P. H. E. Vehicles and A. Vehicles, "Electric Vehicle Basics What EV Models Are," pp. 1–4, 2008.
- [48] M. Ntombela, K. Musasa, and K. Moloi, "A Comprehensive Review for Battery Electric Vehicles (BEV) Drive Circuits Technology, Operations, and Challenges," *World Electr. Veh. J.*, vol. 14, no. 7, 2023, doi: 10.3390/wevj14070195.
- [49] P. İ. L. Y. Sİstemİ-İnceleme, "ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ ve," pp. 10–14, 1839.
- [50] D. Bakker, "Battery Electric Vehicles," no. August, 2010.
- [51] "REVIEW OF DIFFERENT TYPES OF BATTERIES USED IN ELECTRIC VEHICLES AND THEIR CHARGING METHODS," no. 12, pp. 110–113, 2018.
- [52] M. Nowak and M. Jurczyk, Nickel metal hydride batteries, vol. 2. 2021. doi: 10.1515/9783110596281-015.
- [53] L. Batteries, "Lithium batteries 1.," no. Figure 2, pp. 1–18.
- [54] A. Jacob and M. Bharadwaj, "Existing and Emerging Lithium-ion Battery Technologies for India," *ResearchGate*, no. September, 2020.
- [55] "ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ," 2019.
- [56] A. Fotouhi, D. J. Auger, K. Propp, S. Longo, and M. Wild, "A review on electric vehicle battery modelling: From Lithium-ion toward Lithium-Sulphur," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 1008–1021, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.009.

- [57] R. M. Spotnitz, "Battery modeling M.R. Jongerden," *Electrochem. Soc. Interface*, vol. 14, no. 4, pp. 39–42, 2008, doi: 10.1149/2.f05054if.
- [58] C. Zhang, K. Li, S. Mcloone, and Z. Yang, "Battery modelling methods for electric vehicles- A review Battery Modelling Methods for Electric Vehicles - A Review," 2014 Eur. Control Conf., no. June, 2014, doi: 10.1109/ECC.2014.6862541.
- [59] A. Nikolian, J. De Hoog, K. Fleurbay, J. Timmermans, P. Van De Bossche, and J. Van Mierlo, "Classification of Electric modelling and Characterization methods of Lithium-ion Batteries for Vehicle Applications," *Eur. Electr. Veh. Congr.*, no. December, pp. 1–15, 2014.
- [60] X. Hu, S. Li, and H. Peng, "A comparative study of equivalent circuit models for Li-ion batteries," *J. Power Sources*, vol. 198, pp. 359–367, 2012, doi: 10.1016/j.jpowsour.2011.10.013.
- [61] R. Gani et al., "We are IntechOpen, the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %," *Intech*, vol. 11, no. tourism, p. 13, 2016, [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- [62] M. Tomasov, M. Kajanova, P. Bracinik, and D. Motyka, "Overview of battery models for sustainable power and transport applications," *Transp. Res. Procedia*, vol. 40, pp. 548–555, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.079.
- [63] Q. Sun and C. Tang, "Battery Cell Electro-Thermal Modeling and Cooling System Design," 2018. [Online]. Available: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/256167/256167.pdf>
- [64] T. Wang and X. Liu, "Thermal Modeling and Prediction of The Lithium-ion Battery Based on Driving Behavior," 2022.
- [65] A. C. Review, "SS symmetry Thermal Behavior Modeling of Lithium-Ion Batteries : A Comprehensive Review," pp. 1–37, 2023.
- [66] A. Rizzello, "Dynamic Electro-Thermal Li-ion Battery Model for Control Algorithms," no. April, 2024, doi: 10.23919/AEIT50178.2020.9241107.
- [67] Q. Wang, B. Jiang, B. Li, and Y. Yan, "A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 64, pp. 106–128, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.033.
- [68] T. Huria, M. Ceraolo, J. Gazzarri, and R. Jackey, "High fidelity electrical model with thermal dependence for characterization and simulation of high power lithium battery cells," 2012 IEEE Int. Electr. Veh. Conf. IEVC 2012, 2012, doi: 10.1109/IEVC.2012.6183271.
- [69] V. Damodaran et al., "Development of a Fast Running Equivalent Circuit Model with Thermal Predictions for Battery Management Applications," *Batteries*, vol. 10, no. 6, 2024, doi: 10.3390/batteries10060215.
- [70] 31Ah Kokam SLPB 78216216H cell, http://www.kokam.com/new/kokam_en/sub01/sub01_01.html

- [71] O. P. Sharma, "Analysis and Parameter Estimation of Li-ion Batteries , Simulations for Electric Vehicles," Proc. Am. Control Conf., no. November, pp. 1–8, 2011.
- [72] S. Fidan, D. Sevim, and E. Erkan, "System Identification and Control of High Voltage Boost Converter," IEEE Glob. Energy Conf. GEC 2022, pp. 25–31, 2022, doi: 10.1109/GEC55014.2022.9986621.
- [73] S. Tez and Y. Temmuz-, "Fen Bilimleri Enstitüsü Ters Sarkaç Sisteminin p1 - pd Denetleyici Kullanılarak Kontrol Edilmesi," 2017.
- [74] M. P. Islam and T. Morimoto, "Performance of Mathematical System Identification in Modeling of Hybrid Evaporative Cooling System," Int. J. Comput. Appl., vol. 123, no. 1, pp. 44–49, 2015, doi: 10.5120/ijca2015905414.
- [75] D. Wang, J. Lee, M. Kim, and I. Lee, "Neural Network-Based State of Charge Estimation Method for Lithium-ion Batteries Based on Temperature," 2023, doi: 10.32604/iasc.2023.034749.
- [76] B. Wu, S. Han, K. G. Shin, and W. Lu, "Application of artificial neural networks in design of lithium-ion batteries," J. Power Sources, vol. 395, no. April, pp. 128–136, 2018, doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.05.040.
- [77] E. Chemali, P. J. Kollmeyer, M. Preindl, and A. Emadi, "State-of-charge estimation of Li-ion batteries using deep neural networks: A machine learning approach," J. Power Sources, vol. 400, no. June, pp. 242–255, 2018, doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.06.104.
- [78] S. Modi, J. Bhattacharya, and P. Basak, "Estimation of energy consumption of electric vehicles using Deep Convolutional Neural Network to reduce driver's range anxiety," ISA Trans., vol. 98, no. xxxx, pp. 454–470, 2020, doi: 10.1016/j.isatra.2019.08.055.
- [79] Ojha, Varun Kumar, Ajith Abraham, and Václav Snášel. "Metaheuristic design of feedforward neural networks: A review of two decades of research." Engineering Applications of Artificial Intelligence 60 (2017): 97-116.
- [80] V. K. Ojha, A. Abraham, and V. Snášel, "Metaheuristic design of feedforward neural networks: A review of two decades of research," Eng. Appl. Artif. Intell., vol. 60, no. February, pp. 97–116, 2017, doi: 10.1016/j.engappai.2017.01.013.
- [81] C. Vidal et al., "Hybrid Energy Storage System State-Of-Charge Estimation Using Artificial Neural Network for Micro-Hybrid Applications," 2018 IEEE Transp. Electr. Conf. Expo, ITEC 2018, pp. 868–873, 2018, doi: 10.1109/ITEC.2018.8450251.
- [82] N. Alsadi, S. A. Gadsden, and J. Yawney, "Intelligent estimation: A review of theory, applications, and recent advances," Digit. Signal Process. A Rev. J., vol. 135, p. 103966, 2023, doi: 10.1016/j.dsp.2023.103966.
- [83] X. Glorot and Y. Bengio, "Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks," J. Mach. Learn. Res., vol. 9, pp. 249–256, 2010.

[84] Heinrich, Felix. Battery State Estimation of Electric Vehicles using Neural Networks. Diss. Friedrich-Alexander-Universitaet Erlangen-Nuernberg (Germany), 2022.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

MOHAMMED,Mohammed
Abdulmalek Abdulrahman

Web sayfası
(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	2021
Lisans		
Lise	22 Mayıs Lisesi, TAİZ, YEMEN	2013

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev

Yabancı Dil

Arapça, Türkçe

Yayınlar

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Mohammed Abdulmalek Abdulrahman MOHAMMED
Öğrenci No	21838807
Ana Bilim Dalı	YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI
Program Türü	Proje ☐ Yüksek Lisans ☒ Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Hasan BAYINDIR
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	
Tez Başlığı	ELEKTRİKLİ BİR ARACIN BATARYA SİSTEMİNİN ELEKTRİKSEL MODELLENMESİ

RAPOR BİLGİLERİ

Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası
Sayfa Sayısı	101
Raporlama Tarihi	07.10.2024
Benzerlik Oranı (%)	%18

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 101 sayfalık kısmına ilişkin, 07/10/2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %18 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☐Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☒Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Mohammed Abdulmalek Abdulrahman MOHAMMED

Tarih:07.10.2024

İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Hasan BAYINDIR

İmza:

Tarih:07.10.2024

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı:

İmza:

Doç. Dr. Fatih KOÇYİĞİT

Tarih:07.10.2024