

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ

YUNUS EMRE EKİCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA
HAZİRAN 2019

Tezin Başlığı : Batarya Yönetim Sistemleri

Tezi Hazırlayan : Yunus Emre Ekici

Sınav Tarihi : 17 Haziran 2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri:

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Nusret TAN**
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim KAYA
Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Müslüm ARKAN
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Batarya Yönetim Sistemleri” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yunus Emre EKİCİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ

Yunus Emre EKİCİ

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

149+xiii Sayfa

2019

Danışman: Prof. Dr. Nusret TAN

Bu tez çalışmasında elektrikli araçlar teknolojisinde önemli bir yere sahip olan batarya yönetim sistemi, farklı pil kimyaları ve hibrit bir elektrikli araç kullanılarak simule edilmiş ve bir batarya yönetim sistemi modellemesi yapılmıştır.

Pil kimyalarına göre literatürde farklı batarya yönetim sistemi geliştirilmiştir fakat farklı pil kimyalarının tek bir batarya yönetim sistemi ile kontrolü henüz sağlanamamıştır. Gerilim seviyelerinin ve kapasitelerinin farklı olması bataryaların ortak bir yönetim sisteminden yönetilmesini zorlaştırmaktadır. Bu durum elektrikli araç teknolojisindeki temel problemlerden biridir.

Yapılan çalışmada dört farklı kimyaya sahip olan (Lityum Demir Fosfat, Nikel Metal Hidrit, Nikel Kadmiyum ve Kurşun Asit) piller, batarya paketleri haline getirilip aynı batarya yönetim sistemi ile iki farklı şekilde kontrol edilmiştir. İlk olarak sabit bir DC besleme ile tüm bataryaların şarj işlemleri gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak bataryalar hibrit bir elektrikli araç modeline entegre edilip araç hareket halinde iken deşarjı sağlanmış ve daha sonra jeneratör ile şarj edilmiştir. Her iki durumda da batarya yönetim sisteminin çalışması analiz edilmiştir. Bu tezde yapılan çalışmalar neticesinde elektrikli araç teknolojilerinin temel problemlerinden biri olan farklı kimyalara sahip bataryaların tek bir batarya yönetim sistemi ile kontrol edilmesi incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Batarya yönetim sistemi, bataryalar, elektrikli araçlar, lityum piller, nikel piller.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

BATTERY MANAGEMENT SYSTEMS

Yunus Emre EKİCİ

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

149+xiii pages

2019

Supervisor: Prof. Dr. Nusret TAN

In this thesis, the battery management system, which has an important place in electric vehicles technology, has been simulated with different battery chemistries and using a hybrid electric vehicle and a battery management system has been modeled.

According to battery chemistry, a different battery management system has been developed in the literature, but the control of different battery chemistry with a single battery management system has not been achieved yet. Different voltage levels and capacities make it difficult to manage batteries from a common management system. This is one of the main problems in electric vehicle technology.

In the study, batteries with four different chemistry (Lithium Iron Phosphate, Nickel Metal Hydride, Nickel Cadmium and Lead Acid) were turned into battery packs and controlled in two different ways with the same battery management system. Initially, all batteries were charged with a fixed DC supply. Secondly, the batteries are integrated in a hybrid electric vehicle model and discharged while the vehicle is moving and then charged with the generator. In both cases, the operation of the battery management system was analyzed. As a result of studies in this thesis, one of the basic problems of electric vehicle technologies, control of batteries with different chemistry with a single battery management system is examined.

KEYWORDS: Battery management system, batteries, electric vehicles, lithium batteries, nickel batteries.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Sayın Nusret TAN'a,

Her zaman her konuda yardımlarını esirgemeyen bütün Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü hocalarına,

Stajdan Bölge Müdürlüğüne kadarki iş hayatımda beni yetiştiren ve her zaman desteğini esirgemeyen Atak Ulaşım Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Halil Söyler'e,

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu tez çalışması süresince de her zaman yanımda olan ve beni sabırla destekleyen değerli aileme, değerli eşim Tuğba EKİCİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR TEKNOLOJİSİNE GİRİŞ	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tarihçe.....	2
1.3. Araç Teknolojileri	6
1.3.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlar	7
1.3.2. Hibrit Elektrikli Araçlar	8
1.3.2.1. Seri hibrit elektrikli araçlar	8
1.3.2.2. Paralel hibrit elektrikli araçlar.....	10
1.3.2.3. Seri-Paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçlar.....	11
1.3.2.4. Pil paketli elektrikli araçlar	13
1.4. Sonuç.....	14
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN PİL TEKNOLOJİLERİ ..	15
2.1. Giriş.....	15
2.2. Pil Çeşitleri.....	16
2.2.1. Birincil Hücre / Piller	16
2.2.2. İkincil Hücre / Piller.....	17
2.2.3. Pillerin karakteristik özelliği	19
2.2.3.1. Voltaj.....	19
2.2.3.2. Kapasite.....	19
2.2.3.3. Elektrik depolama yoğunluğu	20
2.2.3.4. Enerji yoğunluğu	20
2.2.3.5. Çevrim ömrü	20
2.2.4. Bazı Ticari İkincil Piller.....	20
2.2.4.1. Kurşun asit piller	21

2.2.4.2.	Nikel kadmiyum piller (Ni-Cd).....	22
2.2.4.3.	Nikel metal hidrit piller (Ni-MH)	22
2.2.4.4.	Lityum İyon (Li-ion) Piller	23
2.2.4.4.2.	Lityum sülfür (Li-S) piller	26
2.2.4.4.3.	Lityum demir fosfat (LiFePO4) piller	27
2.3.	Sonuç.....	28
3.	ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS)	29
3.1.	Giriş.....	29
3.2.	Tarihçe.....	30
3.3.	BYS için Kritik Parametreler	31
3.3.1.	SOC (state of charge – pil doluluk oranı)	31
3.3.2.	SOH (state of health – pil sağlık durumu)	33
3.3.3.	SOT (state of temperature – pil sıcaklık durumu).....	33
3.3.4.	Pil dengeleme	35
3.3.4.1.	Aktif dengeleme yöntemi	36
3.3.4.2.	Pasif dengeleme yöntemi	38
3.4.	Sonuç.....	39
4.	MATLAB VE SİMULİNK KULLANIMI	40
4.1.	Giriş.....	40
4.2.	Tarihçe.....	40
4.3.	Matlab ile Yapılabilecek Çalışmalar	41
4.4.	Simulink	42
4.4.1.	BYS Simulink blokları.....	44
4.5.	Sonuç.....	49
5.	BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS) SİMULASYONU	50
5.1.	Giriş.....	50
5.2.	Hibrit elektrikli araç mekanik yapısı.....	51
5.2.1.	Araç Sistemi	52
5.2.2.	Planet dişli sistemi.....	52
5.2.3.	İçten yanmalı motor	54
5.3.	Hibrit elektrikli araç elektriksel yapı.....	55
5.3.1.	Elektrik Sistemi	56
5.3.1.1.	Bataryalar	56

5.3.1.2.	DC/DC converter (konvertör)	58
5.3.1.3.	Elektrik motoru	59
5.3.1.4.	Jeneratör	61
5.3.2.	Enerji yönetim sistemi.....	62
5.3.2.1.	Batarya yönetim sistemi	62
5.3.2.2.	Hibrit Yönetim Sistemi	63
5.3.2.3.	Sürüş torku yönetim sistemi.....	64
5.3.2.4.	Hız kontrol sistemi	65
5.4.	Simulasyon	66
5.4.1.	Bataryaların şarj cihazı ile testleri.....	67
5.4.1.1.	Şarj Testleri	67
5.4.1.2.	Sıcaklık kontrol testleri	101
5.4.1.3.	Çevrim testleri	110
5.4.2.	Bataryaların hibrit elektrikli araç modeli ile testleri	116
5.4.2.1.	Farklı sürüş senaryolarındaki şarj ve deşarj testleri	116
5.5.	Sonuç.....	136
6.	GENEL SONUÇLAR	137
6.1.	Birincil Sonuçlar	137
6.2.	İkincil Sonuçlar	138
7.	KAYNAKLAR	141
	ÖZGEÇMİŞ	148

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<i>EA</i>	Elektrikli araçlar
<i>BYS</i>	Batarya yönetim sistemi
<i>NY</i>	New York
<i>ABD</i>	Amerika Birleşik Devletleri
<i>DC</i>	Kolombiya Bölgesi (District of Columbia)
<i>SUV</i>	Spor amaçlı taşıt (Sport Utility Vehicle)
<i>Cd / Cd(OH)₂</i>	Kadmiyum hidroksit
<i>Ni(OH)₂ / NiOOH</i>	Nikel hidroksit / nikel oksihidroksit
<i>KOH</i>	Potasyum hidroksit
<i>Ni-MH</i>	Nikel metal hidrit (Nickel Metal Hydride)
<i>Ni-Cd</i>	Nikel kadmiyum (Nickel Cadmium)
<i>Li-Ion</i>	Lityum iyon (Lithium Ion)
<i>LiCoO₂</i>	Lityum kobalt oksit (Lithium Cobalt Oxide)
<i>LiNiO₂</i>	Lityum nikel oksit (Lithium Nickel Oxide)
<i>LiPo</i>	Lityum iyon polimer (Lithium Ion Polymer)
<i>Li-S</i>	Lityum sülfür (Lithium Sulfur)
<i>LiFePO₄</i>	Lityum demir fosfat (Lithium Iron Phosphate)
<i>SOC</i>	Batarya doluluk durumu (State of Charge)
<i>SOH</i>	Batarya sağlık durumu (State of Health)
<i>SOT</i>	Batarya sıcaklık durumu (State of Temperature)
<i>LPG</i>	Likit petrol gazı
<i>RPM</i>	1 dakika içerisinde gerçekleştirilen dönüş/devir sayısı (Revolutions per Minute)
<i>AC</i>	Alternatif akım (Alternative Current)
<i>DC</i>	Doğru akım (Direct Current)
<i>Pb-Acid</i>	Kurşun asit
<i>MCU</i>	Motor kontrol ünitesi (Motor Control Unit)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Gramme motor.....	4
Şekil 1.2.	Araç teknolojilerinin sınıflandırılması.....	6
Şekil 1.3.	İçten yanmalı motorlu araç yapısı	7
Şekil 1.4.	Seri hibrit elektrikli araç yapısı	8
Şekil 1.5.	Paralel hibrit elektrikli araç yapısı.....	10
Şekil 1.6.	Seri-Paralel hibrit elektrikli araç yapısı	11
Şekil 1.7.	Kompleks hibrit elektrikli araç yapısı	12
Şekil 1.8.	Yakıt pilli elektrikli araçlar	13
Şekil 1.9.	Pil paketli elektrikli araçlar	14
Şekil 2.1.	Basit bir pil sistemi komponentleri.....	15
Şekil 2.2.	Çeşitli boyut ve tiplerdeki birincil ve ikincil piller	17
Şekil 2.3.	Yıllara göre dünyada ikincil pil pazarı	19
Şekil 2.4.	İkincil lityum pillerin şarj-deşarj mekanizması	23
Şekil 2.5.	Toshiba firmasının ürettiği yassı ve yuvarlak ikincil lityum piller	24
Şekil 2.6.	Yassı ve yuvarlak ikincil lityum pillerin yapısı.....	24
Şekil 2.7.	Lityum polimer pil.....	25
Şekil 3.1.	BYS akış diyagramı.....	30
Şekil 3.2.	BYS fonksiyonları	34
Şekil 3.3.	Pil dengeleme topolojisi	36
Şekil 3.4.	Hareketli kondansatör yük transfer yöntemi	36
Şekil 3.5.	Çok sayıda hücre ile yük transferi	37
Şekil 3.6.	Saat anahtarlama kondansatör yöntemi	38
Şekil 3.7.	Pasif dengeleme yöntemi.....	39
Şekil 4.1.	From ve goto blokları	45
Şekil 4.2.	Devre kesici, kontak ve switch blokları.....	45
Şekil 4.3.	Eşitlik bloklarının kontrol bölümü	46
Şekil 4.4.	İzleme bloğu	46
Şekil 4.5.	Döner anahtar bloğu	47
Şekil 4.6.	Matematiksel ifadeler	48
Şekil 4.7.	Scope bloğu	48
Şekil 5.1.	Hibrit elektrikli araç modeli	50

Şekil 5.2.	Hibrit elektrikli araç mekanik aksamalar	52
Şekil 5.3.	Hibrit elektrikli araç modeli için planet dişli sistemi	53
Şekil 5.4.	İçten yanmalı motor yapısı	55
Şekil 5.5.	Hibrit elektrikli araç için elektrik sistem yapısı.....	55
Şekil 5.6.	Simulasyonda kullanılan farklı tip bataryalar.....	57
Şekil 5.7.	DC/DC converter yapısı	59
Şekil 5.8.	Elektrik motoru iç yapısı	60
Şekil 5.9.	Jeneratör iç yapısı	62
Şekil 5.10.	Batarya yönetim sistemi içyapısı.....	63
Şekil 5.11.	Hibrit mod yapısı	64
Şekil 5.12.	Sürüş tork kontrol sistemi içyapısı	65
Şekil 5.13.	Hız kontrol sistemi içyapısı	66
Şekil 5.14.	Kaynak gerilimi	68
Şekil 5.15.	Sıcaklık ve SOC kontrol sistemi.....	68
Şekil 5.16.	Lityum demir fosfat bataryanın şarj başlangıç durumu.....	69
Şekil 5.17.	Lityum demir fosfat bataryanın SOC %50 iken durumu.....	70
Şekil 5.18.	Lityum demir fosfat bataryanın SOC %100 iken durumu.....	70
Şekil 5.19.	Lityum demir fosfat batarya SOC grafiği.....	71
Şekil 5.20.	Lityum demir fosfat batarya şarj akım grafiği.....	71
Şekil 5.21.	Nikel Metal Hidrit şarj başlangıç durumu	72
Şekil 5.22.	Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %50 iken durumu	73
Şekil 5.23.	Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %100 iken durumu	73
Şekil 5.24.	SOC ve Sıcaklık kontrol sisteminin devreyi açma durumu.....	74
Şekil 5.25.	Nikel Metal Hidrit batarya SOC grafiği	74
Şekil 5.26.	Nikel Metal Hidrit batarya şarj akım grafiği	75
Şekil 5.27.	Kurşun Asit şarj başlangıç durumu	75
Şekil 5.28.	Kurşun Asit SOC %50 iken durumu	76
Şekil 5.29.	Kurşun Asit bataryanın SOC %100 iken durumu	77
Şekil 5.30.	Kurşun Asit batarya SOC grafiği.....	77
Şekil 5.31.	Kurşun Asit batarya şarj akım grafiği	78
Şekil 5.32.	Nikel Kadmiyum şarj başlangıç durumu	79
Şekil 5.33.	Nikel Kadmiyum SOC %50 iken durumu.....	79
Şekil 5.34.	Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %100 iken durumu	80
Şekil 5.35.	Nikel Kadmiyum batarya SOC grafiği	81

Şekil 5.36.	Nikel Kadmiyum batarya şarj akım grafiği	81
Şekil 5.37.	Lityum demir fosfat bataryanın SOC %50 iken durumu.....	83
Şekil 5.38.	Lityum demir fosfat bataryanın SOC %100 iken durumu.....	84
Şekil 5.39.	Lityum demir fosfat batarya batarya SOC grafiği	84
Şekil 5.40.	Lityum demir fosfat batarya şarj akım grafiği.....	85
Şekil 5.41.	Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %50 iken durumu	85
Şekil 5.42.	Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %100 iken durumu	86
Şekil 5.43.	Nikel Metal Hidrit batarya SOC grafiği	87
Şekil 5.44.	Nikel Metal Hidrit batarya şarj akım grafiği	87
Şekil 5.45.	Kurşun Asit bataryanın SOC %50 iken durumu	88
Şekil 5.46.	Kurşun Asit bataryanın SOC %100 iken durumu	88
Şekil 5.47.	Kurşun Asit batarya SOC grafiği.....	89
Şekil 5.48.	Kurşun Asit batarya şarj akım grafiği	89
Şekil 5.49.	Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %50 iken durumu	90
Şekil 5.50.	Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %100 iken durumu	90
Şekil 5.51.	Nikel Kadmiyum batarya SOC grafiği	91
Şekil 5.52.	Nikel Kadmiyum batarya şarj akım grafiği	91
Şekil 5.53.	Lityum demir fosfat bataryanın SOC %90 iken durumu.....	93
Şekil 5.54.	Lityum demir fosfat bataryanın SOC %100 iken durumu.....	93
Şekil 5.55.	Lityum demir fosfat batarya SOC grafiği.....	94
Şekil 5.56.	Lityum demir fosfat batarya şarj akım grafiği.....	94
Şekil 5.57.	Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %90 iken durumu	95
Şekil 5.58.	Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %100 iken durumu	95
Şekil 5.59.	Nikel Metal Hidrit batarya SOC grafiği	96
Şekil 5.60.	Nikel Metal Hidrit batarya şarj akım grafiği	96
Şekil 5.61.	Kurşun Asit bataryanın SOC %90 iken durumu	97
Şekil 5.62.	Kurşun Asit bataryanın SOC %100 iken durumu	98
Şekil 5.63.	Kurşun Asit batarya SOC grafiği.....	98
Şekil 5.64.	Kurşun Asit batarya şarj akım grafiği	98
Şekil 5.65.	Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %90 iken durumu	99
Şekil 5.66.	Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %100 iken durumu	100
Şekil 5.67.	Nikel Kadmiyum batarya SOC grafiği	100
Şekil 5.68.	Nikel Kadmiyum batarya şarj akım grafiği	100
Şekil 5.69.	BYS sıcaklık algoritması	102

Şekil 5.70.	SOC ve sıcaklık kontrol sistemi	103
Şekil 5.71.	Lityum demir fosfat şarj başlangıcı sıcaklık kontrol durumu	104
Şekil 5.72.	Lityum demir fosfat şarj sonu sıcaklık durumu.....	105
Şekil 5.73.	Nikel Metal Hidrit şarj başlangıcı sıcaklık kontrol durumu.....	106
Şekil 5.74.	Nikel Metal Hidrit şarj sonu sıcaklık durumu	107
Şekil 5.75.	Kurşun Asit şarj başlangıcı sıcaklık kontrol durumu	108
Şekil 5.76.	Kurşun Asit şarj sonu sıcaklık durumu	108
Şekil 5.77.	Nikel Kadmiyum şarj başlangıcı sıcaklık kontrol durumu.....	109
Şekil 5.78.	Nikel Kadmiyum şarj sonu sıcaklık durumu	110
Şekil 5.79.	Cycle Lifetime kontrol yapısı	111
Şekil 5.80.	Cycle Lifetime kontrol içyapısı	111
Şekil 5.81.	Lityum demir fosfat Cycle Lifetime başlangıç durumu	112
Şekil 5.82.	Lityum demir fosfat Cycle Lifetime son durum.....	112
Şekil 5.83.	Nikel Metal Hidrit Cycle Lifetime başlangıç durumu.....	113
Şekil 5.84.	Nikel Metal Hidrit Cycle Lifetime son durum	113
Şekil 5.85.	Kurşun Asit Cycle Lifetime başlangıç durumu	114
Şekil 5.86.	Kurşun Asit Cycle Lifetime son durum.....	114
Şekil 5.87.	Nikel Kadmiyum Cycle Lifetime başlangıç durumu.....	115
Şekil 5.88.	Nikel Kadmiyum Cycle Lifetime son durum	115
Şekil 5.89.	Trambüs karakutusunda alınan 1. senaryo verisi	117
Şekil 5.90.	Trambüs karakutusunda alınan 2. senaryo verisi	117
Şekil 5.91.	Hibrit elektrikli araca uygulanan senaryo 1 verisi.....	118
Şekil 5.92.	Hibrit elektrikli araca uygulanan senaryo 2 verisi.....	118
Şekil 5.93.	Lityum demir fosfat 1. sürüş senaryosu durumunda Hibrit mod değişimi	119
Şekil 5.94.	Lityum demir fosfat 1. sürüş senaryosu durumunda SOC değişimi.....	119
Şekil 5.95.	Lityum demir fosfat 1. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi	119
Şekil 5.96.	Lityum demir fosfat senaryo 1 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi	120
Şekil 5.97.	Nikel Metal Hidrit 1. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi	121
Şekil 5.98.	Nikel Metal Hidrit 1. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi	122

Şekil 5.99. Nikel Metal Hidrit senaryo 1 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi	122
Şekil 5.100. Kurşun Asit 1. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi.....	123
Şekil 5.101. Kurşun Asit 1. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi.....	124
Şekil 5.102. Kurşun Asit senaryo 1 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi	125
Şekil 5.103. Nikel Kadmiyum 1. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi	126
Şekil 5.104. Nikel Kadmiyum 1. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi	126
Şekil 5.105. Nikel Kadmiyum senaryo 1 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi	127
Şekil 5.106. Lityum demir fosfat 2. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi.....	128
Şekil 5.107. Lityum demir fosfat 2. sürüş senaryosu durumunda Hibrit mod değişimi	128
Şekil 5.108. Lityum demir fosfat 2. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi	129
Şekil 5.109. Lityum demir fosfat senaryo 2 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi	130
Şekil 5.110. Nikel Metal Hidrit 2. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi	131
Şekil 5.111. Nikel Metal Hidrit 2. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi	132
Şekil 5.112. Kurşun Asit 2. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi.....	133
Şekil 5.113. Kurşun Asit 2. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi.....	134
Şekil 5.114. Nikel Kadmiyum 2. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi	135
Şekil 5.115. Nikel Kadmiyum 2. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi	135

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Birincil pillerin Avrupa ve Amerikan Standartlarına göre sınıflandırılması.....	17
Çizelge 2.2.	Bazı ikincil piller ve özellikleri	18
Çizelge 5.1.	Simulasyonda seçilen batarya tiplerinin bazı özellikleri	57
Çizelge 5.2.	%10 - %100 SOC arası şarj testleri sonucu elde edilen akım verileri.....	82
Çizelge 5.3.	%10 ile %50 arası ve %50 ile %100 arası şarj süresi	82
Çizelge 5.4.	%50 - %100 SOC arası şarj testleri sonucu elde edilen akım verileri.....	92
Çizelge 5.5.	%50 - %100 SOC arası şarj zamanı.....	92
Çizelge 5.6.	%90 - %100 SOC arası şarj testleri sonucu elde edilen akım verileri.....	101
Çizelge 5.7.	%90 - %100 SOC arası şarj zamanı.....	101
Çizelge 6.1.	Bataryaların şarj olma süreleri	139
Çizelge 6.2.	Bataryaların başlangıç akımları	139
Çizelge 6.3.	1.sürüş senaryosu sonunda bataryaların SOC değerleri.....	139
Çizelge 6.4.	2. Sürüş senaryosu sonunda bataryaların SOC değerleri.....	140
Çizelge 6.5.	Dört farklı kimyaya sahip bataryaların ısınma süreleri	140

1. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR TEKNOLOJİSİNE GİRİŞ

1.1. Giriş

Dünya üzerinde artan sera gazı etkilerine karşı Elektrikli araçlar (EA) çözüm olarak değerlendirilmektedir. Elektrik enerjisinin yakıt olarak kullanılması ile daha sessiz daha çevreci ve daha ekonomik bir ulaşım sağlamaktadır. Elektrikli araçlarda yeniden şarj edilebilir pil teknolojileri kullanılmaktadır fakat mevcut pil teknolojileri henüz istenen menzili ve performansı sağlayabilecek yeterlilikte değildir [1]. Bundan dolayı araçlar üzerinde kullanılan özgün pil teknolojilerinin menzil, ömür ve performanslarının artırılması için etkili ve verimli bir batarya yönetim sistemine (BYS) ihtiyaç duyulmaktadır. Verimli ve etkili bir batarya yönetim sisteminin performansı alt parametrelerinden biri olan pil doluluk oranının (State of Charge – SOC) doğru hesaplanması ile ilişkilidir. Pil doluluk oranının doğru bir şekilde hesaplanması ve elektrikli araçların performansının artırılması günümüzde önemli bir problem olup akademik olarak çalışma konusu haline gelmiştir [2].

Piller şu anda araçlarda en çok kullanılan elektrik enerjisini depolama aygıtlarıdır [3]. Bir pil bir yüke veya bir kaynağa her bağlandığında kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. Ne yazık ki kimyasal etki bataryanın doğal ve özgün yapısına zarar verir. Bu durum bataryanın yavaş yavaş ömrünün azalmasına sebep olur. Pilin zayıflama süreci pilin yükleme koşullarını değiştirerek geliştirilebilir veya geciktirilebilir. Örneğin aşırı sıcaklık aralıklarına veya aralıksız şarj ve deşarj döngülerine tabi tutulan bir pil uygun koşullarda çalıştırılan pile kıyasla daha az bir çalışma ömrüne sahiptir [4]. Pillerin güvenli olarak çalışabilmesi için koşulların da güvenli ve yeterli olması gerekir fakat sınırların ihlal edilmesi pillerin güvenliğini olumsuz etkileyecektir. Bu durumda araç içerisindeki yolcuların güvenliği için de büyük bir tehlike oluşturacaktır. Pilin güvenli çalışması ve uzun ömrü için anahtar şart pilin her zaman belirlenmiş güvenli çalışma şartlarına tabi olmasını sağlamak ve böylece belirlenen sıcaklık koşulları altında pilin şarj etme veya boşaltma modlarında belirtilen limitte kalmasını sağlamaktır [5], [6]. Bu sistem elektrikli otomobiller için Batarya Yönetim Sistemi (BYS) olarak adlandırılmaktadır [7].

Batarya yönetim sistemi verilerin izlenmesi, hesaplamaların yapılması ve pillerin korunması olmak üzere üç ana görevi üstlenmektedir. Veri izleme fonksiyonu batarya paketindeki her bir hücrenin voltaj, akım ve sıcaklık gibi ölçülebilen anlık durumlarını gözlemlemektedir. Hesaplama fonksiyonu veri izleme fonksiyonundan gözlemlenen anlık değerleri kullanarak pil doluluk oranı, pil sağlık durumu, maksimum ve minimum şarj/deşarj akımı, maksimum ve minimum voltaj, çalışma süresi ve döngü sayısı gibi değerleri hesaplamaktadır. Hesaplama fonksiyonundan elde edilen değerler ile koruma fonksiyonunda hücrelerden ve batarya paketinden şarj/deşarj boyunca yüksek/düşük voltajların oluşmasına, yüksek akım çekilmesine, kaçak akıma ve yüksek/düşük sıcaklık oluşmasına engel olmaktadır. Batarya yönetim sistemin önemli görevlerinden bir diğeri hesaplama fonksiyonundan elde edilen pil doluluk oranını belirleyerek batarya paketlerindeki pil hücrelerinin şarj/deşarj boyunca dengede tutulmasını sağlamaktır. Bu dengeleme işlemi için farklı yöntemler kullanılmaktadır [8] .

Bu çalışmada yeni nesil batarya sistemleri ve batarya yönetim sistemleri üzerinde veri inceleme ve modelleme tekniği kullanarak bir BYS (Batarya Yönetim Sistemi) modellemesi Matlab üzerinde yapılmıştır. Batarya yönetim sistemleri üzerinde birçok veri izlemesi yapılmıştır. Bunların başlıcaları hücre gerilimleri, hücre sıcaklıkları, şarj durumu vedeşarj yoğunluğu, hasar durumu ve akım durumudur. Aynı zamanda BYS üzerinde hesaplama, koruma ve optimizasyon gibi özellikler de yer almıştır [9]. Yapılan çalışmada BYS'nin izlemesi ve değerlendirmesi gereken bu bilgilerin nasıl elde edildiği ve nasıl yorumlandığı da incelenmiştir. Batarya yönetim sistemleri ile birlikte batarya çeşitleri de incelenmiştir. Her bataryanın ayrı bir karakteristiği ve ayrı bir batarya yönetim sistemi mevcuttur. Batarya çeşitlerinin ortak bir BYS'den yönetilmesi yapılacak çalışmalar içinde yer almıştır.

1.2. Tarihçe

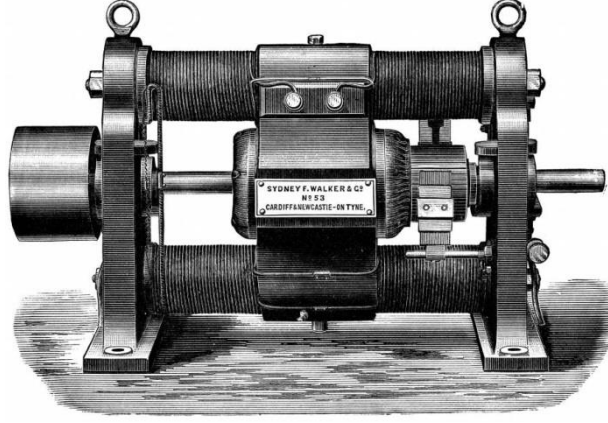
Elektrikli araçlar üzerine yapılan araştırma ve geliştirmelerin günümüzde yaşanan sera gazı ve petrol rezervlerinin tükenmesi sorunlarına istinaden hız kazandığı düşünülse de aslından elektrikli araçların gelişimlerinin başlangıcı 18.yy'a dayanmaktadır [10]. Fosil yakıtların egemen olduğu 19.yy'da ilk elektrikli araç temelleri 1821 yılında Michael Faraday tarafından atıldı [11]. İngiliz bilim adamı

Michael Faraday (1791-1867) elektrikli araç temellerine ait bu bulguları anlayan ilk kişi oldu. Michael Faraday'a göre bir manyetik kutup izole edilebiliyorsa, bir akım taşıyan kablo etrafında sürekli bir daire halinde hareket etmelidir. Faraday 1821'de Ørsted ve Ampère'in çalışmalarını küçük cıva banyosu kullanarak kendi deneyimlerinden yola çıkarak anlamaya başlamıştır. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bu cihaz, ilk elektrik motoruydu [12]. Faraday'ın elektrik motoru, hareketin elektrikle sağlanabildiğinin kanıtıydı ve elektromanyetizmaya yönelik bir araştırma dünyası oluşturmaya tüm araştırmacıları davet etmiştir. Bu motor bugün inşaat alanında kullanılan elektrikli aletlerde görülen gelişmiş motorların tasarımına yol açmıştır [13].

Faraday'ın elektrik motoru icadından sonra elektrikli teknolojilerin insan hayatına girmesi hız kazanmıştır. 1831 yılında Albany'de yaşayan matematik profesörü Joseph Henry elektromanyetizmayı anlama çabası içerisinde iken ilk elektrik motorunu inşa etmiştir. 1834 yılında Joseph Henry'nin çalışmalarının incelenmesi ve anlaşılması ile Thomas Davenport ilk döner elektrik motorunu geliştirdi ve masa üstünde bir daire içerisinde çalışan minyatür bir elektrikli vagon inşa etmiştir. Thomas Davenport'un minyatür vagonu pilin ağırlığını taşıyamaz durumdaydı. Bu çalışma pahalı ve tek kullanımlık pillerin işaretçisi oldu. 1851 yılında ABD Senatosu, Washington DC'den Baltimore MD'ye yaklaşık 40 mil (64 km) mesafedeki bir test gerçekleştiren bir prototip elektrikli lokomotif için fon sağladı. ABD patent tescil uzmanı ilgili bir tasarım yaptı ve Washington bağlantılarını kullanarak finansman sağladı. 1854 yılında Wilhelm J. Sinsteden şarj edilebilir, kurşun, sülfürik asit ve kurşun oksit pilini geliştirdi. 1859 yılında Gaston Planté telgraf sisteminde kullanmak için kurşun asit hücremini geliştirdi. 1869 yılında Zenobe-Theophile Gramme Paris'te ilk pratik dinamo patentini aldı. 1876 yılında Nikolaus August Otto tarafında Almanya'da sabit kullanım için tasarlanmış dört zamanlı pratik bir motor patenti almıştır. 17 Ocak 1880 yılında Thomas Alva Edison bir karbon filament vakum tüp ampulü patentini aldı. Bu patent ile birlikte aydınlatma ve hafif raylı sistemlere elektrik üretimi ve dağıtımı, elektrikli otomobiller için gerekli altyapı oluşturuldu. Edison, açık patent hakları için savaşmak zorunda kaldı ve sonunda en güçlü davacılar birleşerek yeni ve güçlü bir firma olan General Electric'i kurdular.

1881 yılında Fransa'da yaşayan Camille A. Faure ve ABD'de yaşayan Charles F. Brush, Planté pilinin kapasitesini üç kat arttıracak şekilde bir kurşun oksit macunu

kullanma fikrini ortaya çıkardı. Bunun sonucunda Charles Jeantaud Fransa'da bir elektrikli araç üretti. Üretilen araç bir Fulmen pili ve bir Gramme motor ile çalışmakta ve Tilbury tarz bir tasarıma sahipti. 1883 yılına gelindiğinde ise elektrikli araçlara yönelik birçok işletme kuruldu. Bunlardan en önemlisi Magnus Volk tarafından İngiltere'de kurulan Brighton Electric Railway'dir. Bu tramway işletmesinin ilk rotası çeyrek mil uzunluğundaydı ve ilk ticari tramway işletmesi olarak tarihte yerini almıştır.



Şekil 1.1. Gramme motor [14]

1897 yılında Electric Carriage ve Wagon Company New York şehir taksilerinde elektrikli araçları kullanarak ilk ticari uygulamayı gerçekleştirmiştir [10], [15]. Elektrikli ve içten yanmalı motorun birlikte kullanıldığı ilk hibrit elektrikli araç 1901 yılında Ferdinand Porsche tarafından geliştirildi. Geliştirilen bu araç içten yanmalı motor tarafından tahrik edilirken aynı zamanda araç tekerlerine doğrudan bağlanan elektrikli motorlarla da tahrik edilmekteydi. Elektrik enerjisinin kurşun-asit aküler tarafından sağlandığı bu araç saatte 60 km hız yapabilen, dönemin en hızlı aracı olmuştur [16]. 1902 yılında Woods tarafından geliştirilen “elektrikli fayton” isimli araç saatte 23 km hız yapabilmekteydi. Daha sonra Woods, 1916 yılında içten yanmalı motor ve elektrikli motorunu birlikte kullanarak ABD’de ilk hibrit aracı geliştirmiştir [16]. 20.yy’ın başlarına kadar elektrikli araçlar teknik olarak daha sessiz, vites değiştirmesi sorunsuz ve marş hareketinin elle yapılmamasından maliyet olarak da daha ucuz olmasından dolayı içten yanmalı motorlu araçlara göre daha avantajlıydı. Ancak 1920’li yıllarda ABD’nin Teksas eyaletinde ham petrol rezervlerinin keşfedilmesi ve benzin fiyatlarının düşmesi, Henry Ford öncülüğünde içten yanmalı motorlu araçların seri

üretimine başlanması ve araç fiyatlarının düşmesi, Amerika ve Avrupa'da karayollarının fiziki durumunun düzelmesi ve uzun mesafeli seyahatlerin artması gibi gelişmelerin olmasıyla elektrikli araçların piyasadaki üstünlüğü sona ermiştir. Daha sonra 1974 yılında yaşanan petrol kriziyle petrol fiyatlarının artması ve rezervlerin tükenmekte olması nedeniyle birçok ülke resmi kaynaklardan destek sağlayarak elektrikli araçların geliştirilmesine tekrar başlamıştır [10], [16].

21.yy'a gelindiğinde elektrikli araçlar sektöründe ilerleme tüm hızı ile devam etmiştir. Farklı firmalar tarafından daha uzun menzilli araçlar piyasaya sürülmeye başladı. 2003 yılında Tesla Motors Kaliforniya'da kuruldu. 2004 yılında Tesla Motors, popüler ve şık Lotus Elise tasarımına dayanan %100 elektrikli spor otomobil Tesla Roadster üzerinde çalışmaya başladı ve 2006 yılına gelindiğinde San Francisco Uluslararası Otomobil Fuarı'nda Tesla Roadster sergiledi. Otomobil birçok elektrikli otomobilin görüntüsünü değiştirmiş ve bazı önemli otomobil üreticilerini gerçekten elektrikli otomobil pazarına geçiş için teşvik etmiştir. 2008 yılında Tesla Roadster lityum iyon pil hücrelerini kullanan ilk seri üretim elektrikli otomobilin yanı sıra, tek bir şarjla 200 mil (yaklaşık 320 km) üzerinde bir menzili olan ilk seri üretim elektrikli aracı haline gelmiştir. Aynı yıl içinde Barack Obama başkanlık için kampanya yaparken, başkan seçildiğinde 2015 yılına kadar ABD yollarında 1 milyon plug-in (soketli) hibrid ve elektrikli araç olacağını belirtmiştir.

2009 yılında ise BYD markası dünyanın ilk plug-in hibrid kompakt sedanı olan F3D'yi piyasaya sürdü. Bu araç üzerinde daha az enerji yoğunluğuna sahip fakat daha kararlı bir yapıda olan lityum demir fosfat piller kullanılmıştır. 2012 yılında Tesla, Model S versiyon aracına göre benzer bir performans sergileyen bir elektrikli SUV olan Model X'i duyurmuş ve SUV sahiplerinin ücretsiz olarak kullanabileceği bir Kuzey Amerika hızlı şarj (Supercharger) ağı inşa etmeye başlamıştır. 2012 yılı boyunca 200,000 elektrikli otomobil bir önceki yıla oranla 2,5 kat fazla olarak yollara çıktı [17].

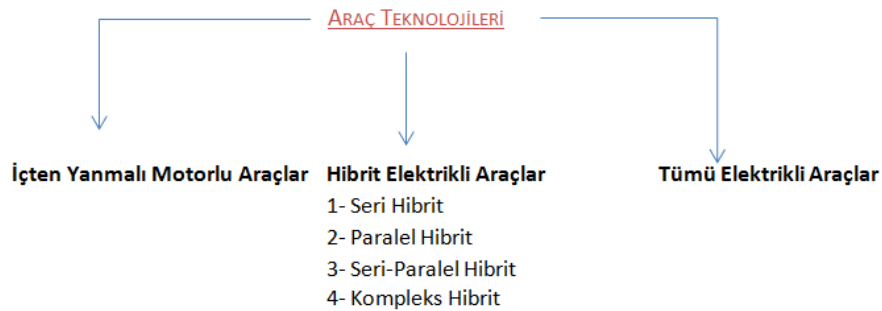
2013 yılında Nissan markasının Leaf modeli 50.000'in üzerinde satış yapan ilk elektrikli otomobil modeli oldu. Nissan Leaf, ABD'de üretilen araç olması bakımında ABD hükümeti tarafından kullanıcılara 6 bin dolarlık indirim çeki olanağı sağlandı. Bazı aylarda Nissan Leaf ve Tesla Model S, her biri Norveç'teki en çok satan otomobil haline geldi. Daha sonra Renault, Nissan ittifakı ile 100.000 araç satışını aşan ve bunu

gerçekleştiren ilk şirket olmuştur. 2013 yılı boyunca 405.000 elektrikli otomobil, bir önceki yıla göre iki katından fazla bir sayıda yollara çıktı.

2014 yılında artık her firma elektrik araç yapım çalışmalarına başlamış ve birçok markanın birçok modelini hizmete sunmuştur. Firmaların bazı araçları şu şekildedir; BMW i3, BMW i8, Bolloré Bluecar, BYD e6, BYD Qin, Cadillac ELR, Chevy Spark EV, Chevy Volt, Citroën Berlingo Électrique, Citroën C-Zero, Fiat 500e, Ford C-Max Energi, Ford Fusion Energi, Ford Focus Electric, Honda Accord Plug-in, Honda Fit EV, Kia Soul EV, Mercedes-Benz B-Class Electric, Mia Electric, Mitsubishi i-MiEV, Mitsubishi Outlander Plug-in, Nissan e NV200, Nissan Leaf, Opel Ampera, Peugeot iOn, Peugeot Partner EV, Porsche Panamera S-E Hybrid, Renault Kangoo ZE, Renault Twizy, Renault Zoe, Smart Electric Drive, Tesla Model S, Tesla Model X, Toyota Prius Plug-in, Toyota RAV4 EV, Via Motors VTRUX SUV/Truck/Van, Volvo C30 Electric, Volvo V60 Plug-in, Volkswagen e-Golf, Volkswagen e-Up!, Volkswagen XL1, Wheego LiFe, Wheego Whip [17].

1.3. Araç Teknolojileri

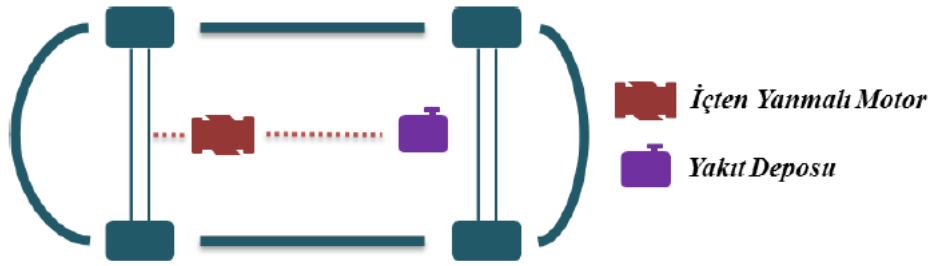
Araç çeşitleri araçlardaki enerji kaynağı ve motor tahrik yöntemine göre üç grup altında sınıflandırılmıştır. Bunlar içten yanmalı motorlu araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve tümü elektrikli araçlardır [18]. Araç teknolojilerinin sınıflandırılması Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Araç teknolojilerinin sınıflandırılması [19]

1.3.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlar

İçten yanmalı motorlu araçlarda motorun çalışması için gerekli olan enerji yakıt deposunda bulunan fosil yakıttan karşılanır. Bu araçlarda enerji sağlayıcı olarak kullanılan fosil yakıtlar benzin, dizel ve henüz araştırma aşamasında olan hidrojen yakıtları olarak adlandırılmaktadır [18]. İçten yanmalı araç yapısı Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. İçten yanmalı motorlu araç yapısı [19]

İçten yanmalı motorlar için çalışma prensibi şu şekildedir: yanma odasında yüksek sıcaklık ve basınç altında yanma odasına püskürtülen yakıt hava ile karışır ve motor tipine göre dışarıdan ateşlemeyle veya kendiliğinden tutuşur. Bu reaksiyon sonucunda yanma meydana gelir. Yanma odasında gerçekleşen bu olaydandan sonra ortaya bir enerji çıkar ve bu enerji hareket enerjisine çevrilir. Aracın hareketi için gerekli olan hava ve yakıt karışımı optimum seviyede olmalıdır. Eğer yanma odasında olması gerekenden fazla ya da eksik hava varsa yanma işlemi bozulacaktır. Böyle bir durumda yanma odasındaki yakıtın yanması için ihtiyaç olan reaksiyonlar tam anlamıyla gerçekleşemeyecektir. Bu sebeple de alınan verimlerde kayıplar yaşanır ve ciddi çevre kirliliklerine neden olunur.

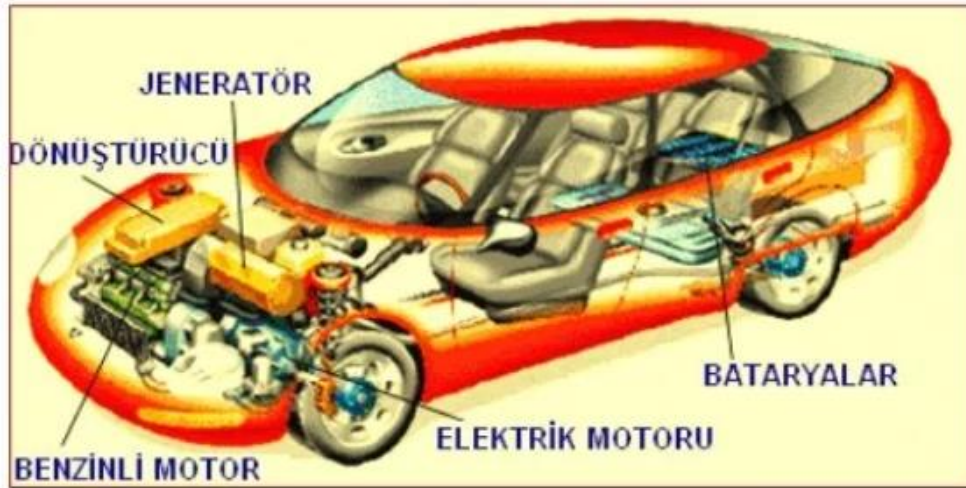
İçten yanmalı motorlu araçtan ne kadar güç elde edilmek istenirse motor boyutu büyütülmeden yeterli miktarda yakıt ve hava karışımı yanma odası için sağlanmalıdır. Eğer küçük motorlu bir araç için yüksek güç istenirse daha fazla yakıt sağlanmalı ve yeterli hava ile karışım yapılmalıdır. Bu durum araç için tüketimi artırmak demektir [20].

1.3.2. Hibrit Elektrikli Araçlar

Motor tahrikinin hem içten yanmalı motor ile hem de elektrik motoru ile sağlandığı araçlar hibrit elektrikli araçlar olarak tanımlanmaktadır. Hibrit elektrikli araçlar için dört farklı karakteristik mevcuttur. Bunlar seri, paralel, seri-paralel ve kompleks olmak üzere dört çeşit hibrit elektrikli araç mevcuttur [21], [22].

1.3.2.1. Seri hibrit elektrikli araçlar

Bu tip hibrit elektrikli araçlarda ana tahrik ünitesi olarak içten yanmalı motor kullanılır. İçten yanmalı motor bir jeneratörü çalıştırarak enerji üretilmesini sağlar. Üretilen elektrik enerjisi elektrik motorunu sürebilmekte ve pil paketlerini şarj edebilmektedir [21], [22]. Seri hibrit elektrikli aracın yapısı Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Seri hibrit elektrikli araç yapısı [23]

Seri hibrit elektrikli araçta tekerleklerle iletilen hareket gücü elektrik motorlarından sağlanmaktadır. Elektrik motoru, bataryalardan veya hibrit güç ünitesinden sağlanan elektrikselsel gücü mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Hibrit güç ünitesi ise bir içten yanmalı motordan ve bu motordan elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren jeneratörden meydana gelmektedir. Yakıt tankında bulunan fosil yakıtlı enerjiyi içten yanmalı motor sayesinde mekanik enerjiye çevrilmektedir. Buradan elde edilen mekanik enerji ise jeneratör sayesinde elektrik enerjisine çevrilmektedir. İhtiyaç durumuna göre güç kontrol ünitesi (Power Control Unit - PCU)

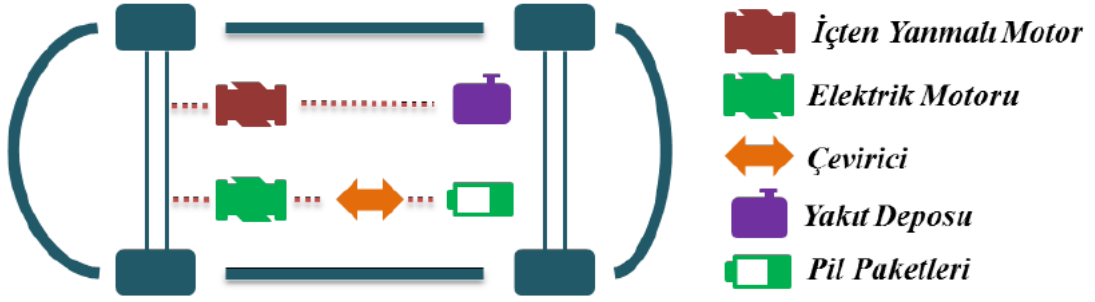
tarafından verilen kararlar, depolanmak üzere bataryalara ya da hemen kullanılmak üzere elektrik motoruna iletilmektedir.

Motor kontrol ünitesi, bataryaların aşırı şarj veya aşırı deşarj olmasını önlemek için içten yanmalı motor ve jeneratör grubunu kullanarak bataryaları % 60 - % 80 doluluk oranında tutar. Batarya doluluk oranı belirlenen limitin altına düşerse, içten yanmalı motor çalışmaya başlar. Benzer şekilde batarya şarjı bu limitin üstüne çıkarsa, içten yanmalı motor çalışmayı durdurur. Kullanılan bu sistemin en önemli avantajlarından biri de yokuş aşağı gidiş ve frenleme sırasında açığa çıkan enerjinin elektrik motoru tarafından aküleri şarj etmede kullanılabilmesidir. Bu olay rejeneratif (faydalı) frenleme olarak adlandırılmaktadır. Yapı olarak seri hibrit sistem, yakıt pilli aracın sistemine en yakın olanıdır. Yakıt pilli sistemde içten yanmalı motor ve elektrik jeneratörü yerine yakıt pili sistemi, yakıt tankı yerine ise hidrojen depolama sistemi kullanılmıştır. Geleceğin teknolojisi olarak gösterilen bu sistem için seri hibrit sistemler altyapı hazırladıkları için ayrı bir öneme sahiptirler [24].

Seri hibrit sistem ile paralel hibrit sistem kıyaslandığı zaman seri hibrit sistem için en büyük dezavantaj, jeneratörün varlığıdır. Jeneratör bu sistemde elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Jeneratör ek ağırlık ve ek maliyet demektir. Ayrıca toplam sistem verimi, enerji dönüşümü çok olduğu için düşmektedir. Seri hibrit elektrikli araçlar tamamen elektrik motoru temeli üzerine tasarlanmıştır. Şehir kullanımında elektrik motoru, enerjisini aküden almaktadır. Otoyoldaysa içten yanmalı motorun çalıştırdığı jeneratör aküyü yeniden şarj etmek ve elektrik motorunu beslemek için elektrik üretmektedir. Sollamalar ya da rampa gibi daha fazla enerjinin gerektiği durumlarda, aküden de enerji gelmektedir. Şehirde olduğu kadar otoyollarda da çevre dostu olan seri hibritlerin aküsü; enerji deposu ve güç destek kaynağı olarak çalışmaktadır. Jeneratörü harekete geçiren içten yanmalı motor ise hemen hemen sabit bir hızla çalıştığından, optimum yakıt tüketimi ve gaz emisyonu değerlerini yakalamak mümkün olmaktadır [24].

1.3.2.2. Paralel hibrit elektrikli araçlar

Araç hareketi içten yanmalı motor ve elektrik motoru tarafından aktarma organları ile beraber sağlanan bu araçlar paralel hibrit elektrikli araçlar olarak adlandırılmaktadır. Paralel hibrit elektrikli aracın yapısı Şekil 1.5’te verilmiştir.



Şekil 1.5. Paralel hibrit elektrikli araç yapısı [19]

İçten yanmalı motor ve elektrik motoru ile tekerlere aktarılan güç üretilmektedir. Bu iki motor birbirlerine bağlanıp daha sonrada bir transmisyonla elde edilen güç tekerleklere iletilir. Seri hibrit elektrikli araçlarda herhangi bir transmisyona ihtiyaç duyulmamaktadır. Paralel hibrit elektrikli araçlarda yine akü ve fosil yakıt enerji sağlayıcı olarak kullanılmaktadır.

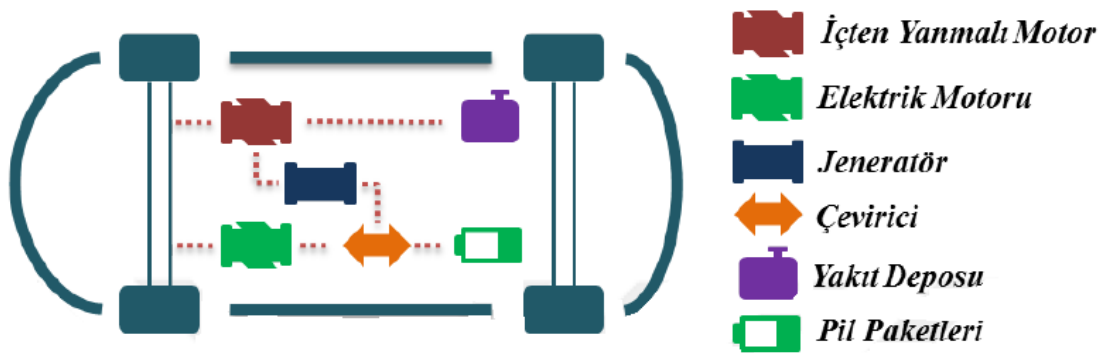
Paralel hibrit elektrikli aracın çalışma prensibi şu şekildedir. Yakıt tankındaki kimyasal enerji içten yanmalı motor sayesinde mekanik enerjiye dönüştürülüp tekerleklere iletilmektedir. Elektrik motoruysa aküden aldığı enerji ile bağımsız bir güç üretmekte ve yine tekerlere iletmektedir. Elektrik motoru bu sistemlerde genelde şehir içi ulaşımında etkin olarak kullanılmaktadır. İçten yanmalı motor ise aynı özelliklere sahip bir konvansiyonel araca göre daha küçük tasarlanabilmektedir. Bu da hem maliyeti, hem de ağırlığı azaltmaktadır. Araç iki farklı sistem ile tahrik edildiği için genelde içten yanmalı motor küçük olarak seçilir. Motor dizaynı küçük olarak yapıldığından araç ağırlığı da az olacaktır. Bu, paralel hibrit elektrikli araçların en büyük özelliklerinden biridir. İki motorun kullanılması maksimum gücü karşılaması ve gerekmediğinde motorlardan birinin kapatılabilmesi bu araçların bir diğer avantajıdır. Bu sistemlerde akülerin kapasitesi ve boyutları seri hibrid sisteme göre daha az olduğundan elektrik motorları içten yanmalı motorlara göre daha düşük güce sahiptir. Aküler ise genelde frenleme ve yokuş aşağı seyir sırasında tekerleklerde oluşan kinetik

enerji sayesinde şarj edilmektedir. Ayrıca gereken durumlarda içten yanmalı motor tahrik kuvvetinden daha yüksek güç üretir ve bu fazla güç elektrik motorunun jeneratör işlevi yapmasıyla elektrik enerjisine çevrilerek akülerde depolanır. Yani paralel hibrit elektrikli araç jeneratör olmaksızın seri hibrit elektrikli araç gibi çalışabilir. Fakat bu durum içten yanmalı motorun daha yüksek devirlerde ve düzensiz çalışması demektir.

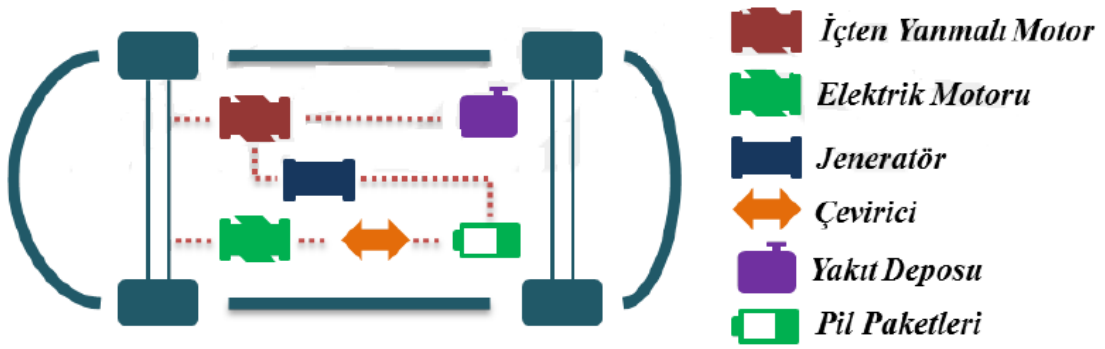
Frenleme ve yokuş aşağı inişlerde açığa çıkan enerjinin büyüklüğü hafif paralel hibrit denilen sistemlerin gelişmesine yol açmaktadır. Bu sistemlerde çok küçük elektrik motorları ve aküler kullanılarak açığa çıkan enerji geri kazanılmaya çalışılmaktadır. Ufak bir maliyetle hem yakıt tüketimi azaltılabilmekte, hem de elektrik motorunun küçük olmasına rağmen ürettiği yüksek tork sayesinde aracın çekişinde fark edilebilir iyileşme söz konusu olmaktadır. Üreticiler şu an piyasadaki ürünlerine bu sistemi adapte etme çalışmalarını sürdürmektedirler [25], [26].

1.3.2.3. Seri-Paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçlar

Hibrit araçlar üzerinde yapılan çalışmalar tamamen verimi artırmaya yöneliktir. Bu sayede seri ve paralel hibrit elektrikli araçların yapılarına benzeyen seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçlar aracın güç performansını artırırken daha ekonomik yakıt tüketimini de sağlamaktadır. Seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçların yapıları Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.6. Seri-Paralel hibrit elektrikli araç yapısı [19]



Şekil 1.7. Kompleks hibrit elektrikli araç yapısı [19]

Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar, seri ve paralel hibrit elektrikli araçların yapılarındaki verimlilikleri birleştirir. Ancak yapı olarak daha çok paralel yapıya benzer. İçten yanmalı motor doğrudan tekerleklere bağlıdır, aynı zamanda seri hibrit yapıda olduğu gibi jeneratör ile elektrik motoruna da enerji desteği sağlayabilir. Düşük hızlarda araç seri yapıda çalışırken, yüksek hızlarda ise içten yanmalı motor doğrudan tekerleklere bağlanarak gereken gücü sağlar [27].

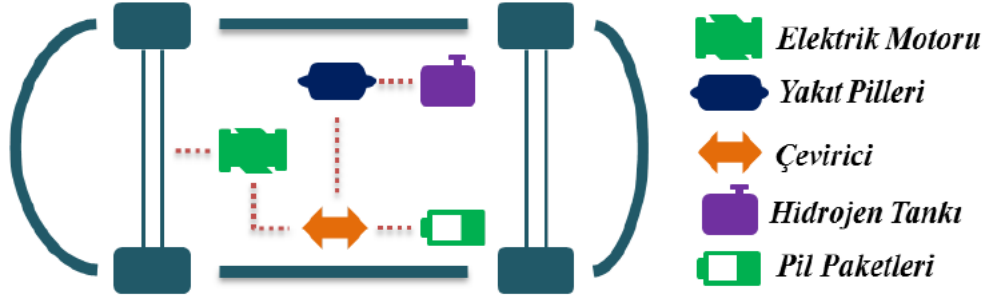
1.3.3. Tümü Elektrikli Araçlar

Bu araçlarda yalnızca elektrik motoru kullanılmaktadır. Kullanılan elektrik motoru hem ana tahrik olarak görev üstlenir hem de jeneratör görevi ile bataryaların şarj olmasını sağlamak ile görevlidir. Yakıt maliyeti içten yanmalı motorlar ile kıyaslanınca çok düşüktür ve bakım maliyeti de azdır. Bu araçlar “sıfır emisyonlu araçlar” olarak adlandırılır ve doğaya zararlı hiçbir gaz salınımı yapmazlar. Ancak elektrikli araçlar için birtakım problemler mevcuttur. Bu problemler elektrikli araçların satışını ciddi oranda etkilemektedir. Problemlerden bazıları, üretim maliyeti ve buna bağlı olarak satış fiyatının yüksek ve menzilin kısa, şarj süresinin uzun olmasıdır [28].

1.3.3.1. Yakıt pilli elektrikli araçlar

Yakıt pilli elektrikli araçlar için gerekli olan tahrik gücü elektroliz işlemleri ile sağlanmaktadır. Gerçekleşen elektroliz işleminde yakıt pillerinin kimyasal enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür ve işlem sonucunda sadece su ve ısı açığa çıkmaktadır. Yakıt pilli elektrikli araçların yapısı seri hibrit elektrikli araçların yapısına benzemektedir. Seri hibrit elektrikli araçlarda bulunan yakıt deposu yerine hidrojen tankı, içten yanmalı motor ve jeneratör yerine de yakıt pilleri bulunmaktadır. Yakıt

pillerinden elde edilen elektrik enerjisi motoru çalıştırabilmekte ve pil paketlerini şarj edebilmektedir [29]. Yakıt pilli elektrikli aracın yapısı Şekil 1.8’de verilmiştir.



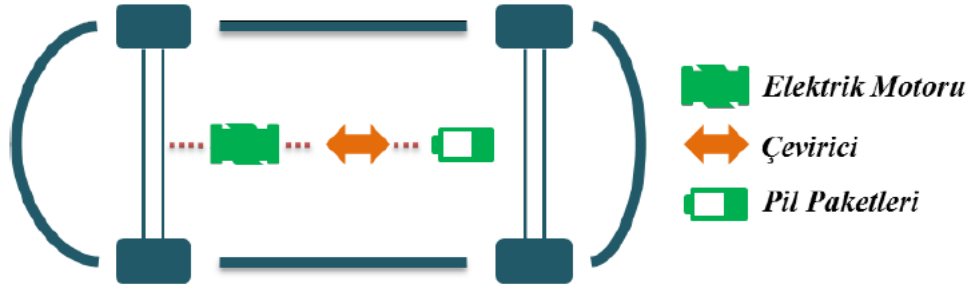
Şekil 1.8. Yakıt pilli elektrikli araçlar [19]

Yakıt pilinde elde edilen enerji miktarı, yan yana gelen metal plakaların seri bağlanması ile elde edilir. Her bir plaka yaklaşık olarak 1,2 V’luk enerji sağlamaktadır. Bu plakaların verdikleri enerji ise üretici firmalara göre değişmektedir. Fakat yakıt pillerinde elde edilen enerji, oksijen ve hidrojenin belirli oranlarda elektronik kontrol ile gerçekleştirilmektedir. Yakıt pili üzerine yerleştirilen sensörler, sistemde oksijen ve hidrojen yoğunluğunun kontrol edilmesini sağlamaktadır [30].

Yakıt pilli elektrikli araçlarda da yakıt pillerinin ve hidrojen tüplerinin uzun ömürlü ve sağlıklı çalışabilmesi için belirli sıcaklık ve nem değerleri sağlanmalıdır. Bu değerler aşıldığında yakıt pili ve tüplerinin çalışması tehlikeye girmektedir. Bu nedenle yakıt pilinin ve özellikle hidrojen tüplerinin sıcaklık ve nem değerleri sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Günümüzde birçok elektrikli araç teknolojisi ve elektronik geliştirme platformları kullanılmaktadır [30].

1.3.2.4. Pil paketli elektrikli araçlar

Bu tip elektrikli araçlarda diğer araçlarda bulunan yakıt deposu, içten yanmalı motor ve jeneratör bulunmamaktadır. Elektrik motorunu çalıştırıp gerekli olan tahrik gücünü sağlamak için ihtiyaç olan elektrik enerjisi sadece pil paketlerinden elde edilmektedir. Pil paketleri boşaldığında veya azaldığında tekrar doldurulmaları gereklidir. Bu doldurma işlemi şebekeden enerji çekilerek gerçekleştirilir. Pil paketli elektrikli aracın yapısı Şekil 1.9’da verilmiştir.



Şekil 1.9. Pil paketli elektrikli araçlar [19]

1.4. Sonuç

Tezin bu bölümünde elektrikli araçlar teknolojisine giriş mahiyetinde bazı temel bilgiler verilmeye çalışılmıştır. Özellikle içten yanmalı motorlu araçlar ile günümüz teknolojisine sahip elektrikli araçlar gibi tezin hazırlanmasında önemli bir yere sahip olan sistemlerden bahsedilmiştir. Arzu edilirse anlatılan konular ile ilgili detaylar [1-24] kaynaklarından elde edebilir.

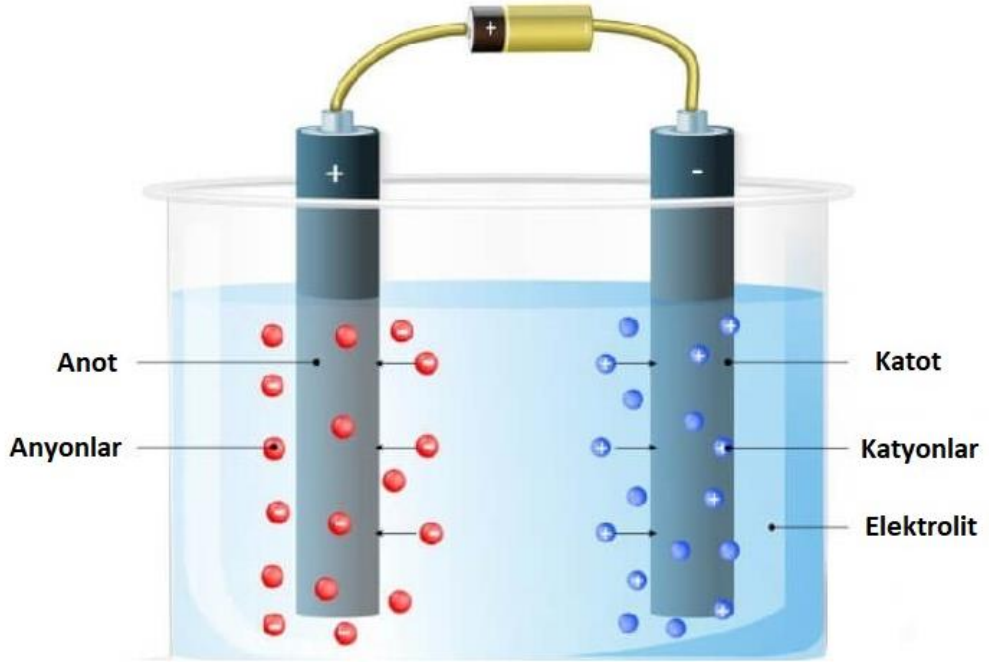
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN PİL TEKNOLOJİLERİ

2.1. Giriş

Piller, kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştüğü elektrokimyasal hücrelerden oluşan enerji depolama birimleridir [31]. Pil sistemleri genel olarak üç ana bileşenle açıklanabilir:

- a) anot malzemesi
- b) katot malzemesi
- c) elektrolit

Şekil 2.1’de pilin ana bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Basit bir pil sistemi komponentleri [32]

Piller, günlük hayatımızın hemen her alanında, birçok uygulamalarda (el bilgisayarları, diz üstü bilgisayarlar, saatler, cep telefonları, vb.) kullanılmaktadır. Kullanıcıya özgü her şekilde ve büyüklükte yapılabildiklerinden farklı amaçlarla (askeri, sağlık vb.) kullanılabilirler. Gelişmiş ülkelerde kişi başına harcanan pil adedi yılda 10’dan fazladır.

Uzun bir tarihe sahip olan piller, ilk olarak 1800’lü yıllarda keşfedilmiştir. Keşfedildikten günümüze gelinceye kadar piller üzerinde birçok gelişim kaydedilmiştir. En hızlı ve kaydadeğer gelişim son çeyrek yüzyılda yaşanmıştır. Bunun en büyük nedenini portatif elektrikli cihazların artması nedeniyle ortaya çıkan talep oluşturmuştur.

2.2. Pil Çeşitleri

Piller, elektrikle şarj olma yeteneklerine bağlı olarak birincil (şarj edilemez) veya ikincil (şarj edilebilir) olarak sınıflandırılır [33]. Pil teknolojileri bakımında günümüzde çok büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Pil üretimi sırasında gerekli olan malzemelerin geliştirilmesi ile birlikte yeni pil çeşitlerinin de üretilmesini mümkün kılınmıştır. Günümüzde hâlâ kullanılmakta olan sıvı elektrolitli pillerin yanı sıra, katı, polimer ve ergimiş tuz elektrolitli piller geliştirilmiştir. Elektrolitler de bir sınıflandırma parametresi olarak kullanılsalar da piller çoğunlukla birincil ve ikincil tip piller olarak ikiye ayrılarak sınıflandırılır. Artan pil tüketimi ile çevre kirliliği konuları da gündeme gelmiş ve tüketiciler daha çok ikincil (şarj edilebilir) pillere yönlendirilmeye çalışılmıştır. Fakat çoğu uygulamada hala üreticiler tarafından birincil piller tercih edilmeye devam edilmektedir. Bu nedenle her iki pil tipinin de tarihsel gelişimini ve ortaya çıkarılan belli başlı ürünlerini inceleyerek, bu pillerin özelliklerini ve kullanım alanlarını değerlendirmek gerekir.

2.2.1. Birincil Hücre / Piller

Birincil piller çoğunlukla ilk kullanımdan sonra atılır; bunlar şarj edilmeyen pillerdir. Bu piller genellikle karbon çinkodan oluşur ve uzaktan kumandalar gibi ortak kullanımdaki elektronik taşınabilir cihazlar gibi düşük güç uygulamalarında kullanılan en ucuz pillerdir [31]. Birincil pillerin küçük ve taşınabilir cihazlarda kullanımları yaygındır. Resim 2.2’de çeşitli boyut ve tiplerdeki birincil ve ikincil pillerin resimleri verilmiştir. Birincil piller şekillerine göre ve çalışma voltajlarına göre sınıflandırılırlar. Birincil pillerin Avrupa ve Amerika standartlarına göre sınıflandırılması Çizelge 2.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Çeşitli boyut ve tiplerdeki birincil ve ikincil piller [34]

Çizelge 2.1. Birincil pillerin Avrupa ve Amerikan Standartlarına göre sınıflandırılması (L:boy, D: çap) [34]

Amerikan Standartları	Avrupa Standartları	Şekil ve Boyutlar	Çalışma Voltajı
N	-	Silindir, L 30,2 mm, D 12 mm	1,5 V
AAAA	-	Silindir, L 42 mm, D 8 mm	1,5 V
AAA	R03	Silindir, L 44,5 mm, D 10,5 mm	1,5 V
AA	R6	Silindir, L 50 mm, D 14,2 mm	1,5 V
C	R14	Silindir, L 43 mm, D 23 mm	1,5 V
D	R20	Silindir, L 58 mm, D 33 mm	1,5 V
PP3	6F22	Dikdörtgenler prizması 48 mm x 25 mm x 15mm	9,0 V

2.2.2. İkincil Hücre / Piller

İkincil piller, ilk kullanımdan sonra tekrar-tekrar şarj edilebilir pillerdir [35]. Bu piller 4 başlık altında toplanabilir. İkincil piller, günlük yaşamımızda giderek önemli bir

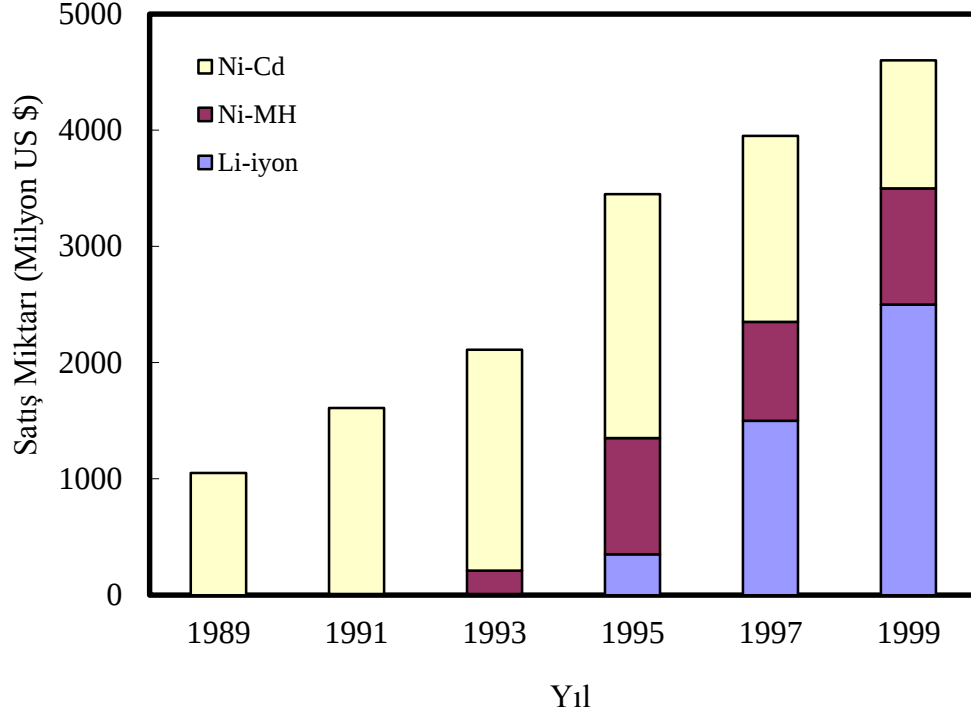
rol oynayan mikro şebeke ve elektrikli araçlarda enerji depolama birimleri olarak kullanılmaktadır [36].

Yapıları, çalışma voltajları, uygulama alanları açısından değişik tiplerde ikincil piller mevcuttur. Yapılarına göre bazı ikincil pillerin özellikleri Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı ikincil piller ve özellikleri [34]

	Kurşun Asit	Lityum İyon	Nikel Kadmiyum	Nikel Metal Hidrit
Çalışma Voltajı (V)	2	3,6	1,25	1,25
Enerji Yoğunluğu (Wh/kg-1)	30-50	110-160	45-82	60-120
Çevrim Ömrü (şarj-deşarj sayısı)	200-300	500-1000	1500	300-500
Çalışma Sıcaklığı (°C)	(-20) (+60) arası	(-20) (+60) arası	(-40) (+60) arası	(-20) (+60) arası
Ticari Kullanıma Başlama Tarihi	1970	1991	1989	1990
Uygulama Alanları	Araç Endüstriyel Güç Kaynakları	Araçlar, radyo, cep telefonları, hesap makineleri, tıbbi cihazlar vb	Araçlar, acil güç kaynakları, saatler vb	Cep Telefonları

Dünya Pazar payları bakımından ikincil pillerin incelemesi Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Şekil 2.3'te görüldüğü üzere lityum piller sahip oldukları avantajlarından dolayı (özellikle enerji yoğunluğu) 1991 yılından sonra ikincil pil pazarında etkin bir konuma gelmiştir.



Şekil 2.3. Yıllara göre dünyada ikincil pil pazarı [34]

2.2.3. Pillerin karakteristik özelliği

2.2.3.1. Voltaj

Pilin artı ve eksi uçları arasındaki potansiyel farka voltaj denir. Pil voltajı elektrot reaksiyonlarının kinetiğine, hücre reaksiyonunun serbest entalpisine ve hücre direncine bağlıdır. Genellikle pil imalatçıları gerilim değerlerini yüksek tutmaya çalışırlar fakat yeni nesil lityum pillerde ise gerilim değerleri daha düşüktür [37].

2.2.3.2. Kapasite

Kapasite Amper-saat olarak ifade edilir ve pilden elde edilen elektrik miktarıdır. Bataryanın kapasitesi, bataryanın büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Pilin içindeki elektrolit ve elektron kapasitesi ne kadar fazla ise pil kapasitesi de o kadar fazladır. Her bir elektrotun nominal kapasitesi Denklem 2.1’de verilen Peukert kanunu ile ifade edilir. Bataryanın kapasitesi, kapasite bakımından en düşük olan elektrota göre belirlenir [37].

$$C_p = I_B^k t \quad (2.1)$$

C_p : Peukert'e göre kapasite (Ah)

I_B : Batarya deşarj akımı (A)

t = Batarya deşarj zamanı (saat)

k : Peukert sabiti

2.2.3.3. Elektrik depolama yoğunluğu

Bir pilin birim ağırlığı başına çekilebilecek yükün ölçüsüdür. Diğer bir ifade ile birim ağırlıktaki kapasitedir. Bu hesaplama için pilin tüm ağırlığı (dış kaplaması dahil) hesaba katılır. Elektrik depolama yoğunluğu birimi; C kg⁻¹'dir.

2.2.3.4. Enerji yoğunluğu

Pilin ağırlığı başına elde edilebilecek enerjidir. Wh/ kg olarak ifade edilir.

2.2.3.5. Çevrim ömrü

Piller şarj ve deşarj edildikleri sürece kimyasal ve fiziksel olarak deformasyon yaşarlar. Bu deformasyon çevrim ömrü olarak adlandırılır. Çevrim ömrü bir pilin kaç defa doldurulup (şarj) boşaltılabileceğini (deşarj) gösteren sayıdır.

2.2.4. Bazı Ticari İkincil Piller

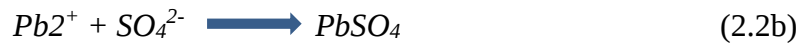
Farklı türlerde ve farklı kullanım özelliklerine sahip ikincil pillerden bazılarının özelliklerine aşağıda değinilmiştir. Ticari kullanımlarında genellikle birden daha çok pilin bir arada kullanılmasından dolayı bu piller batarya veya akümülatör olarak adlandırılmıştır [37].

2.2.4.1. Kurşun asit piller

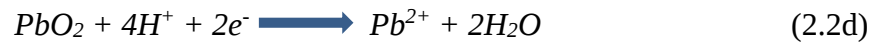
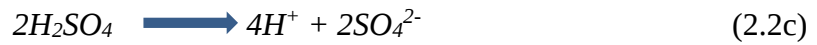
En eski pil teknolojileri arasında yer alan kurşun asit piller birçok uygulamada başlıca pil tipi olarak kullanılmaktadır. Kurşun asit pillerin yapıları incelendiğinde negatif yüklü elektrot üzerinde kurşun, pozitif yüklü elektrot üzerinde kurşun dioksit (PbO₂) ve elektrolit olarak sülfürik asit (H₂SO₄) materyalleri kullanılmaktadır. Kurşun asit piller bazı avantajlara sahiptir. Bunlar hafıza etkisinin bulunmaması, yüksek deşarj akımı, düşük öz boşalım ve ucuz olması olarak sıralanabilmektedir. Ancak bu tip pillerin bazı dezavantajları da vardır. Gerilim seviyelerinin düşük olması ve beklediği zaman kapasitesinin düşmesi başlıca dezavantajlarıdır.

Kurşun asit piller sürekli gelişim göstermektedir. Son yıllarda bu piller üzerinde yapılan çalışmalar genellikle kurşun asit pillerin ağırlığını azaltmaya ve kapasitesini artırmaya yönelik olmuştur. Diğer özellikleri değiştirmeden yapılan çalışmalar enerji yoğunluğunu 24 Wh/kg'dan 32 Wh/kg'a çıkarmıştır [38]. Genel olarak kurşun asit pil Denklemleri (2.2a), (2.2b), (2.2c), (2.2d) ve (2.2e) ile ifade edilmiştir.

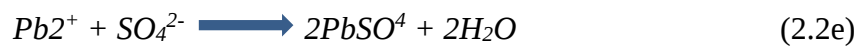
Anot reaksiyonu;



Katot reaksiyonu;

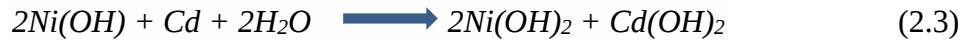


Reaksiyon sonu oluşan durum;



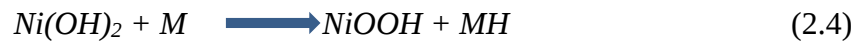
2.2.4.2. Nikel kadmiyum piller (Ni-Cd)

Nikel kadmiyum piller de bilinen en eski şarj edilebilir piller arasındadır [39]. Güvenli ve ucuz olan bu piller 1989'da icat edilmiştir. Yapıları incelenir ise negatif yüklü elektrotta kadmiyum/kadmiyum hidroksit ($\text{Cd} / \text{Cd(OH)}_2$), pozitif yüklü elektrotta nikel hidroksit / nikel oksihidroksit ($\text{Ni(OH)}_2 / \text{NiOOH}$) ve elektrolit olarak potasyum hidroksit (KOH) materyalleri kullanılmaktadır. Son derece verimli olan bu piller kurşun asit piller ile kıyaslandığında daha yüksek deşarj akım yoğunluğuna sahiptir. 20 yıldan fazla bir raf ömrüne sahip olan Nikel Kadmiyum pil, bu süre içerisinde herhangi bir bakıma ihtiyaç duymaz. Kullanım alanları, trenlerin ışıklandırılmasında, saatlerde, motorların ilk çalıştırılmasında ve askeri amaçlı cihazlardır. Bu tip pillerin önemli dezavantajları da vardır. Bunlar düşük şarj / deşarj verimi ve yüksek öz boşalımdır. Nikel kadmiyum batarya Denklem (2.3) ile ifade edilmiştir.



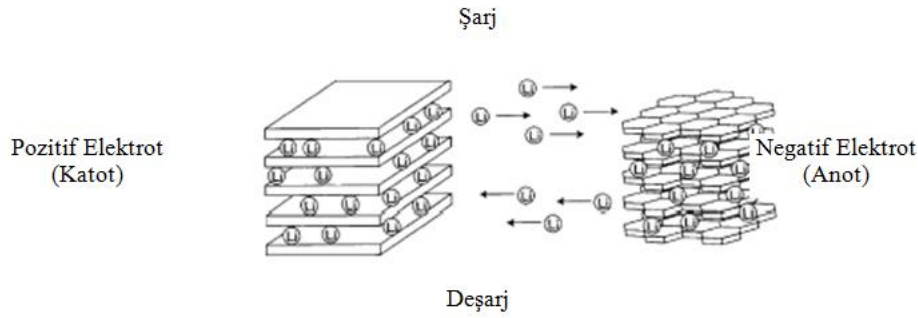
2.2.4.3. Nikel metal hidrit piller (Ni-MH)

Nikel metal hidrit piller ile nikel kadmiyum piller arasındaki en önemli fark Kadmiyum elektrotu yerine metal hidrit kullanılmıştır. Bu pil nikel kadmiyum pilin dezavantajlarını azaltmak için geliştirilmiştir. Her iki pilin de nominal voltaj değerleri eşit iken nikel metal hidrit piller daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak nikel metal hidrit piller, nikel kadmiyum pillerine göre daha yüksek öz boşalım oranına ve aşırı şarj durumunda daha düşük güvenilirliğe sahiptir. Bu pillerin piyasaya çıkması ile kadmiyum pillerin pazar payı azalmıştır. Cep telefonları ve portatif uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Nikel metal hidrit batarya Denklem (2.4) ile verilmiştir [37].



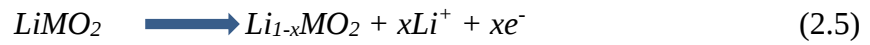
2.2.4.4. Lityum İyon (Li-ion) Piller

Lityum iyon piller diğer pillerin avantajını bünyesinde bulunduran pil tipidir. Pozitif elektrot olarak diğer materyallere göre düşük toksit, yüksek kapasite ve ucuz olması avantajı ile lityum metal oksitler kullanılmaktadır [40]. Yaygın kullanılan lityum iyon pillerde kullanılan oksitler; Lityum kobalt oksit (LiCoO₂), Lityum nikel oksit (LiNiO₂), Lityum manganez oksit (LiMn₂O₂)'tir. Nikel pil teknolojisinden farklı özelliklere sahip olan bu piller daha yüksek nominal voltaj ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir [41], [42]. Lityum iyon pillerde şarj anında lityum iyonları Şekil 2.4'te görüldüğü gibi katottan anoda doğru, deşarj esnasında ise anoddan katoda doğru hareket etmektedirler. Elektrotlarda meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlar ise Denklem (2.5) ve Denklem (2.6)'da verilmiştir.

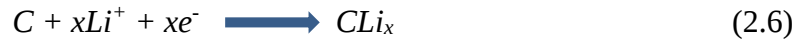


Şekil 2.4. İkincil lityum pillerin şarj-deşarj mekanizması [43]

Katot reaksiyonu;

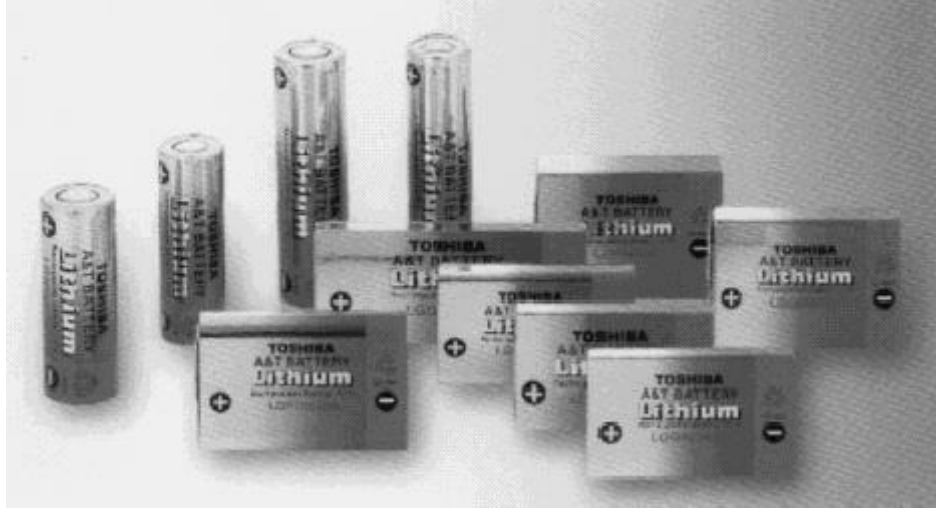


Anot reaksiyonu;

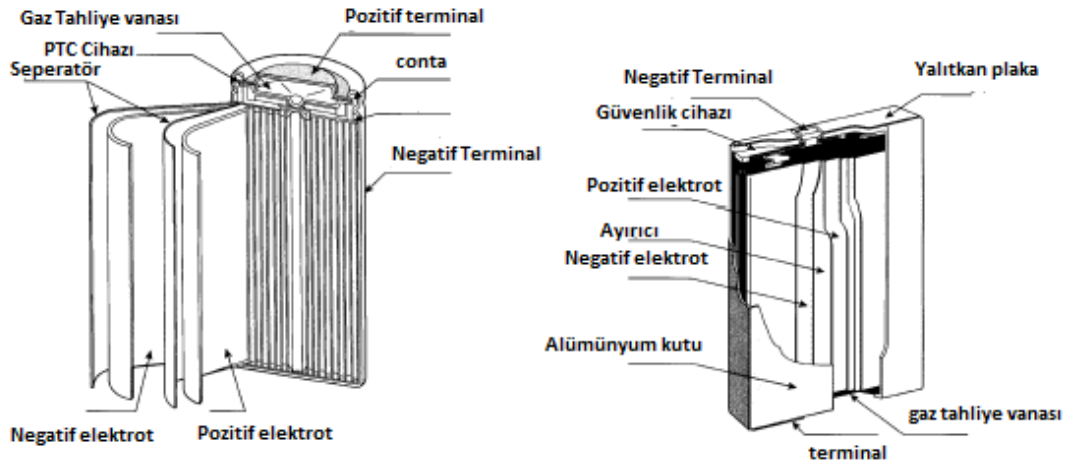


Denklemler incelendiğinde M harfi Kobalt (Co), Nikel (Ni) ve Mangan (Mn) gibi geçiş elementlerini ifade etmektedir. Lityumun ana kaynağı olan pozitif elektrot şarj sırasında lityum iyonu vermeye, deşarj esnasında ise lityum iyonu almaya uygun yapıya ve özelliklere sahip olmalıdır. Pillerin geometrik tasarımının enerji ve güç yoğunluğu

üzerinde önemli etkileri vardır. Bu sebeple araştırmacılar farklı pil tasarımları üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Üreticiler yuvarlak (silindirik) ve yassı (prizmatik) olmak üzere iki farklı yapıda ikincil lityum pil üretmektedir. Toshiba firmasının ürettiği yassı ve yuvarlak pillerin resimleri Şekil 2.5’te, detaylı yapıları ise Şekil 2.6’da gösterilmiştir. İki pil türü farklı tasarımlara sahip olsa da içyapıları benzer özellik gösterir. Kullanım alanlarının farklı olması tasarım yapılarının da farklı olmasını sağlamıştır [34].



Şekil 2.5. Toshiba firmasının ürettiği yassı ve yuvarlak ikincil lityum piller [34]



Şekil 2.6. Yassı ve yuvarlak ikincil lityum pillerin yapısı [34]

2.2.4.4.1. Lityum iyon polimer (LiPo) piller

Belirli bir lityum bazlı pili tanımlamak için polimer tabiri kullanılır. Bu tabir kullanılırken pilin polimer tabanlı olup olmadığı önemsenmemektedir. Bu pil tipleri genel olarak prizma ve gözenek benzeri yapılara sahiptir. Polimer yapılar plastik ile özdeşleşmiştir fakat sentetik plastiklerden temel biyolojik yapıları oluşturan proteinlere ve doğal polimerlere kadar geniş bir aralığa hitap eder. Bu piller diğer pil sistemlerinden elektrolit kullanımı açısından ayrılırlar. 1970’li yıllarda orijinal polimer pillerde katı polimer elektrolit kullanılmıştır. Bir film tabakasından oluşan katı polimer iyon akışına imkan tanıyor, elektrolite daldırılmış geleneksel gözenekli ayıracın yerini alıyordu.

Katı polimerlerin iletkenlik güçleri oda sıcaklıklarında son derece düşüktür. Nominal kullanım için bu pillerin 60 santigrat derece ve üzerinde kullanılması gerekmektedir. Katı polimerlerin bu dezavantajı bu tip pillerin sabit uygulamalarda kullanılmasını engellemiştir. 2000’li yıllara gelindiğinde lityum polimer pillerin altın çağı yaşayacağı ‘gerçek plastik batarya’ kavramı ile istenilen etki oluşturulamamış ve bu piller piyasada çok az kullanılmıştır.

Katı polimerden jel polimer yapısına geçildiğinde artık modern lityum polimer pil çağı başlamış oldu. Bu pillerin oda sıcaklığında iletken özellik kazanmalarını sağlamak için oluşturulan düzeneklere ayrıca jelli elektrolit eklenmişti. Bu sayede kısmen nemlendirilmiş mikro gözeneklere sahip bir ayıraçla birlikte üretilen lityum polimer piller oda sıcaklıklarında rahatça kullanıma elverişli hale getirilmiştir. Lityum polimer pillerin büyük bir kısmını kobalt oluşturmaktadır. Bu sayede benzersiz bir yapıda oldukları kabul edilmemiştir [39].



Şekil 2.7. Lityum polimer pil [44]

Lityum iyon ile lityum polimer piller kıyaslandığında aşağıdaki sonuçlar elde edilebilir.

- 1- Her iki pil tipi de benzer anot ve katot materyalleri içerirler.
- 2- Li-polimer pil kendisine özgü mikro boyutlu gözenekli elektrolit bileşeni itibarıyla özgün bir yapıya sahiptir. Lityum iyon pil ise geleneksel gözenekli elektrolit bileşeni kullanmaktadır.
- 3- Lityum polimer pil lityum iyon pilden daha ince bir yapı ile tasarlanabilir.

Piller kimyasal yapılarından dolayı ve elektrotların birbirlerine iyice yapışmalarını sağlamak için yüksek basınç ile paketlenirken Li-polimer piller üzerinde bu şekilde basınçlı paketleme işlemi yapılmaz. Sadece ince levhalar içerisinde paketlenir. Bu tip piller istenildiği şekilde paketlenbildiği için cep telefonu bataryaları veya tabletlerin içerisine kolayca yerleştirilebilirler. Ayrıca farklı tasarımda paketlenmeleri %20 oranında hacimden kazanç sağlamaktadır. Li-polimer aynı zamanda kredi kartı inceliğinde de üretilebilir. Hafiflik ve yüksek özel enerji potansiyeli gibi faktörler Li-polimer'i tercih edilir seçenek haline getirmektedir [45]. Lityum iyon polimer pil reaksiyonları Denklem (2.7) de sunulmuştur [37].



2.2.4.4.2. Lityum sülfür (Li-S) piller

Elektrikli araçlar için pil teknolojisinin geliştirilme aşamasında lityum-sülfür (Li-S) piller ümit verici bir seçenek haline gelmiştir. Bu piller hem maliyeti hem de kendine özgü enerji yoğunluğu ile elektrikli araçlarda kullanılabilecek piller arasında en büyük aday olmuştur. Piyasa şartları baz alındığında elemental kükürtün ucuz ve bol olması son yıllarda en aktif olarak araştırılan katot malzemelerinden biri haline geldi. Bu piller düşük hücre gerilimi, yüksek enerji yoğunluğu, yüksek şarj verimi ve ortalama çevrim ömrüne sahiptirler.

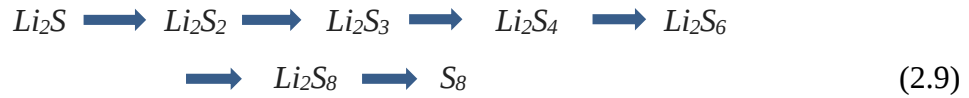
Lityum sülfür piller çeşitli uygulama alanlarında sıklıkla kullanılan lityum iyon ve lityum polimer pillere göre enerji depolarken hiçbir güvenlik problemi ile karşılaşmazlar. Lityum sülfür pil hücreleri ayrıca hafif, güvenli ve bakım gerektirmeyen hücrelerdir. Bu

pillerin en önemli özelliklerinden biri ise %100 deşarj olabilmeleridir [46]. Lityum polimer piller için reaksiyonlar (2.8) ve (2.9)'daki Denklemler ile belirtilmiştir.

Deşarj denklemi;



Şarj denklemi;



2.2.4.4.3. Lityum demir fosfat (LiFePO₄) piller

Lityum demir fosfat piller 3.5 volt dolu gerilime, 3.3 volt işletme gerilimine ve 3.7 volt şarj gerilimine sahip hücrelerdir. Yüksek ısılarda ve düşük ısılarda kararlı bir çalışma yapısına sahip olması, zehirli madde içermemesi, şarj-deşarj ömrünün uzun olması, elektrokimyasal performansının iyi olması, güvenilir karakteristik özelliklere sahip olması ve yüksek özel kapasiteye sahip olması ile elektrikli araçlarda tercih edilmektedir. Lityum demir fosfat piller ortalama 200 watt saat / kg enerji yoğunluğuna sahiptir. Yüksek ısı ve kısa devre anında bile patlama riski minimum olan bir batarya tipidir. Şarj ve deşarj sayısı kurşun asit pillerin on katıdır. Şarj konusunda geniş bir toleransa sahip olsa da elektronik devre kullanılmalıdır [47]. Günümüzde Lityum demir fosfat piller elektrikli aletler içinde yoğun şekilde kullanılmaktadır [48]. Lityum demir fosfat için şarj ve deşarj reaksiyonları Denklem (2.10) ve (2.11)'de verilmiştir [101], [102].

Deşarj denklemi;

$$E_{Discharge} = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + Ae^{-\beta it} \quad (2.10)$$

Şarj denklemi;

$$E_{Charge} = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0.1.Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + Ae^{-\beta it} \quad (2.11)$$

E_0 : sabit voltaj (V)

K: Polarizasyon sabiti (Ah^{-1})

i^* : Düşük frekansları akım dinamiği (A)

i: Batarya akımı (A)

Q: Maksimum pil kapasitesi (Ah)

A: Eksponansiyel voltaj (V)

β : Eksponansiyel kapasite (Ah^{-1})

i_t : Çıkarılan kapasite (A)

2.3. Sonuç

Tezin bu bölümünde elektrikli araçlar teknolojisine yön veren batarya teknolojisi ve batarya çeşitlerinden bahsedilmiştir. Her tip bataryanın şarj ve deşarj denklemleri verilmiştir. Özellikle elektrikli araçlar sektöründe zehirli madde içermemesi, ısı kararlılığına sahip olması, elektrokimyasal performansının iyi olması, güvenilir karakteristik özelliklere sahip olması, tekrar dolum ömrünün uzun olması ve yüksek özel kapasitesi sebebi ile kullanılan lityum demir fosfat bataryalardan ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.

Arzu edilirse pil teknolojisi ile ilgili gerekli detaylar [26-35] kaynaklarından elde edilebilir.

3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS)

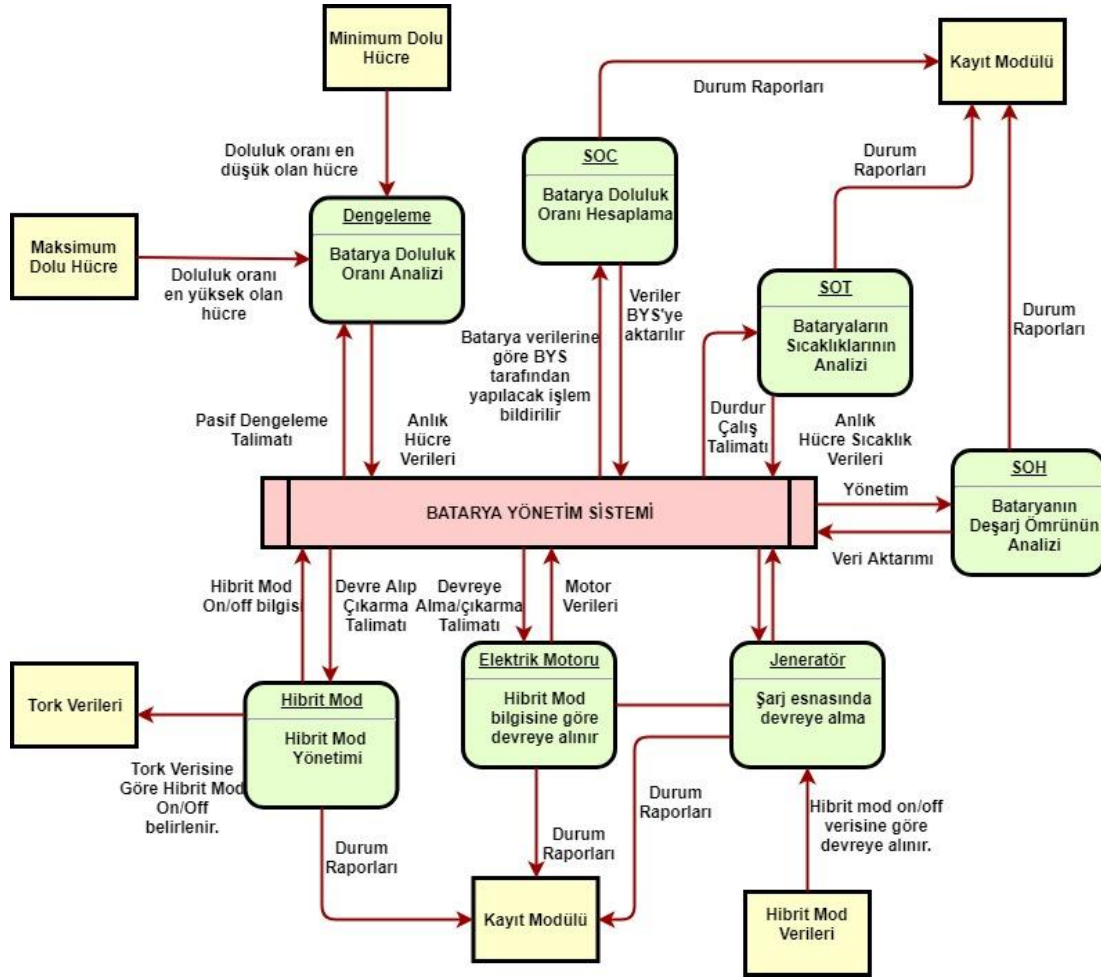
3.1. Giriş

Günümüzde pil teknolojileri en basit elektronik cihazlardan elektrikli araç teknolojilerine kadar yaygın olarak kullanılmaktadır [49]. Elektrikli araçlar teknolojilerinde batarya paketleri genel olarak seri ve paralel bağlı hücrelerden oluşmaktadır. İstenilen akım, gerilim ve bataryanın kapasite değeri bu bağlantılara göre değişmektedir. Seri ve paralel hücrelerin birbirine bağlanıp koordineli ve güvenli bir şekilde çalışmasını batarya yönetim sistemi sağlamaktadır. Batarya yönetim sistemleri elektrikli araçlar teknolojilerinde kritik öneme sahiptir.

Hesaplama, veri izleme ve koruma gibi üç temel görev üstlenen batarya yönetim sistemleri, bataryanın akım, gerilim ve sıcaklıklarını veri izleme algoritmaları ile gerçekleştirmektedir. Bu değerler anlık olarak değişmektedir. BYS'nin hesaplama algoritması izlenen verilerdeki anlık değerleri yorumlayarak pilin sağlık durumunu, pil doluluk oranını, maksimum ve minimum şarj/deşarj akımını, maksimum ve minimum voltaj, çalışma süresi ve döngü sayısı gibi değerleri hesaplamaktadır. Bu algoritmalarından elde edilen değerler BYS'nin koruma tarafında etkili olmaktadır. BYS'nin koruma algoritması hesaplanan veriler ile hücrelerden ve batarya paketinden şarj/deşarj boyunca yüksek akım çekilmesine, yüksek/düşük voltajların oluşmasına, kaçak akıma ve yüksek/düşük sıcaklık oluşmasına engel olmaktadır.

Batarya yönetim sistemlerinin en önemli görevlerinden birisi hesaplama algoritmasından elde edilen pil doluluk oranını belirleyerek batarya paketlerindeki pil hücrelerinin şarj/deşarj boyunca dengede tutulmasını sağlamaktır. Bu dengeleme işlemi için kullanılan yöntemler tezin ilerleyen bölümlerinde anlatılacaktır [50].

Yapılan BYS simülasyonunda bataryaların anlık olarak kontrolü sağlanmakta ve bataryalar için kritik öneme sahip parametrelerden gereken veriler alınarak sistemin düzgün çalışması sağlanmaktadır. BYS için kullanılan akış diyagramı şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. BYS akış diyagramı

3.2. Tarihçe

Şarj edilebilir pil teknolojisi ile birlikte pil şarj yönetimi için bir batarya yönetim sistemi tasarlanması gerekiyordu. Bu ihtiyaca yönelik Sony firması tarafından 1991 yılında ilk ticari şarj edilebilir pili üretmek için lityum kobalt oksit katotu ile bir karbon anodu birleştirmesi sayesinde batarya yönetim sistemi hayatımıza girmiştir.

1993 yılında John Goodenough ile birlikte geliştirilen bir elektrikli araç üzerinde yeni bir batarya yönetim sistemi yer almıştır. Artık lityum demir fosfat piller ve bu pillere özgü yönetim sistemlerinin gelişimi hız kazanmıştır. 1994 ve 1996 yılları arasında Motorola firması tarafından geliştirilen cep telefonları üzerinde batarya durumunun izlendiği bir batarya yönetim sistemi yer almıştır. Teknoloji o zamandan beri dizüstü bilgisayarların ve cep telefonlarının daha küçük ve daha güçlü olmasına izin vermiştir. Günümüzde ise lityum piller hayatımızda cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar ve tabletler

de dâhil olmak üzere neredeyse tüm taşınabilir cihazlara ana güç kaynağı olarak kullanılmakta ve daha verimli yönetim sistemleri ile çalıştırılmaktadır [51].

1996 yılında üretilen ilk 660 EV1 elektrikli aracı 100 kilometre menzile sahip batarya grubu ve batarya yönetim sistemi ile donatıldı.

1997 yılına gelindiğinde General Motors firması tarafından piyasaya sürülen Chevrolet S10 üzerinde bulundurduğu yeni nesil batarya yönetim sistemi ile 144 kilometrelik bir menzile sahipti. 2000’li yıllar ile birlikte bataryanın daha verimli kullanıldığı çağa gelinmiş oldu. Bazı kritik parametreler ile batarya sağlık durumları, menzil ve güvenilirlik daha da artırılmış oldu.

3.3. BYS için Kritik Parametreler

Pil yönetim sisteminde önemli bir yere sahip olan pil durum kontrolleri doğrudan pil üzerinden ölçülememektedir. Bu nedenle doğru bir pil modeli belirlenip bu model üzerinde ölçümlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Literatürde pil modelleme metotları ile ilgili farklı teknikler mevcuttur. Bu metotlar arasında analitik (deneysel), istatistiksel, elektrokimyasal ve elektriksel devre modelleri vardır. Pil yönetim sistemi için kritik olan parametreler SOC (state of charge – pil doluluk oranı), SOH (state of health – pil sağlık durumu) ve SOT (state of temperature – pil sıcaklık durumu) bu bölümde anlatılacaktır.

3.3.1. SOC (state of charge – pil doluluk oranı)

Bir batarya yönetim sistemi performansı artırmak ve pil ömrünü uzatmak için pildeki enerjiyi depolama sürecinde önemli rol oynar. Bu yüzden BYS’nin izleme ve kontrol özelliği olarak iki operasyonel kriteri vardır. İzleme boyutu kontrol boyutu ile ayrılamaz bir bütündür. Pilin şarj ve deşarj işlemlerini doğru bir şekilde kontrol etmek için hızlı, hassas ve doğru bir izleme sistemi gereklidir [52].

İdeal bir BYS, bataryanın tam kapasitesini elde etmek için ve düşük güç tüketiminin sağlanması açısından verimli bir davranış sergilemek zorundadır. BYS fazla şarj, fazla deşarj veya aşırı güç tüketimi nedeniyle pilin hasar görmesini önlemektedir [53].

Bununla birlikte pilin doluluk oranı (SOC) anlık verilerden gelen değerlendirmeye bağı olduğu için pilin güvenli bir şekilde çalıştırılmasını sağlamak kolay değildir [54].

SOC (state of charge), bir pilin nominal kapasitesi cinsinden ifade edilen mevcut kapasitesi olarak tanımlanır [55]. SOC, bataryaların uygun olmayan çalışmasını önlemek ve böylece emniyeti sağlamak için kullanılabilir. Maalesef SOC'nin ölçülebileceği doğrudan ölçüm tekniği yoktur. SOC ancak mevcut pilin gerilim, sıcaklık ve dikkate alınan pil ile ilgili diğer bilgilerini analiz ederek ancak tahmin edilebilmektedir.

SOC parametresi, pil doluluk oranı minimum ise büyük miktarda akım boşaltılmamasını ve pil doluluk oranı maksimum iken ekstra şarjın önlemesini sağlamaktadır. Dolayısıyla şarj ve deşarj akımı SOC'ye bağı olarak bir yöntem izleyecek şekilde programlanabilir ve böylece batarya hasar görmeden çalışmasını sürdürebilmektedir. SOC tahmin algoritması bu tezde gerilim, akım ve sıcaklık parametreleri ile modellenmiştir. Bir pilin hücrelerindeki kimyasal reaksiyon, sıcaklığın yükselmesine neden olarak, pilin mevcut kapasitesini etkiler. Bu nedenle, hücrenin hasar görmesini önlemek için pil sıcaklığı izlenmeli ve düzenlenmelidir.

Bir pil genellikle ihtiyaç olan yük voltajı ve güç gereksinimini karşılamak için seri, paralel veya seri-paralel kombinasyon halinde bağlanabilirler. Farklı sayıdaki hücreler veya farklı kimyadaki hücrelerin kullanılmasından dolayı hücreler arasında voltaj dengesizlikleri olacaktır. Hücreler fazla şarj edilemediğinden, kalan hücreler kısmen şarj edilmiş olsa bile herhangi bir hücrenin tamamen şarj olduğu tespit edilirse şarj işleminin durdurulması gerekir. Böylece hücre dengesizliği meydana gelecektir. Bu hücre dengesizliği sağlıklı bir pilin toplam kapasitesini düşürerek kapasite kaybına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu kapasite kaybını önlemek ve hücre dengelemesi gerçekleştirecek bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Hücreler yaşlandıkça hücrenin yükü desteklemek üzere tasarlandığı kapasite ve şarj-deşarj süresi azalmaktadır. Dolayısıyla % 100 SOC içeren bir hücre ilk üretildiğindeki şarj tutma kapasitesine sahip olmayacaktır. Bu nedenle gerçeğe yakın bir SOC hesaplaması, bir elektrikli aracın ihtiyacı olan anlık güce göre pil üzerinde bulunan doluluk oranının doğru yansıtılmasında ve izlenmesinde etkin görev almak zorundadır [1].

3.3.2. SOH (state of health – pil sağlık durumu)

Pillerin şarj veya deşarj anındaki durumu, güvenliğin, dayanıklılığın ve performansın garantisi olarak bilinen batarya sağlık durumuna (SOH – State of Health) bağlıdır ve yaşlanmanın bir dizini olarak tahmin etmek, pilin değiştirilme süresini belirlemek veya sürüş kilometre birimini hesaplamak için çok önemlidir [56]. SOH, pilin tasarımında yer alan parametreler ile ilişkilidir. Pil ömrünün derecesini açıklar ve kapasite kaybı veya direnç artışı tarafından yansıtılır [50]. SOC'ın aksine, SOH'nin kesin bir tanımı henüz sunulamamıştır. Bu tanım üzerinde hala bireysel araştırmalar yapılmaktadır. Genel olarak endüstriyel uygulamalarda SOH, pil kimyasının incelenmesi ile hesaplanır [57]–[59]. Tarihsel olarak bu değişkenlerin bilgisi sadece orta derecede doğrudur ve bu sadece orta derecede performansa neden olur. Bu nedenle pillerin sağlık durumlarını kontrol etmek için daha muhafazakr bir kullanım gerekmektedir [60].

SOH, bir pilin uygulama gücü gereksinimlerini göz önüne alarak başlangıç koşullarına göre enerjiyi depolayabilme kabiliyetini yansıtır. Bu tahmin pilin daha güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için koşulsuz olarak gereklidir. SOH, pilin mevcut durumunu yüzdelik olarak yansıtır ve % 100 oranı yeni bir hücre anlamına gelmektedir. Bu oran % 80'in altına düştüğünde mevcut pil bir elektrikli araç için kullanılamaz kabul edilir ve değiştirilmesi gerekir [61], [62]. [50]'de belirtildiği gibi SOH tespiti genellikle ya pil kapasitesinin azalması ya da dahili direncin artmasına bağlıdır. Kapasitenin azalması ve g azalması tek bir nedenden kaynaklanmamakla birlikte pozitif veya negatif elektrotlar üzerindeki çeşitli işlemlerden ve bunların etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır [63]–[65].

3.3.3. SOT (state of temperature – pil sıcaklık durumu)

Pilin fizikokimyasal özellikleri genellikle sıcaklığın güçlü işlevi ile ilgilidir. Sıcaklık değişiklikleri pilin performansını, ömrünü ve güvenilirliğini önemli ölçüde etkileyebilir [2]. Sıcaklık değiştikçe kimyasal bileşim ve i reaksiyonlar farklı oranlarda değişiklik gösterir. Örneğin ortam sıcaklığı düşük olduğuunda kimyasal reaksiyonlar laterjik (uyku durumu) durumundadır. Bu durum kapasite kayıplarına ve yüksek i dirence neden olmaktadır. Öte yandan kimyasal reaksiyonların hızlandığı yüksek sıcaklıklar pilin daha hızlı boşalmasını sağlar [66].

Her bir hücrenin uygun bir çalışma sıcaklığı sağlıklı bir pil sisteminin ön koşuludur. Çünkü akım, voltaj, SOC ve SOH hepsi pil sıcaklığından büyük ölçüde etkilenir [67], [68]. Dahası şarj ve deşarj sırasında bir hücrede yüksek sıcaklık oluşumu ve sıcaklık yükselmesi, hücrenin güvenilirliğini ve ömrünü etkileyebilir ve hatta termal kaçak yani alevlenme gibi ciddi güvenlik tehlikelerine neden olabilir [69], [70]. Yüksek güç isteyen uygulamalarda pil sıcaklıkları artacaktır. Bu nedenle piller için bir termal yönetim ihtiyacı vardır [71].

Sonuç olarak termal yönetim BYS'nin önemli bir parçası haline gelmiştir. Şarj ve deşarj sırasında akü hücrelerinde dahili termal dağılımın gerçek zamanlı tahmini termal yönetimin anahtarı olmuştur. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi BYS'deki termal yönetim çalışma prensibi pillerin sıcaklığını toplamak, verileri BYS ana kontrol birimi tarafından analiz etmek ve daha sonra soğutma / ısıtma elemanlarına kontrol sinyalleri göndermektir. Bununla birlikte, sıcaklık ölçüm cihazları her hücrenin dış yüzeyine monte edilebilir ve hücrelerin dahili sıcaklığını takip etmez, bu da gecikmiş tepkilerle sonuçlanır. Dahili pil termal dağılımı gerçek zamanlı olarak gözlemlenebildiğinde BYS'nin termal yönetimi büyük ölçüde basitleştirilecek ve geliştirilecektir.



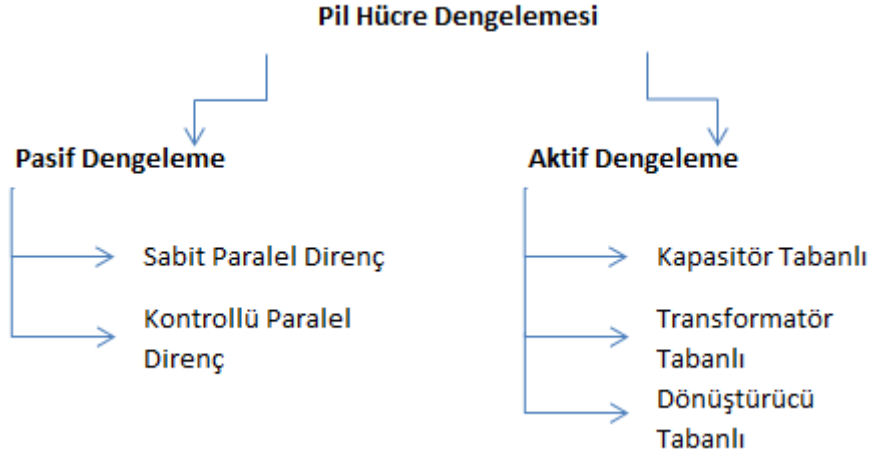
Şekil 3.2. BYS fonksiyonları [72]

Pil ısı davranışını analiz etmek için birçok yöntem vardır. Hem deneysel hem de sayısal simülasyonlar yaygın olarak kullanılmaktadır. S. Al Hallaj [73], 18650 silindirik hücrenin içindeki sıcaklık profilini taklit etmek için bir radyal yönlü tek boyutlu model kullanmıştır. Isı üretim oranı, S. Al Hallaj'ın çalışmalarında entropi ve entalpi

değişikliği ile temsil edilir. Christophe Forgez [74] deneysel parametreleri ve eşdeğer devresi aracılığıyla SOT'nin termal modelini kurmuştur. W. B. Gu, C.Y. Wang ve diğer bazı araştırmacılar, Lityum iyon pil [53], [75]–[79] kaynaklarında belirtildiği gibi termal karakteristik için toplu parametreler kullanarak ve Marc Doyle [80]'ün elektrokimyasal modelini temel alarak kompleks bir termal matematiksel model geliştirmiştir. Bu tür bir matematiksel model doğru olarak ve çok sayıda pil sistemine adapte edilebildiği halde hesaplama işlemi çok karmaşıktır ve gerçek zamanlı uygulamalar için uygun değildir [81].

3.3.4. Pil dengeleme

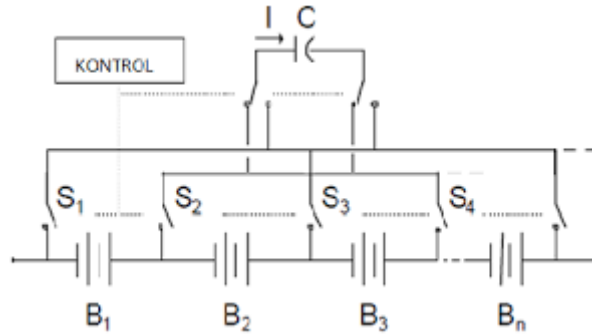
Batarya paketindeki hücrelerin tam deşarj veya tam şarj olması anında hücre gerilimlerinin birbirine eşit olmasını sağlayan sisteme pil dengeleme adı verilmektedir. Eğer batarya paketi içerisinde en az bir hücre diğer hücrelerden gerilim değeri olarak farklı ise pil dengelemenin yapıldığından bahsedilemez. Bu durumda batarya paketi dengesiz gerilimlere sahip olan hücreler ile çalışmaya devam edecektir. Batarya sistemleri içerisinde toplam paket kapasitesini seri halde bağlı olan hücrelerden gerilim değeri en az olan hücre veya hücreler belirler. Batarya paketi uygun şekilde dengelenemediği zaman batarya kapasitesi daha az kullanılabilir ve bu da menzil sorununu ortaya çıkarabilir. Şarj esnasında dengesiz durumda bulunan hücrelerden en yüksek kapasiteye sahip olan hücre maksimum doluluk oranına çok hızlı ulaşacaktır. Bu durumda gerilim seviyesi daha az olan hücreler tam kapasite şarj olmayacak ve daha erken tükenecektir [82]. Pil dengelemenin bu durumda gerilim seviyesi en yüksek hücreyi bekletecek gerilim seviyesi en düşük hücrenin şarj olmasını sağlayacak şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. Bu şekilde yapılan pil dengelemede daha az doluluk oranına sahip hücrenin erken deşarj olması veya doluluk oranı daha fazla olan hücrenin erken şarjı kesmesi engellenecektir. Hücre dengeleme sistemleri, aktif dengeleme ve pasif dengeleme sistemleri olmak üzere Şekil 3.2'de gösterildiği gibi ikiye ayrılmaktadırlar.



Şekil 3.3. Pil dengeleme topolojisi [49]

3.3.4.1. Aktif dengeleme yöntemi

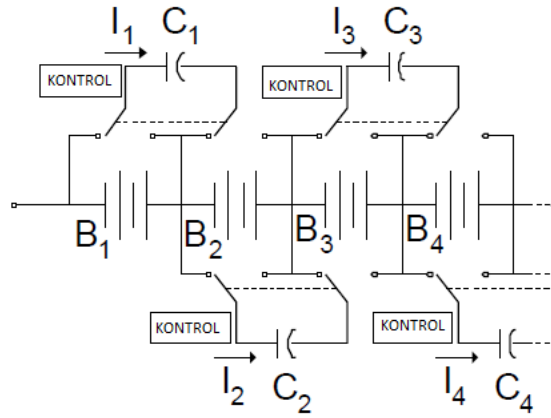
Enerjinin fazla olan hücreden az olan hücreye aktarılmasına aktif dengeleme adı verilmektedir. Bu yöntemde birçok teknik mevcuttur. Bu tekniklerden birincisi hareketli kondansatör yöntemidir. Şekil 3.3'te gösterilen hareketli kondansatör yöntemi ile enerji ilk olarak bir kondansatöre aktarılır daha sonra enerjisi az olan hücreye aktarılır. Enerji aktarımı yanyana olan hücreler arasında gerçekleştirilir. Bu işlem tüm seri hücreler arasında gerçekleşir ve ikili kontrol ile dengeleme durumu sağlanır.



Şekil 3.4. Hareketli kondansatör yük transfer yöntemi [83]

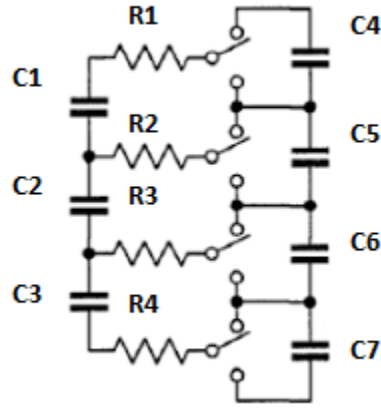
Hareketli kondansatör yönteminin diğer bir şekli ise batarya grubu içerisinde bulunan en yüksek gerilime sahip hücrelerin en düşük gerilime sahip hücreleri şarj etmesidir. İlk olarak en yüksek gerilime sahip olan hücre tarafından kondansatör şarj edilir. Tüm hücreler arasında ise anahtarlama elemanları yerleştirilir. Kondansatör gerilim seviyesi en düşük olan hücreyi anahtarlar açılarak şarj etmeye başlar. İşlem

sonucunda tüm hücreler dengelenmiş olur. Bu yöntem yan yana bulunan hücelere bakılarak yapılan hareketli kondansatör yöntemine göre daha avantajlı ve daha hızlıdır. İkinci yöntem ise kondansatör sayılarını artırmaktır. Çok sayıda kondansatör ile batarya güçlerinin transferi sırasında gecikmeler meydana gelecektir. Bu yöntemde eğer hücreler paketin zıt taraflarında ise yüksek hücreden düşük hücreye yük transferi çok fazla zaman alacaktır. Ayrıca bu durum yük transfer mesafesinden dolayı verimin azalmasını sağlayacaktır. İkinci yöntemin en önemli avantajı paketleme ve taşımadır. Güç kaynağı, kondansatörler ve kontrol devreleri tek bir paket içerisinde yer alabilir. Hücre sayısı arttıkça üniteler eklenebilir [84]. Çok sayıda hücre ile yük transfer yöntemi Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Çok sayıda hücre ile yük transferi [83]

Diğer bir dengeleme yöntemi ise saat anahtarlama kondansatör yöntemidir. Bu yöntemde batarya doluluk oranı göz ardı edilerek yüksek gerilim seviyesine sahip hücrelerden düşük gerilim seviyesine sahip hücelere anahtarlama ile enerji transferi gerçekleştirilir ve gerilim dengelemesi sağlanmaya çalışılır. Şekil 3.5'teki gibi yerleştirilmiş bir grup kondansatör ile bu dengeleme yöntemi gerçekleştirilebilir. Saat anahtarlama kondansatör yöntemi şarj sırasında çalışma özelliğine sahiptir. Herhangi bir kapalı kontrol döngüsüne ihtiyaç duyulmaz ancak n tane bataryanın olduğu yerde $n-1$ tane kondansatör olduğu için, hücre dengeleme oranı uzun bir süre içinde oluşur.

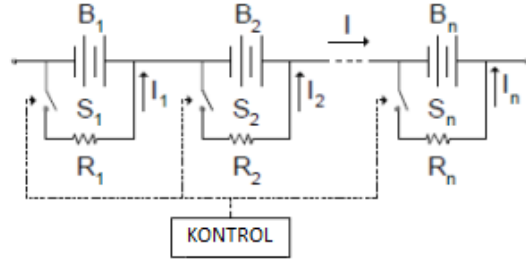


Şekil 3.6. Saat anahtarlama kondansatör yöntemi [83]

Saat anahtarlama yönteminin uzantısı olan iki aşamalı kondansatör yöntemi de ayrıca [85] ve [86]'da önerilmektedir. Bu yöntemin amacı otomotiv uygulamalarında hücre dengeleme işlemine harcanan zamanı büyük ölçüde azaltmaktır [87]. Yukarıda belirtilen yöntemlere ek olarak hücre grupları arasında yük taşınması için indüktörler veya transformatörlerin kullanıldığı enerji dönüşümü veya enerji taşınması yöntemi de literatürde bulunmaktadır.

3.3.4.2. Pasif dengeleme yöntemi

Pasif pil dengeleme yöntemi, batarya paketi içerisinde bulunan her bir hücreye paralel olarak yüksek güçlü dirençlerin bağlanması yöntemidir. Bağlanan bu dirençler ile yüksek gerilimli hücreler en düşük gerilimli hücrelerin gerilim değerine kadar deşarj edilir. Pasif dengeleme yönteminde bataryada şarj sırasında elde edilen fazla enerji sistemdeki seri dirençler sayesinde boşaltılmaktadır. Dengeleme dirençleri sürekli devreye alınıp çıkartılarak fazla enerji atılmakta ve sistem dengede tutulmaktadır. Bu tez çalışmasında batarya paketlerinin dengelemesi için pasif dengeleme yöntemi kullanılmıştır. Batarya paketleri üzerinde 1000 ohm'luk deşarj dirençleri kullanılmıştır. Pasif dengeleme yöntemi Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.7. Pasif dengeleme yöntemi [83]

3.4. Sonuç

Tezin bu bölümünde elektrikli araçlar üzerinde önemli bir yere sahip olan batarya yönetim sistemi ve sistem parametrelerinden bahsedilmiştir. Bataryalar üzerinde hayati bir öneme sahip olan BYS'nin kendine özgü kontrol sistemleri özet olarak açıklanmıştır.

Arzu edilirse batarya yönetim sistemi ile ilgili gerekli detaylar [36-69] kaynaklarından elde edilebilir.

4. MATLAB VE SİMULİNK KULLANIMI

4.1. Giriş

Tezin bu bölümünde mühendisler ve bilim insanları tarafından en çok tercih edilen programlama dili olan MATLAB (Matrix Laboratory) hakkında genel bilgiler verilecektir. BYS çalışması yapılırken Matlab programı aktif bir şekilde kullanılmıştır.

Başlangıç olarak Matlab programının kısa bir tarihçesinden bahsedilecek, diğer dillerden farkı anlatılacaktır.

Bölümün ikinci kısmında BYS simülasyonunda kullanılan simulink kısmı anlatılacak ve burada kullanılan parametrelerden bahsedilecektir.

Bölümler anlatılırken örnekler verilecek ve gerekli yerlerde verilen örnekler için gerekli şekiller sunulacak. Böylece kullanılan program hakkında daha kısa ve net ifadeler kullanılmış olacaktır [88].

Matlab kontrol sistemleri ve simulink programı tez üzerinde anlatılacak kadar kısa bir programlama dili değildir. Bu sebeple tezde ayrıntılı olarak Matlab konularına değinilemeyecektir. Bu sebepten dolayı tez üzerinde kullanılan eklentiler anlatılacaktır. Matlab konusunda daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulursa [89], [90] kaynakları incelenip ayrıntılı bilgi elde edilebilir.

4.2. Tarihçe

Son yıllarda bilgisayarlar üzerinde birçok gelişme meydana gelmiştir. Bilim insanları ve günümüz mühendisleri karmaşık ve zor yapıda olan hesaplamalar için mevcut olan yazılımları kullanmaktadırlar. Hesaplamaların kolaylaşmasını sağlayan yazılımlardan birisi de MATLAB'dır.

MATLAB programı Matematiksel problemlerin çözümü ve teknik hesaplamaların analizi için tasarlanan bir yazılım geliştirme aracıdır. MATLAB, Matrix

LABoratory (Matrix Laboratuarı) demektir. 1970 yıllarının sonlarına doğru oluşturulan MATLAB Fortran Linpack ve Eispack projeleriyle birlikte ortaya çıkarılmıştır [90].

Matlab ilk olarak matris temelli teknikleri kullanarak bilim adamlarına yardımcı olmaktaydı. Günümüzde ise geliştirilen yerleşik kütüphanesi, uygulama ve programlama özellikleri ile gerek üniversite ortamlarında (başta matematik ve mühendislik olmak üzere tüm bilim dallarında) gerekse sanayi çevresinde yüksek verimli araştırma, geliştirme ve analiz aracı olarak yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca yeni Toolbox özelliği ile sinir ağları, işaret işleme, kontrol, fuzzy, wavelet analiz gibi birçok alanda özelleştirilmiş ve kolay ulaşım sağlanan imkanlar da kullanıcıya sunmaktadır.

Matlab kullanıcılara sunduğu daha etkin ve verimli çalışma olanağı ile amaç ve içerik ne olursa olsun her türlü hesaplamayı yapabilmektedir. Matlab ortamında kullanıcılar daha kısa sürelerde analizleri gerçekleştirebilmektedir. C, C++ veya Fortran gibi programlama dillerinde kaybedilen zaman matlabda kazanılan zaman olarak gözlemlenmektedir.

Hızlı çözümler geliştirmek için tercih edilen Matlab, aynı zamanda açık kaynak kodlu olma özelliğine sahiptir. Sayısı 1000'i aşan matematiksel, istatistiksel ve mühendislik fonksiyonları ile MATLAB, yüksek başarımlı sayısal analiz ortamı sağlar. Etkileşimli grafiksel yetenekleri sayesinde çizimler, resimler, yüzeysel ve hacimsel gösterimler bu ortamı daha da verimli hale getirir [90].

4.3. Matlab ile Yapılabilecek Çalışmalar

- Diferansiyel bir denklemini veya denklem sistemini çözmek veya bir matrisin tersini hesaplamak
- Dinamik bir sistemin simülasyonunu yapmak
- Grafikler çizip, bunlar üzerinde düzenlemeler yapmak
- Kontrol kartı kullanarak herhangi bir sistemin gerçek zamanlı kontrolünü gerçekleştirmek
- Finansal veri analizi yapmak

- OCR (otomatik karakter tanıma) programı yazabilmek

Yukarıdaki örnekler gibi Matlab programı birçok amaç için kullanılabilir. Geleneksel programlama dilleri belirli kalıplar içerisinde yer aldığından özel amaçlar için kullanılamazlar fakat Matlab programı özel işlerin gerçekleşmesi için uygun altyapıya sahiptir. Geleneksel programlama dillerinde harcanan zaman ciddi anlamda büyüyebilir ve işin zorluğu da ciddi anlamda artabilir. Matlab programının bu işleri kolaylaştırdığı ve kullanıcıya zaman kazandırdığı söylenebilir. Matlab'ın bazı uygulamaları aşağıda sunulmuştur [91].

- Matematik ve Hesaplama
- Algoritma geliştirme
- Veri toplama ve gerçek zamanlı kontrol
- Modelleme, simülasyon ve prototip geliştirme
- Veri analizi ve grafiksel görüntüleme
- Grafiksel arabirimi ile birlikte uygulama geliştirme [91].

4.4. Simulink

Simulink; MATLAB programının kullanıcılar için geliştirdiği bir uygulamadır. Simulink, zamana bağlı dinamik olaylar için arayüz yardımı ile görsel sistem modellerinin kurulması, benzetimi ve çözümü konusunda hizmet sunan bir uygulamadır. Simulink ile yapılan çalışmalar test ortamındaki gibi analiz edilir ve ayrık zamanlı olarak incelenebilir. Bu sayede tasarım ve geliştirme daha reel temellere dayanmaktadır.

Simulink ile birçok alanda çalışmalar yapılabilir. Öncelikle matematiksel ifadelerde kullanıcılara yardımcı olan program, finansal, mekanik, kablosuz sistemler, havacılık, haberleşme, elektrik, elektronik ve kontrol sistemleri ile sinyal işleme, sanal gerçeklik, yüksek seviyeli gerçek zamanlı donanımsal çalışma, gömülü kontrol ve otomatik kod üretimi ile birim programlama gibi birçok özel alana yönelik blok kütüphaneleri içermektedir.

Simulink kullanıcılara kağıt üzerinde yapılan çizim kadar kolay çizim yapma ve tasarlama olanağı sağlar. Grafiksel kullanıcı arayüzü ile her bloğun basit kullanımı için sürükle ve bırak işlemine dayanan basit bir mantıkla çalışmaktadır. Parametre değiştirmek için ise bloklar üzerine çift tıklamak yeterlidir. Ayrıca özel bloklar oluşturulmak istenirse özelleştirilebilir kütüphaneler kullanıcılara sunulabilmektedir.

Standart programlama tekniklerine kıyasla Simulink kullanıcıların istedikleri modelleme tekniklerini görsel olarak yapabildiği için ilk bakışta kullanıcılar genel modeli görsel olarak görüp anlayabilirler. Bu sayede giriş ve çıkışları daha net gözlemleyebilir ve daha sağlıklı bir modelleme gerçekleştirebilir. Modelleme sonunda elde edilen analizler ve veriler Matlab ortamında saklanabilir. Aynı zamanda bu veriler diğer platformlarda da kullanılabilir. Bu da kullanıcılara tek platform altında her bilim dalı için kendilerine özgü analizlerin yapılabilme olanağını sağlamaktadır.

Simulink, dinamik sistemlerin analiz edilmesi, modellenmesi ve simulasyon için uygun bir prototipleme uygulamasıdır. MATLAB'ın nümerik, grafiksel ve programlama alanlarındaki tüm işlevselliğini koruyan bir blok şemaları arayüzü aracılığıyla çalışır.

Simulink kendine özgü blok kümeleri ile daha geniş bir test ortamı sağlamaktadır. Bu sayede istenilen test, uygun bloklar ile yapılabilir. Simulink'in bazı önemli özellikleri aşağıda gösterilmiştir.

- Ayrıntılı ve daha da genişletilebilir önceden tanımlı bloklar
- Blok şemalarını düzenlemek için etkileşimli grafiksel editör
- Karmaşık modelleri basitleştirmek için hiyerarşik model yapısı
- Model katları arasında rahat çalışmayı sağlayan Model Gezini
- Farklı simülasyon programlarıyla bağlantı kurma, elle MATLAB algoritmalarını dahil edebilme
- Değişken veya sabit adım aralığı ile simülasyon yapabilme
- Görsel hata ayıklayıcı
- Veri analizi, görselleme ve arayüz oluşturma için MATLAB ile tam iletişim
- Model tutarlılığı ve modelleme hatalarının tespiti için model analizi ve hata tanı koyma araçları

Elektromekanik sistemlerin tasarım, modelleme ve testleri için son derece kullanışlı olan Simulink, denetim sistemlerinin tasarım modülü ile doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin analizlerini de kolaylıkla yapmaktadır.

Simulink, hızlı prototipleme yöntemi ile fiziksel sistemlerin çıktılarını PC'ye aktarıp burada simule edebilme olanağı sağlamaktadır. Ayrıca video işleme araçları, havacılık, savunma, gökbilim, sinyal, görüntü, tıbbi ve bilimsel görüntüleme gibi pek çok alanda meydana gelen sorunlar simulink tarafından kolayca çözülebilmektedir.

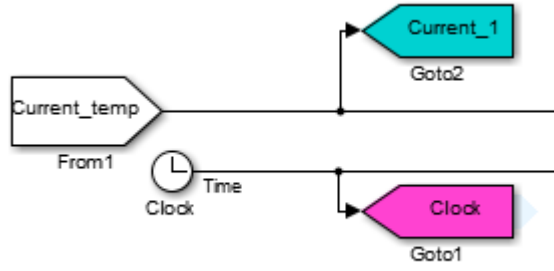
Modellerin açık ve anlaşılabilir olması için hiyerarşik yapı kullanan simulink, ana blok ve alt bloklar oluşturarak tek bir blok şeklinde birden fazla blok kullanılmasına yardımcı olur. Bu durum birden çok parametreyi aynı anda kullanmaya yardımcı olmaktadır [92].

4.4.1. BYS Simulink blokları

Tezin bu bölümünde batarya yönetim sistemi üzerinde kullanılan simulink bloklarından bahsedilecektir. Daha önce bahsettiğimiz gibi simulink kütüphanesinde 1000'den fazla blok bulunmaktadır fakat BYS çalışması yapılırken bu blokların birçoğu kullanılmamıştır. Simulasyon üzerinde kullanılan bazı bloklar aşağıda sıralanmıştır.

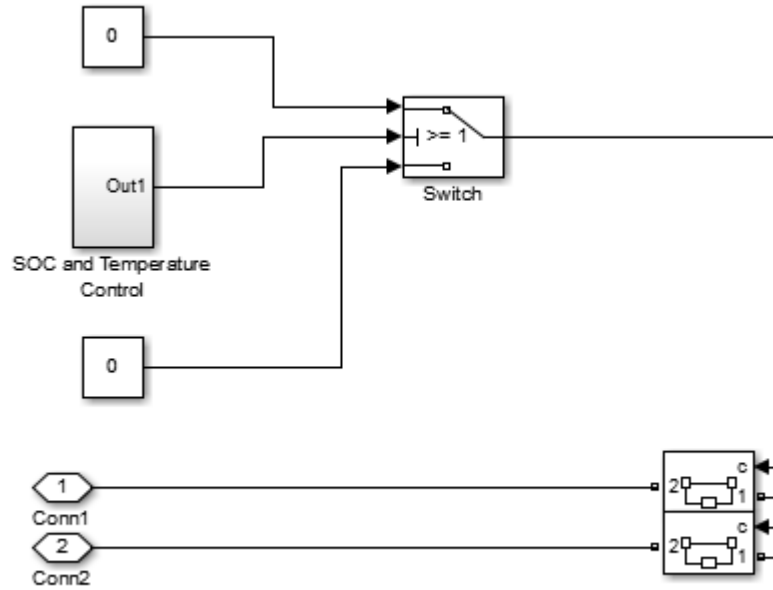
BYS çalışması yapılırken simulink kütüphanesinin **“SimPowerSystem”** blokları çoğunlukta kullanılmıştır.

Verilerin birden fazla blokta kullanılması için Şekil 4.1'de gösterilen **“from”** ve **“goto”** sinyalleri BYS simulasyonu üzerinde kullanılmıştır. From bloğu karşılık gelen bir Goto bloğundan gelen bir sinyali kabul eder, daha sonra çıktı olarak iletir. Çıkışın veri tipi, goto bloğundan gelen girişle aynıdır. From ve goto blokları, bir bloğu diğerine bağlamadan bir bloktan diğerine geçirmeyi sağlar. Bir goto bloğunu bir from bloğuyla ilişkilendirmek için goto tag etiketinin goto tag parametresine girilmesi gerekir.



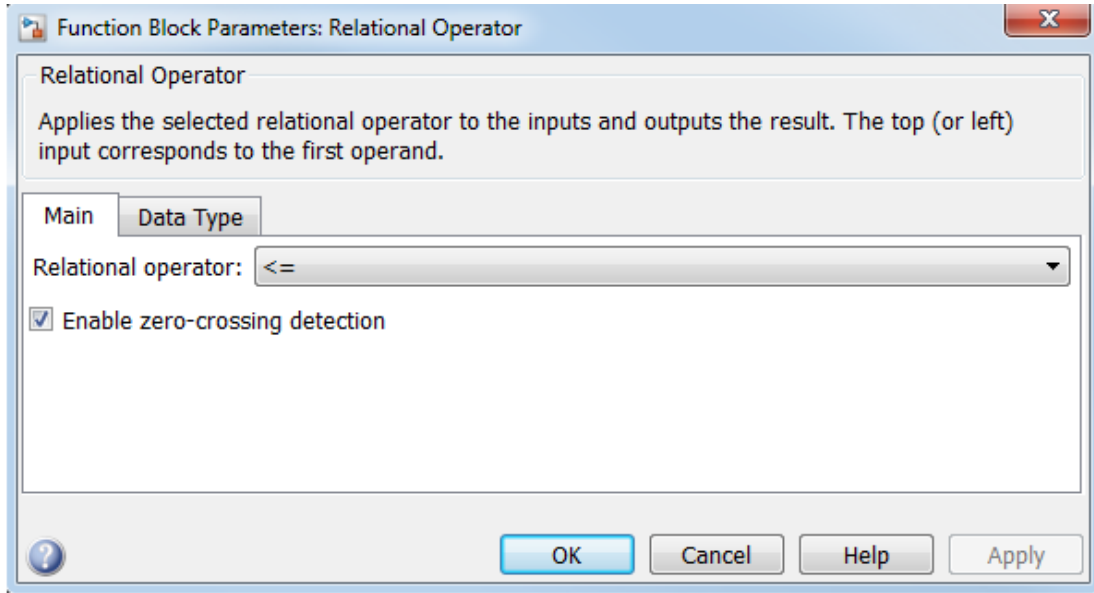
Şekil 4.1. From ve goto blokları

Güç sistemi üzerinde kullanılan devre kesiciler, kontaklar ve switchler şekil 4.2’de gösterilen **“HDL Coder”** bloklarından kullanılmıştır. Bir devre kesici harici anahtarlama zamanı seçeneği seçildiğinde, kesici çalışmasını kontrol etmek için bir Simulink mantıksal sinyali kullanılır. Switch bloğu, ikinci girişin değerine göre ilk girişten veya üçüncü girişten geçer. İlk ve üçüncü girişlere veri girişi denir. İkinci giriş kontrol girişi denir. İlk girdiyi ve eşik parametrelerini geçirme için kriterler kullanılarak bloğun ilk girdiyi geçtiği koşul kullanıcı tarafından belirlenir.



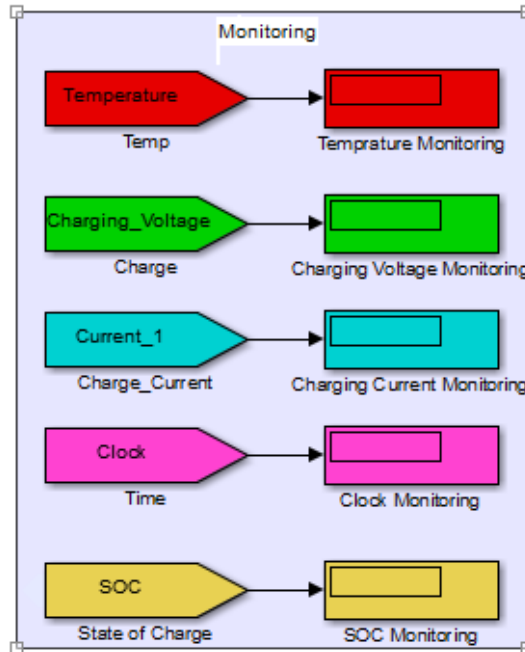
Şekil 4.2. Devre kesici, kontak ve switch blokları

BYS simülasyonu üzerinde eşitlikler **“Relational Operator”** blokları ile ifade edilmiştir. Bu bloklar “==”, “~=”, “<”, “<=”, “>=”, “>” şeklinde uygun hesaplamalara göre kullanılabilir ve bu blokların kullanımları Şekil 4.3’teki parametre ayar kısmından gerçekleşir.



Şekil 4.3. Eşitlik bloklarının kontrol bölümü

Simulasyon içerisindeki anlık izlemeler için “**monitoring**” bloğu kullanılmaktadır. Şekil 4.4’te sunulan bu blok ile birden çok değer aynı anda gözlenip sistem davranışları incelenebilmektedir.



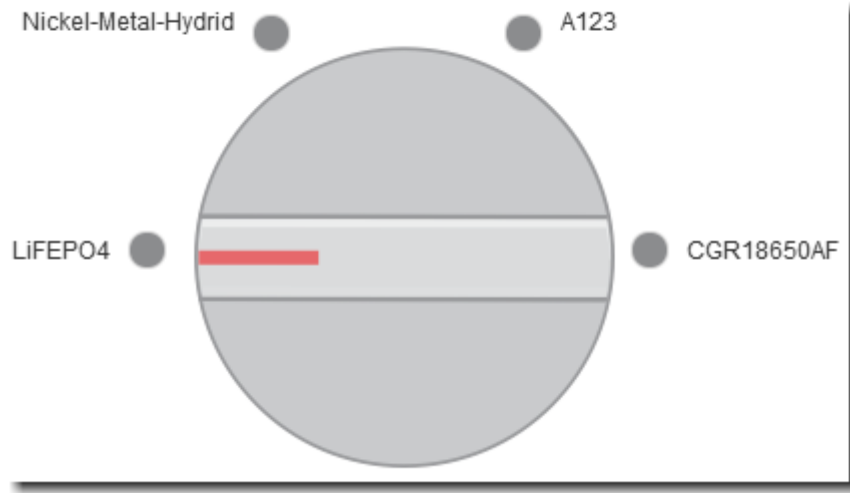
Şekil 4.4. İzleme bloğu

Batarya tipi seçimi ve aracın şarj/deşarj modunun seçilmesi için “**rotary switch**” yani döner anahtar bloğu bu simulasyon üzerinde kullanılmıştır. Döner anahtar

bloğu, simülasyon sırasında modeldeki ayarlanabilir parametreleri ve değişkenleri kontrol etmeyi sağlar.

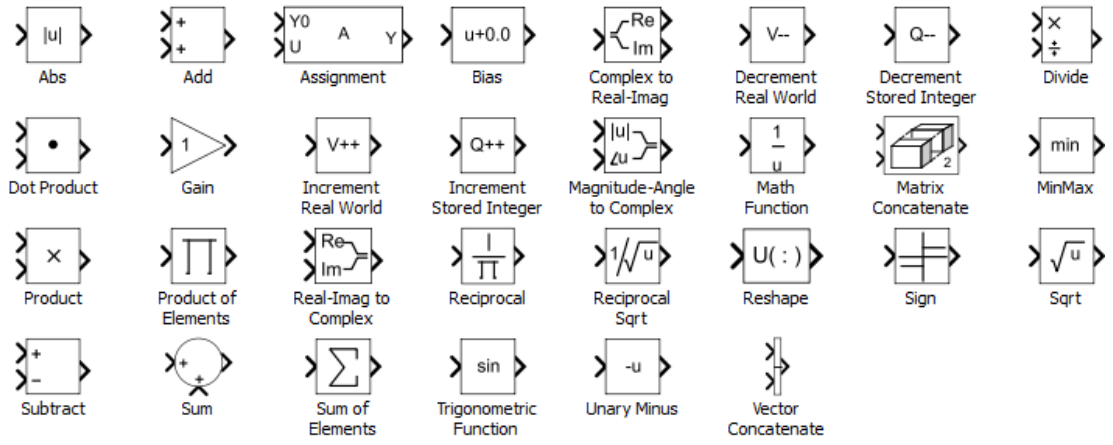
Döner Anahtar bloğunu kullanarak ayarlanabilir bir parametreyi veya değişkeni kontrol etmek için, diyalog kutusunu açmak için rotary switch bloğuna çift tıklanır. Model tuvalinde bir blok seçilir. Diyalog kutusu veya değişken diyalog kutusu bağlantı tablosunda görünür. Kontrol etmek istenilen ayarlanabilir parametrenin veya değişkenin yanındaki seçenek düğmesi seçilir. Ayarlanabilir parametreyi veya değişkeni bloğa bağlamak için uygula tıklanır.

Durum değerleri, ayarlanabilir parametre veya değişken için oluşturulan ayırık değerleri belirler. Şekil 4.5'teki gibi durum tablosundaki durum değerini ve durum etiketi düzenlenerek durumlar değiştirilebilir.



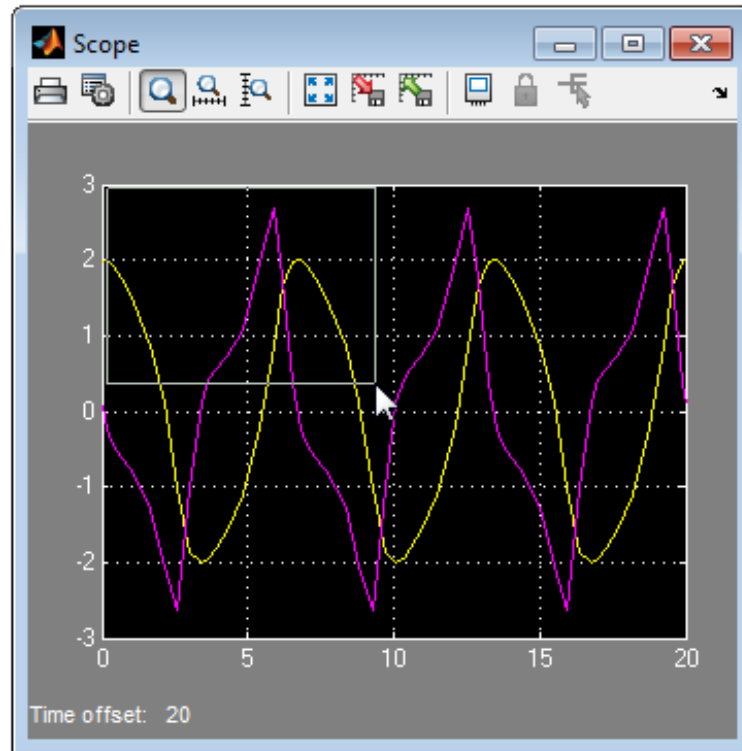
Şekil 4.5. Döner anahtar bloğu

Sıcaklık hesaplamaları gibi durumlar için simülasyon üzerinde “**math operations**” blokları kullanılmıştır. Şekil 4.6’da sunulan bloklar ile çarpma, bölme, çıkarma, toplama, integral alma, türev alma veya mutlak değer alma gibi matematiksel hesaplamalar yapılabilmektedir.



Şekil 4.6. Matematiksel ifadeler

Sistem analizi yapabilmek ve simulasyonun nasıl çalıştığını incelemek için “scope” bloğu bu simulasyonda etkin olarak kullanılmıştır. Batarya gerilimleri, akımları veya motorların kullandığı güç analizi scope ile incelenmektedir. Şekil 4.7’de scope bloğu ile ilgili bir sinyal analizi gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Scope bloğu

4.5. Sonuç

Tezin bu bölümünde çalışmalar esnasında çok sık kullanılmış olan MATLAB programlama dili genel hatları ile anlatılmaya çalışılmıştır. MATLAB'ın sadece simulink kısımları ile ilgili kısımlarını dahi incelemek başlı başına bir kitap konusudur. Bu sebepten dolayı batarya yönetim kısmı için gerekli olan simulink anlatılmaya çalışılmıştır.

Arzu edilirse MATLAB hakkında pek çok bilgi bulmak mümkündür. Bu tez çalışmaları esnasında kullanılmış olan [70-73] kaynaklarından gerekli bilgiler elde edilebilir.

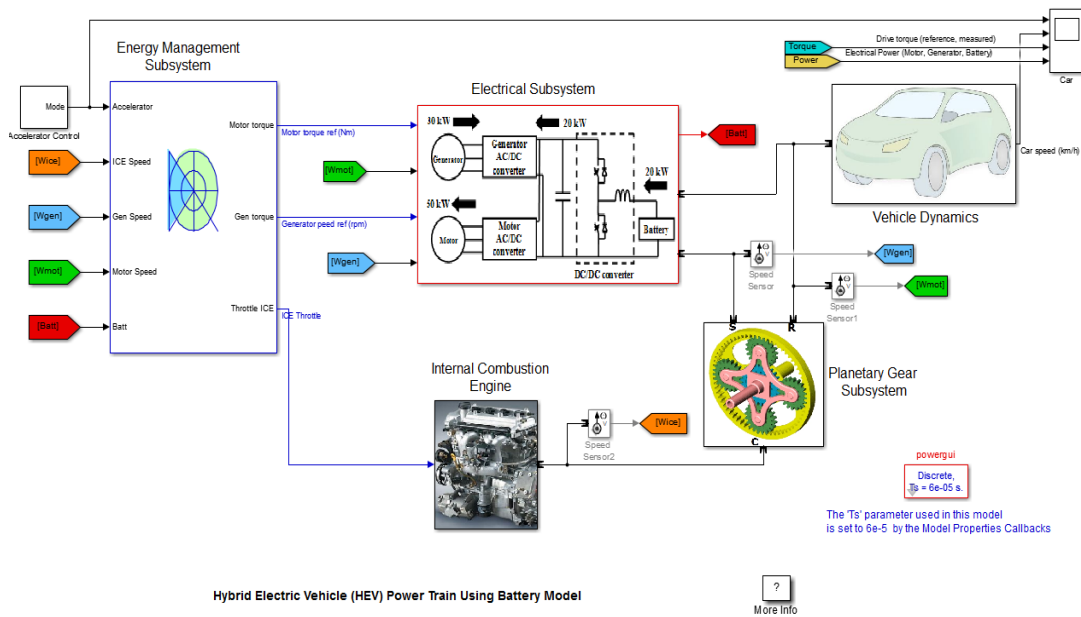
5. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS) SİMULASYONU

5.1. Giriş

Batarya yönetim sistemi ile ilgili günümüzde birçok çalışma yapılmış ve sonuç olarak tek bir batarya kimyasını yöneten sistemler geliştirilmiştir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte farklı kimyalardaki bataryalar artık araçlar üzerinde uygulanmaya başlamıştır. Bu durum tek batarya tipi ile çalışan araçlar bakımından sorun olmaya başlamıştır. Gelecek nesil bataryalar hayatımıza girdiğinde durumda mevcut kullanılan bataryalar değişecek ve yeni batarya yönetim sistemleri oluşturulmak zorunda kalınacaktır.

Bu çalışmada öncelikle batarya ve yönetim sistemleri konusunda literatür taraması yapılmış ve mevcut batarya yönetim sistemleri incelenmiştir. BYS için kullanılan etmenler ve süreçler ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu incelemeler sonunda verimli bir BYS sistemi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

MATLAB ortamında tasarlanan BYS'nin farklı batarya tipleri ile denenmesi gerektiğinden testlerin ve simülasyonların yapılabilmesi için Şekil 5.1'de gösterilen bir hibrit araç modeli üzerinde çalışılmış ve oluşturulan BYS hibrit araç modeli üzerine entegre edilmiştir. Bu sayede çıktılar daha reel olarak gözlemlenebilecektir.



Şekil 5.1. Hibrit elektrikli araç modeli

Bu bölümde hibrit elektrikli araç modeli üzerinde yer alan mekanik yapılardan bahsedilecektir. İlk olarak araç mekaniği ele alınacak daha sonra planet dişli sisteminden bahsedilecektir. Üçüncü bölümde ise elektrik motoru ile senkron çalışan içten yanmalı motor incelenecek ve simülasyon üzerindeki çalışma mantığı anlatılacaktır.

İlk bölümde tasarlanan hibrit elektrikli aracın mekanik aksamaları hakkında bilgi verilecektir. Bu aksamalar araç mekaniği, içten yanmalı motor ve planet dişli kutusudur. Bu aksamaların bazı parametreleri batarya yönetim sistemi üzerinde etkilidir.

İkinci kısımda batarya yönetim sistemi üzerinde en çok etkiye sahip olan hibrit elektrikli aracın elektrik kısmı incelenecektir. Bataryalar, DC/DC converter, elektrik motoru ve jeneratör elektrik kısmını oluşturan önemli aksamalardır.

Üçüncü bölümde ise batarya yönetim sistemine etki eden kontrol sistemleri incelenecektir. Hız kontrolü, hibrit yönetim kontrolü, sürüş tork kontrolü, enerji yönetim ve batarya yönetim sistemi kontrol kısmını oluşturan önemli sistemlerdir.

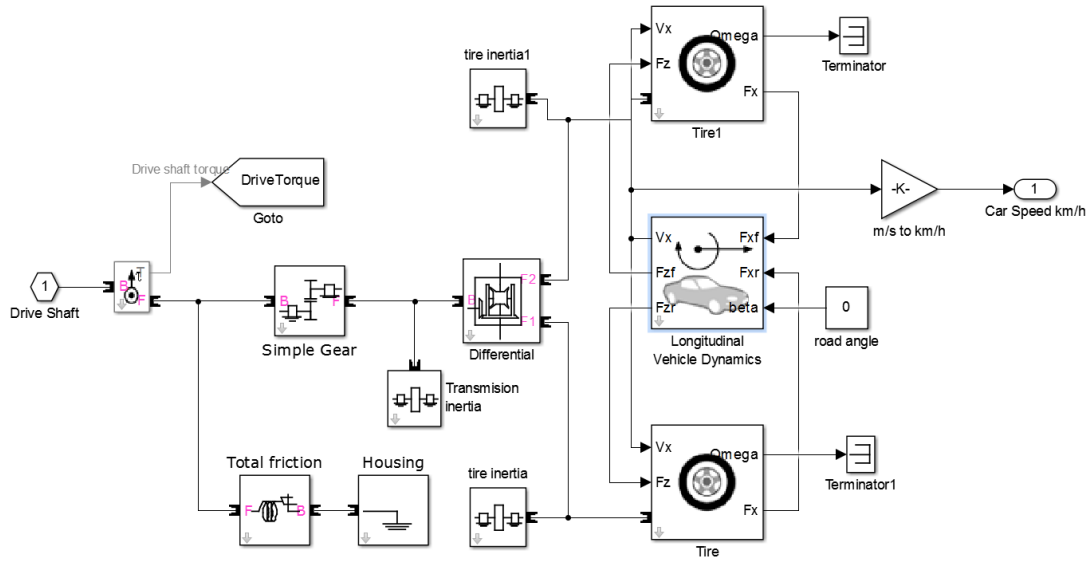
5.2. Hibrit elektrikli araç mekanik yapısı

Modellenen hibrit elektrikli aracın mekanik yapısı BYS'nin çalışma şekli ve parametreleri üzerinde etkilidir. İçten yanmalı motorun devreye giriş çıkışı, hibrit mod değişiklikleri, araç hızına göre dişli oranlarındaki değişiklik bataryaların şarj ve deşarj zamanlarını etkilemektedir. Bu durum BYS'nin bataryaları kontrol algoritmalarının değişmesine yol açmaktadır.

Bu bölümde hibrit elektrikli araç üzerinde modellenen araç dinamiği, planet dişli sistemi ve içten yanmalı motorun parametreleri sunulacaktır. BYS'nin çalışması üzerinde etkili olan yapılar ayrıntılı olarak incelenecektir.

5.2.1. Araç Sistemi

Hibrit elektrikli araç mekaniği oluşturan araç sisteminde sürüş tork verileri, aktarma organları, vites kutusu ve lastik verileri bulunmaktadır. Araçtan alınan hız sensör bilgisi ile lastik verileri işlenip Şekil 5.2’de gösterildiği gibi hız verisi olarak çıktı sağlanır.



Şekil 5.2. Hibrit elektrikli araç mekanik aksamalar

BYS için araç mekaniği kısmında önemli olan hız çıkış bilgisidir. Buradan alınan hız sensör verileri manuel olarak ayarlanabilir ve bataryaların şarj, deşarj zamanlaması değiştirilebilir. Bu durumda BY5'nin bataryaların kontrolü üzerinde etkili olmaktadır. BY5 testi yapılırken araç mekaniği kısmındaki parametreler değiştirilerek farklı zamanlama ile sistem test edilecektir.

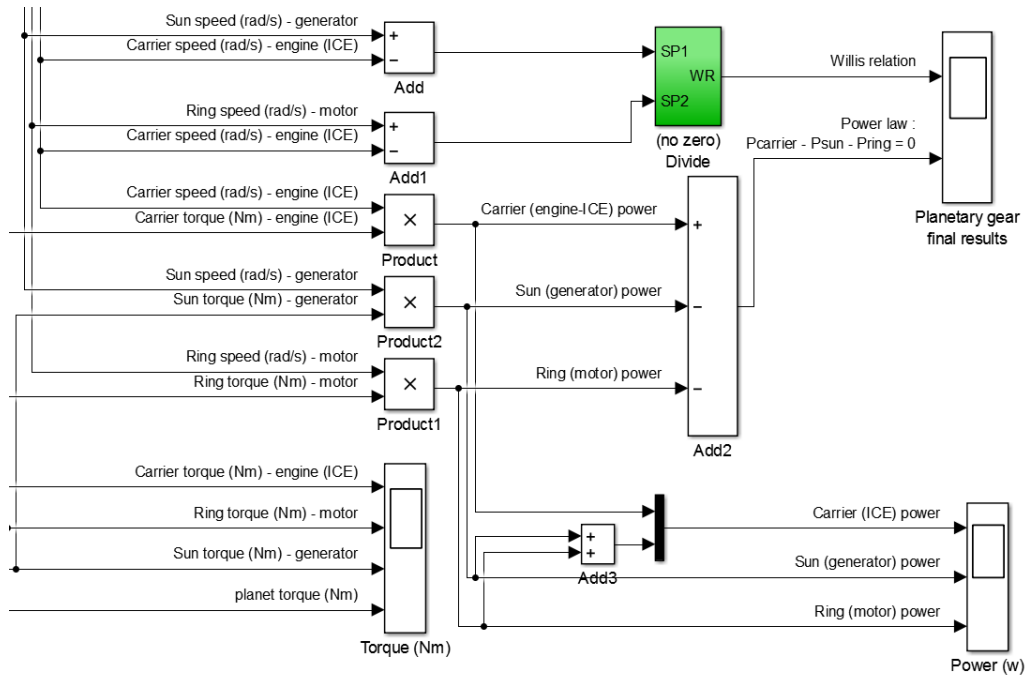
5.2.2. Planet dişli sistemi

Planet dişli sistemi kendine has bir kinematik ile otomatik aktarma organının en çok kullanılan parçaları arasında yer almaktadır. Planet dişli sistemi tüm aktarma organının verimliliğinin artmasına yardımcı olur. Fosil yakıtlı araçtan elde edilen güç planet dişli sistemi ile yüksek devirlerden düşük devirlere aktarılır.

Planet dişli sistemindeki mantığı anlamak için dünyanın güneş etrafında dönmesi baz alınabilir. Bu sistem hem kendi eksenini etrafında dönmekte hemde çevresindeki dişlilerin etrafında dönerek güç aktarımını sağlamaktadır. Planet dişli sistemi helis planet dişlisi, düz planet dişlisi ve iş dişli olarak ta adlandırılabilir. Bu sistem araç üzerinde birçok avantaj sağlamaktadır. En önemli avantajı araç için yüksek torkların elde edilmesidir [93].

Planet dişli küçük bir yapıya sahiptir ve uzun yıllar yapılarını korur ve verimli çalışmayı sürdürmektedir. Fosil yakıtlı araç çalışma sırasında gücün büyük kısmını dişli sistemlerine aktarmaktadır. Planet dişli sistemi ise bu gücün büyük çoğunluğunu kendi üzerinde toplamakta ve eşit şekilde alt sistemlere dağıtmaktadır. Eğer bu yük eşit şekilde dağılmaz ise alt dişliler kısa sürede yükten dolayı bozulur ve dağılır [94].

Hibrit elektrikli araç modeli üzerinde bulunan planet dişli sistemi tarafından Şekil 5.3'te sunulan tork bilgileri alınmaktadır. Tork bilgilerine göre ihtiyaç olan vites oran bilgisi çıktı olarak verilmektedir. Araç vitesi yükseldikçe aracın ihtiyacı olan güç azalacak, bu sayede bataryalardan kullanılan güç azalmaya başlayacaktır. Hibrit elektrikli araç modeli üzerinde en fazla bataryadan enerji ilk kalkış anında çekilmektedir. Planet dişli sistemindeki ayarlamalar bataryaların deşarjı üzerinde etkili olmaktadır.



Şekil 5.3. Hibrit elektrikli araç modeli için planet dişli sistemi

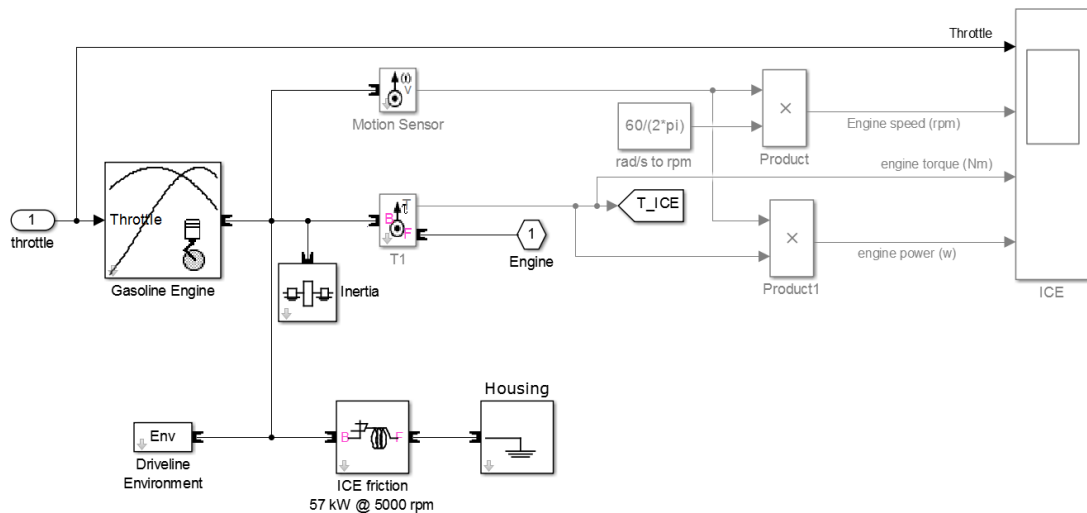
5.2.3. İçten yanmalı motor

İçten yanmalı motor motorin, benzin veya LPG ile çalışan araçlarda kullanılan motor tipi olarak adlandırılmaktadır. İçten yanmalı motorun çalışma prensibi yakıt ve hava karışımına dayanmaktadır. Optimum yakıt ve hava ile yanma odasında yakılan karışım, ısı enerjisi olarak ortaya çıkmakta ve bu enerji hareket enerjisine dönüştürölerek aracın hareketi sağlanmaktadır. Yanma odasında oluşan basınç ile piston hareketi sağlanır. Pistonun aşağı ve yukarı hareketi gerekli gücü krank miline iletir. Krank mili dairesel bir hareket ile dönüş gücü elde eder. Krank milinden sonraki güç, volan adı verilen sisteme ve buradan da aktarma organlarına aktarılır. Aktarma organları üzerinde bulunan şaft ve aks bu gücün tekerlere iletilmesini sağlayarak aracın ilerlemesini kolaylaştırır.

Hibrit elektrikli araç modelinde içten yanmalı motor bataryaların hem şarjı hem deşarjı üzerinde etkilidir. Simulasyon çalıştırıldığında aracın hareketi için gerekli güç yetersiz geldiğı durumda içten yanmalı motor ile birlikte elektrik motoru çalıştırılarak ihtiyaç duyulan güç elde edilir. Bu alışma neticesinde bataryalar deşarj olmaya başlar. BYS bataryanın minimum deşarjına kadar izlemekle görevlidir.

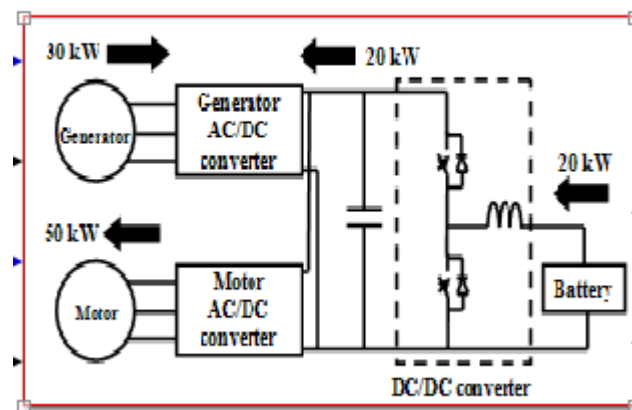
Simulasyon üzerinde içten yanmalı motor ihtiyaç duyulan gücü sağladığında sistem üzerinde jeneratör çalıştırılarak bataryaların şarj olması sağlanmaktadır. BYS bu durumda aşırı şarjı engellemek için bataryaları izlemekle görevlidir.

Hibrit elektrikli araç modeli üzerinde yer alan içten yanmalı motor gerekli gaz pedalı sinyali ile harekete geçer. Aracın hareketi için ihtiyaç olan gücü şekil 5.4'te gösterilen yapıya göre sağlar. İçten yanmalı motor maksimum 114 kW'lık güç ve 6000 RPM'lik devir kuvveti üretir.



5.3. Hibrit elektrikli araç elektriksel yapı

Elektrik motorları için AC kablolar, DC bataryalar için DC kablolar, batarya seçim anahtarları, yüksek gerilim anahtarlama, jeneratör kabloları gibi Şekil 5.5'te gösterilen yapılar bu sistem içerisinde yer almaktadır.



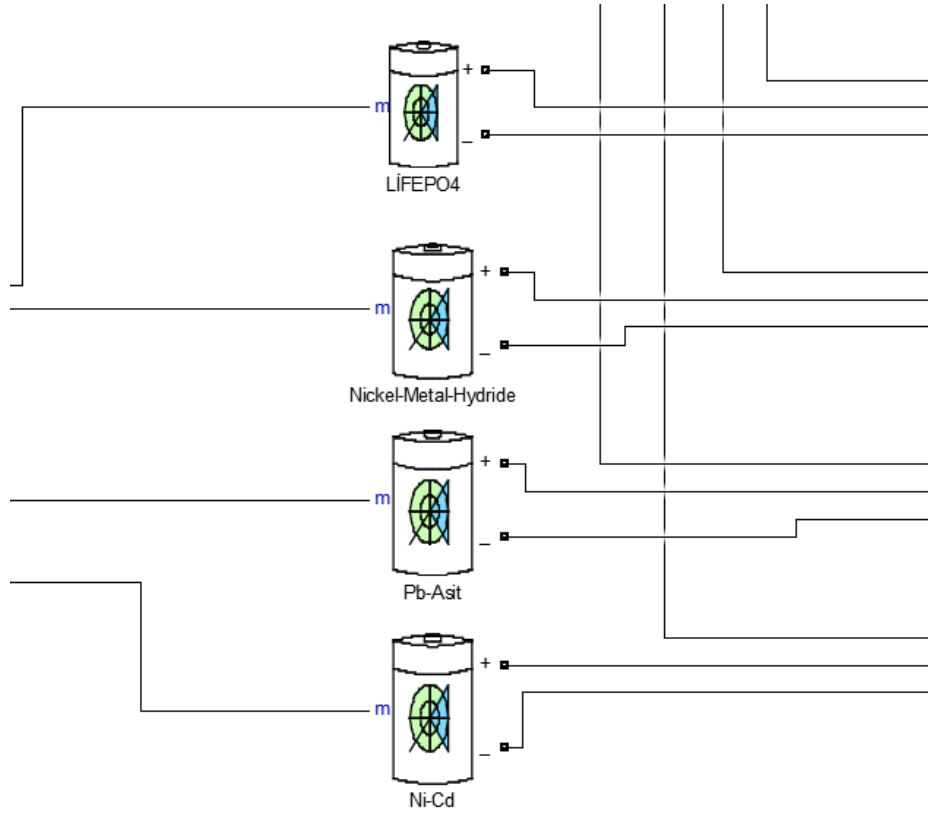
5.3.1. Elektrik Sistemi

Hibrit elektrikli araç modelinde elektriksel altyapı elektrik motoru, jeneratör, bataryalar, DC/DC converter, yüksek ve alçak gerilim kablolarından oluşur. Genel çalışma prensibi olarak elektrik motoru sistem hareketliliğini sağlamakta ve bataryalardan aldığı enerji ile çalışmaktadır. Bataryalar çalışma koşulunun altına indiğinde ise jeneratör çalışmaya başlayarak bataryalar şarj olur. Bu bölümde yukarıda bahsedilen araç parçalarının tamamı ayrıntılı olarak incelenecektir.

5.3.1.1. Bataryalar

Bu tez çalışmasında farklı batarya tiplerinin yönetimi gerçekleştirilecektir. Bu doğrultuda çalışmada kullanılmak üzere 4 farklı batarya tipi belirlenmiştir. Bunlar Şekil 5.6'da görülebileceği gibi Lityum Demir Fosfat (LiFePO_4), Nikel Metal Hidrit (Ni-MH), Kurşun Asit (Pb-Acit) ve Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) bataryalardır.

Yapılan simülasyon içerisinde kullanılan bataryalar günümüz elektrikli araçlarında yaygın olarak kullanılmakta ve farklı kimyasallar ile donatılmışlardır. Bu sebeple simülasyon üzerinde bataryaların farklı davranışları gözlemlenebilir, BYS'nin kontrol mekanizması bu kimyalara göre geliştirilebilir.



Şekil 5.6. Simulasyonda kullanılan farklı tip bataryalar

Lityum demir fosfat, nikel metal hidrit, kurşun asit ve nikel kadmiyum piller farklı gerilim ve akım değerlerine sahiptir. Aynı zamanda uzun süreli çalışma ömürlerinin olması elektrikli araç teknolojisinde etkin olarak kullanılmalarını sağlamaktadır. Çizelge 5.1’de seçilen batarya tiplerinin bazı özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Simulasyonda seçilen batarya tiplerinin bazı özellikleri

Özellikler	Lityum Demir Fosfat	Nikel Metal Hidrit	Kurşun-Asit	Nikel-Kadmiyum
Nominal Voltaj (V)	3.2	3.2	2	1.25
Full Şarj Voltaj (V)	3.5	3.7	2.5	1.5
Akım Kapasitesi (Ah)	3	1.5	2.3	2.05
İç Direnç (R)	1.3	1.6	1.05	1.2

Bataryalara simulasyon sırasında şarj ve deşarj testleri uygulanacaktır. Minimum ve maksimum doluluk oranları ile bu testler sürekli olarak gerçekleştirilecektir. Aynı zamanda hibrit elektrikli araca reel olarak yerleştirilip şarj cihazının şarjı dışında jeneratörün de bataryaları şarj ve deşarj durumu da incelenecektir.

5.3.1.2. DC/DC converter (konvertör)

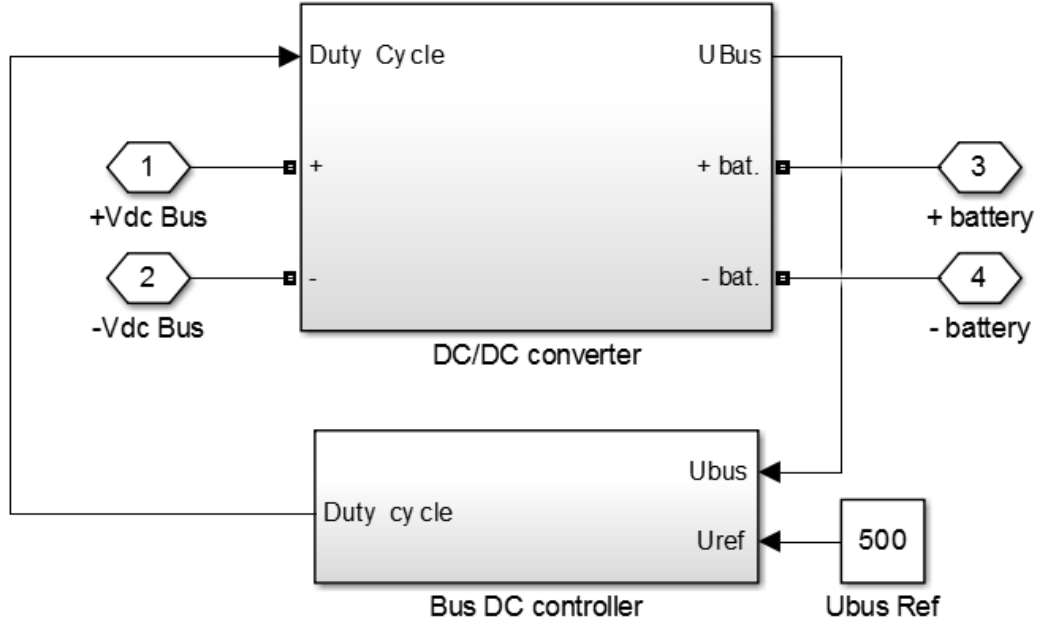
Elektrik sistemleri için kullanılan gücün optimum şekilde kontrol edilip verimli olarak kullanılması gerekmektedir. Bu güç sistem üzerinde bir yüke gönderilir ve bu yükün ihtiyacı olan enerjinin dağıtılması istenilen bir durumdur [95].

Son yıllarda güç elektroniği alanında uygulamalar artırılmıştır. Özellikle güç üretimi, taşıma ve dağıtımı, enerji dönüşümü, ulaşım, dağıtım, iletişim, savunma, endüstriyel süreçler ve tüketici elektroniği gibi alanlarda güç elektroniği kullanılmaya başlamıştır.

Uygulamaların büyük bölümünde ihtiyaç olan değişken DC kaynak, sabit DC kaynağın dönüştürülmesi ile elde edilir. Bunu gerçekleştirmek için ise DC/DC konvertör adı verilen elektronik sistem kullanılır. DC/DC konvertör çalışma mantığı transformatörlere benzetilebilir. Transformatörler nasıl ki AC gerilimin artırılıp azaltılmasında görev alıyorsa DC/DC konvertörler de DC gerilimin artırılıp azaltılmasında görev alır.

DC/DC konvertörler birçok sektörde sık kullanılmaktadır. DC/DC kullanılan başlıca yerler; elektrikli otomobiller, deniz yük asansörleri, çatal kaldırıncı kamyonlar, maden ocaklarıdır. DC/DC konvertörler sistem üzerinde yüksek verim, kolay kontrol ve hızlı tepki sayesinde tercih edilmektedir. Ayrıca dönüştürülen enerji çift yönlü iletilebilmektedir. Motor frenlemesi sırasında üretilen enerji tekrar DC/DC konvertör üzerinden aktarılabilir. Bu özellik enerjinin korunması bakımından çok önemlidir.

BYS simulasyonunda ise DC/DC konvertör, jeneratör üzerinden gelen gerilimi batarya gerilim seviyesine indirgeyerek bataryaların sağlıklı şarj olmasını sağlamaktadır. Kullanılan DC/DC konvertör yapısı şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. DC/DC converter yapısı

Konvertör araçtan gelen gerilimi referans 500V düzeylerine indirmek ile görevlidir. Batarya gruplarının 300-400 V gerilim ile hibrit elektrikli araçta çalıştığı düşünüldüğünde 500V'un yeterli bir gerilime sahip olduğu gözlemlenmektedir.

5.3.1.3. Elektrik motoru

Elektrik motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinalar olarak bilinmektedir. Döner bir yapıya sahip olan elektrik motoru bir rotor ve bir statordan oluşur. Hareketli kısım rotor olarak, hareketsiz kısım ise stator olarak adlandırılır. Elektrik motorları buzdolaplarında, çamaşır makinelerinde, aspiratörlerde, elektrikli araçlarda ve birçok alanda kullanılmaktadır [96].

Hızlı ve hassas olan işlerde daha çok tercih edilen elektrik motorlarında bobinler yerine sarmanyum mıknatısa benzeyen ve topark metalden yapılan sabit mıknatıslar kullanılmaktadır.

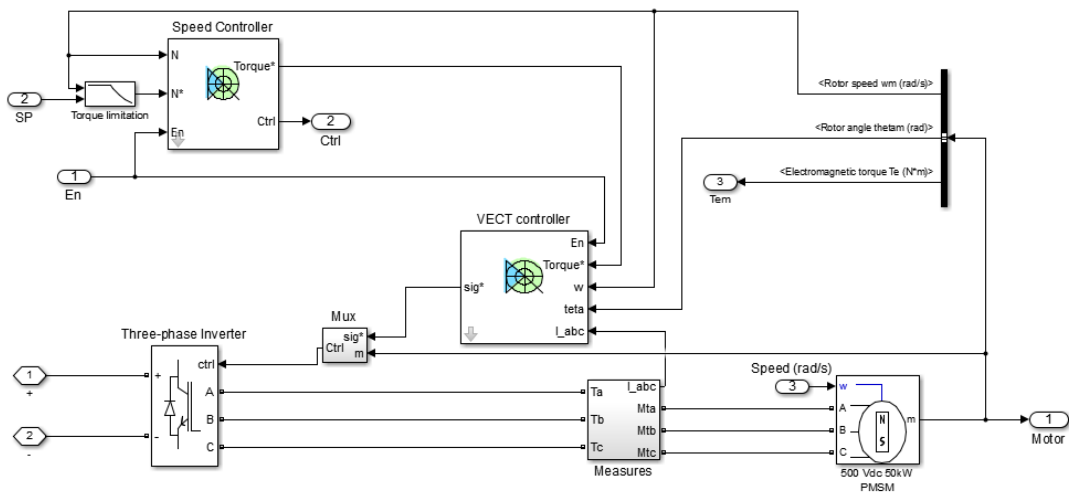
Elektrik motoru diğer motorlara kıyasla titreşim oluşturmadığı için hassas yerlerde kullanıma elverişlidir. Bu sayede lazer işaretleme gerektiren yerlerde rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca günümüzde elektrikli motorlar mikroişlemciler ile

donatılmaktadır. Kullanıcıların ihtiyaçlarına göre elektrik motor kontrolleri yazılımlar ile entegre edilmekte ve ihtiyaca özel kullanılabilir.

Literatürde iki tip elektrik motoru kullanılmaktadır. Bunlardan ilki DC (doğru akım) motorlarıdır. Verimli ve dinamik bir yapıya sahip olan DC motorların hızları kolay şekilde değiştirilebilir. Çok yüksek güçlerde çalıştırılabilen bu motorlar çalışırken kıvılcım çıkarabilmektedir. DC motorlarda meydana gelen kıvılcımların önlenmesi için bir kafes içerisine konulması gerekir. Bu kafes kıvılcımları önlediği gibi aşınma, nem ve tozdan da elektrik motorunu korumaktadır.

Literatürde kullanılan ikinci motor tipi ise alternatif akım motorlarıdır. Senkron ve asenkron motorlar olarak ayrılan AC motorlar büyük güç gerektiren uygulamalarda kullanılır. AC motorlar döner bir manyetik alan oluşturularak çalıştırılır. Senkron motorların statoru ile asenkron motorun statoru aynı yapıdadır. Manyetik saçlardan meydana gelen bir bilezik şeklindedir. Asenkron motorun çalışma prensibi, senkron motorun çalışma prensibine göre çok daha farklıdır [97].

BYS simülasyonunda şekil 5.8’de sunulan 50 kW’lık bir asenkron elektrik motoru kullanılmıştır. Dizel motorun yetersiz kaldığı durumlarda elektrik motoru bataryalardan aldığı enerji ile çalışır, bu sayede hibrit elektrikli araç için istenilen güç sağlanır ve yakıt maliyeti azaltılmış olur.



Şekil 5.8. Elektrik motoru iç yapısı

5.3.1.4. Jeneratör

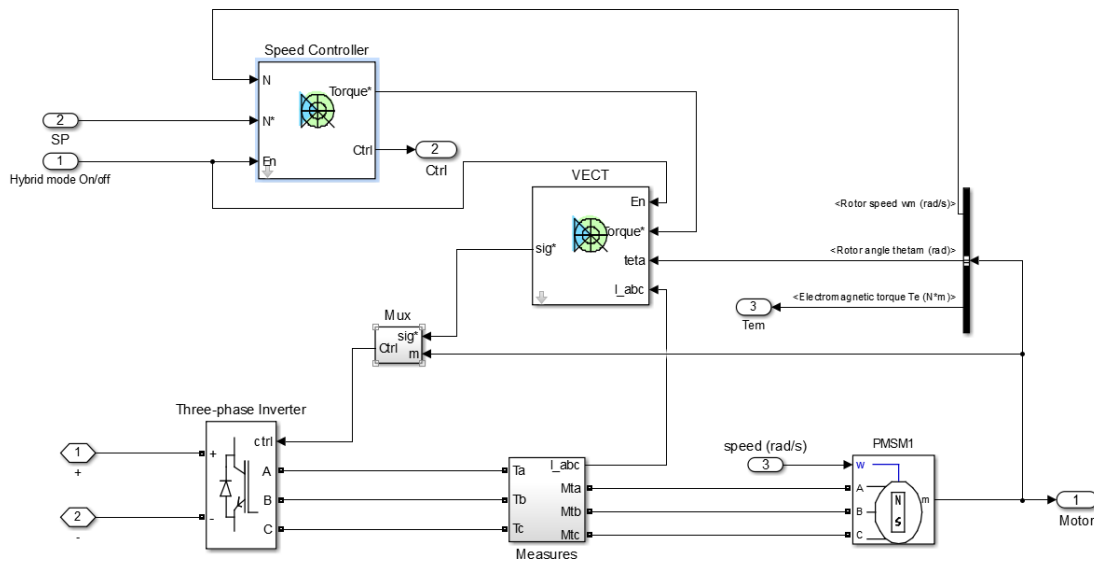
Herhangi bir enerji türünün elektrik enerjisine çevrildiği sisteme jeneratör adı verilmektedir. Jeneratör sistemleri içerisinde aynı zamanda kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bataryalar, ışık enerjisini elektriğe dönüştüren fotoelektrik hücreleri, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinalar, ısı enerjisini elektrik enerjisine çeviren termoelektrik jeneratörler de dâhildir. Elektromanyetik jeneratörlere aynı zamanda dinamo adı verilmektedir. Dinamolarda bir bobin, manyetik alan içerisinde hareket ettirilir. Elektrostatik jeneratörlerde ise mekanik enerji elektrostatik endüksiyon veya sürtünme ile üretilen eşit ve zıt elektrik yüklere bölünerek sarf edilir. Günümüzde iki tip jeneratör kullanılmaktadır. Bu tip jeneratörler istenilen güçte ve istenilen büyüklükte üretilir. Dalgali akım üreten jeneratörlere alternatör, doğru akım üreten jeneratörlere ise dinamo adı verilmektedir. Sonuç olarak ister doğru akım ister dalgali akım olsun enerji kaynağı aynıdır. Sadece makinenin taslağı değişmektedir [98].

Jeneratörlerin çalışabilmesi için gerekli olan mekanik enerji su türbini, içten yanmalı motor, gaz türbini ve buhar türbini gibi komponentler ile sağlanmaktadır [99].

BYS simülasyonunda jeneratör, bataryaların şarj ve deşarj işlemini gerçekleştiren bir sistem olarak kullanılmıştır. Bataryalar şarj olurken jeneratör devreye girmektedir. Jeneratör çıkışında elde edilen 3 faz AC gerilim bir 3 faz inverter ile DC gerilime dönüştürülür. Oluşturulan bu DC gerilim bataryaların şarjı sırasında kullanılmaktadır.

Hibrit elektrikli araç simülasyonunda jeneratörün çalışması hibrit modun aktif olması ile bağlantılıdır. Hibrit mod elektrik motorunun ve içten yanmalı motorun birlikte kullanılmasını ifade eder. Hibrit mod aktif olduğu zaman bataryalar deşarj olmaya başlar ve bu sırada jeneratör sistem üzerinde aktif değildir. Elektrik motoru içten yanmalı motor ile birlikte çalışmaya başlar. Hibrit mod pasif olduğunda ise jeneratör sistem üzerinde aktif konuma geçer ve bataryaların şarj olması sağlanır. Elektrik motoru ise devreden çıkar ve sadece içten yanmalı motor devrededir

Simulasyonda kullanılan jeneratör 30 kW'lık nominal güce sahiptir. Şekil 5.9'da iç yapısı sunulmuştur.



Şekil 5.9. Jeneratör iç yapısı

5.3.2. Enerji yönetim sistemi

Bu bölümde BYS simulasyonunda yer alan bataryaların, gaz pedalının ve aracın ürettiği torkun kontrol sistemleri ile yönetiminden bahsedilecektir. Araç modelleri üzerinde enerji verimliliği için kiritk öneme sahip olan enerji yönetim sistemleri ihtiyaca ve tasarımsal parametrelere göre değişkenlik gösterebilir.

Tezde kullanılan BYS, hibrit sistem, gaz pedalı kontrolü, tork kontrolü gibi parametreler enerji yönetim sistemi başlığı altında yer almaktadır.

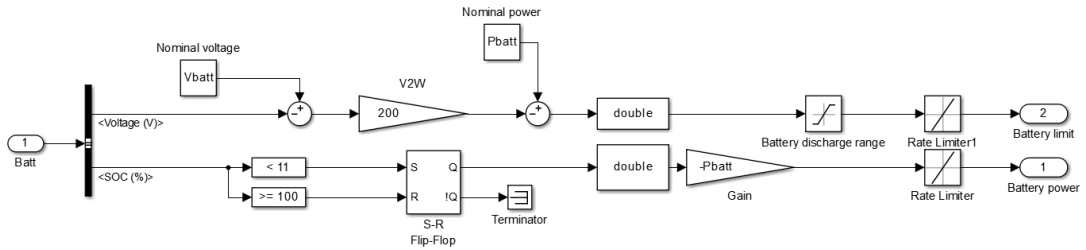
5.3.2.1. Batarya yönetim sistemi

Batarya yönetim sistemi (BYS) bir veya daha çok hücreden oluşan batarya paketlerinin şarj ve deşarj sırasında denetimini ve yönetimini yapan sistemlerdir. Batarya paketlerinde akım, gerilim, sıcaklık vb. önemli değerlerin ölçümünü yaparak, optimum değerlerin dışına çıktığında sisteme müdahale eden yapılardır.

Birden fazla hücrenin bir araya gelerek oluşturduğu sisteme batarya veya batarya paketi denir. Batarya paketleri seri veya paralel bağlı hücrelerden oluşur. Batarya paketlerinde seri bağlantılar gerilimi, paralel bağlantılar çekilebilecek akımı ve kapasiteyi belirler. Bu seri ve paralel bağlı sistemler arasındaki koordinasyonun sağlanması için batarya yönetim sistemleri yani BYS'ler kullanılır. BYS'ler şarj edilebilir bataryaların kontrol ve denetimini yapan elektronik sistemlerdir. Batarya sistemlerinde bir koruyucu gibi davranarak bataryaların o andaki çalışma durumlarını inceleyip optimum çalışma değer aralıklarında kalmalarını sağlar.

BYS simülasyonunda kullanılan yönetim sistemi 4 farklı kimyaya sahip bataryaların şarj ve deşarjından sorumludur. Bataryaların doluluk oranlarına bağlı olarak hücrelerin aşırı deşarj olması veya aşırı şarj olması bu yönetim sistemi ile engellenmektedir. Bataryalar hibrit elektrikli araca yerleştirildiğinde ise batarya doluluk seviyelerinin %10 ile %100 arasında tutulmasında etkin görev alır.

Şekil 5.10'da görüldüğü üzere simüle edilen BYS bataryalardan gerilim ve doluluk bilgisi almaktadır. Bu bilgilere istinaden aracın ihtiyacı olan güç hesaplanmakta ve gereken ihtiyaç karşılanmaktadır.



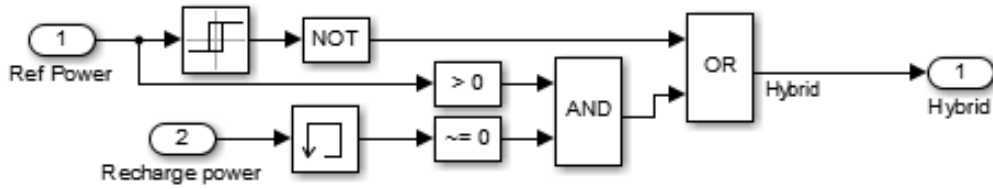
Şekil 5.10. Batarya yönetim sistemi içyapısı

5.3.2.2. Hibrit Yönetim Sistemi

Simulasyonda kullanılan hibrit yönetim sistemi diğer tüm kontrol ünitelerinin kumandası konumundadır ve temelde aracın işletim modları arasındaki geçişi sağlar. Bu kontrol ünitesi sistemsal enerji yönetiminden de sorumludur. Daha önce belirtildiği gibi

burada birincil amaç yakıt tüketiminin en aza indirilmesidir. Hibrit kontrol ünitesi elektrik motoru ve içten yanmalı motorun güç ve torkunu kumanda eder. Bunun yanında, batarya şarjı için gereken güç üretiminin miktarını ve zamanlamasını da ayarlar.

BYS simülasyonunda hibrit mod değişimi aracın ihtiyacı olan güce göre belirlenir. Araç ihtiyacı fazla ise hibrit mod aktif olur, dizel ve elektrik motoru birlikte çalışır. Araç ihtiyacına göre dizel motor gerekli gücü karşılar ise hibrit mod pasif olur ve araç sadece dizel motor ile çalışır. Hibrit mod yapısı şekil 5.11 ile sunulmuştur.



Şekil 5.11. Hibrit mod yapısı

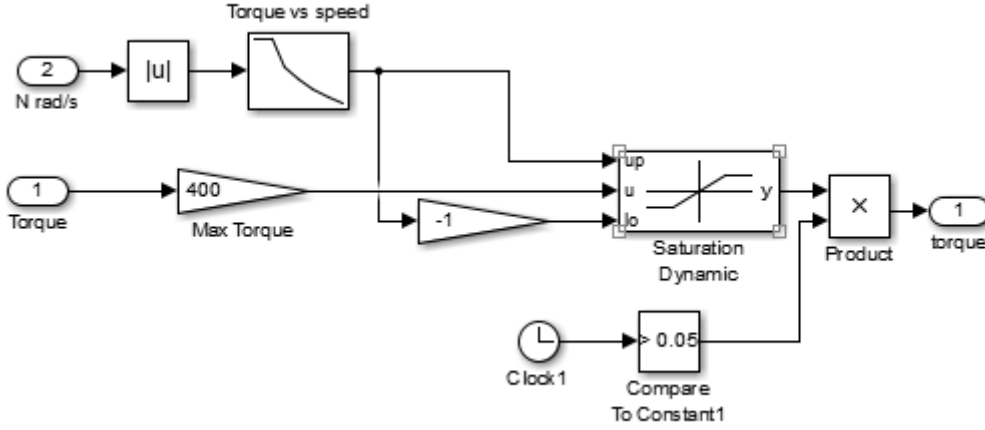
5.3.2.3. Sürüş torku yönetim sistemi

Tork, kuvvet momenti ya da dönme momenti, bir kuvvetin nesnenin ekseninde, dayanak noktasında ya da çevresindeki dönme eğilimidir. Kuvvet ister itme, isterse çekme olsun tork bir nesnenin döndürülmesi olarak düşünülebilir.

Tork, motorun dönme kuvvetinin tekerlekleri itme kuvvetine dönüştürülmesini sağlar. Daha net bir ifade ile aracın çekiş gücü ve özellikle yokuş yukarı çıkarken gösterdiği performans, torkunun iyi olması ile mümkündür.

BYS simülasyonunda tork kontrolü ihtiyaç olan tork gücü ve sürüş torku olarak ikiye ayrılır. İhtiyaç olan tork gücü gaz pedalı sinyaline göre hesaplanır ve hibrit elektrikli araçtan bu miktarın karşılanması beklenir. Talep karşılanamadığında elektrik motoru devreye alınır. Bu da bataryaların deşarj edilmesi ile gerçekleşir. Sürüş torkunun değişimi batarya durumlarını etkileyeceği için BYS'nin çalışma şekli tork kontrolüne

göre değişmektedir. BYS simülasyonu için oluşturulan tork yönetim sistemi algoritması şekil 5.12’de sunulmuştur.



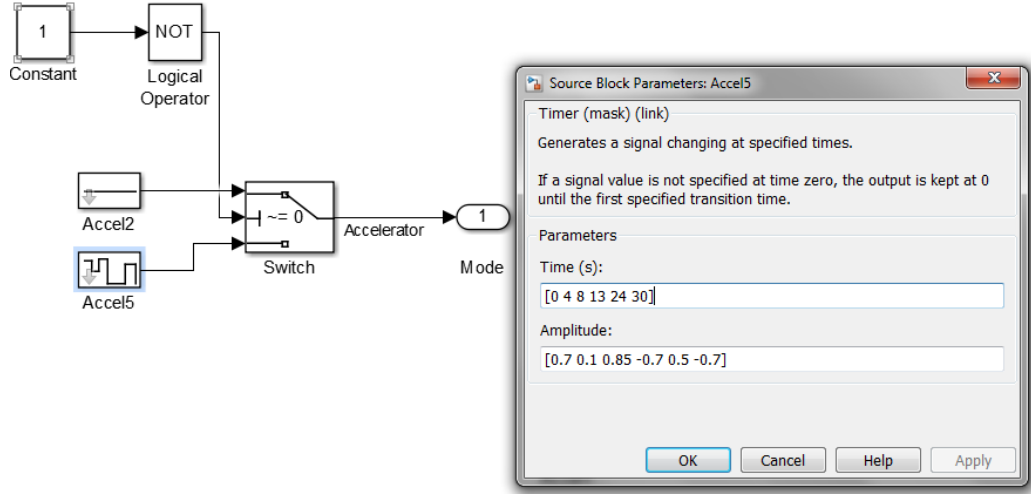
Şekil 5.12. Sürüş tork kontrol sistemi içyapısı

5.3.2.4. Hız kontrol sistemi

Şehirlerarası trafikte araçların sabit hızda gitmesini sağlayan sistem hız kontrol sistemi olarak adlandırılmaktadır. Bu sistem aracın diğer sistemlerine göre yardımcı bir sistemdir ve konfor için dizayn edilmiştir. Yoğun olmayan trafikte sürücülerin izin verilen hız sınırları içerisinde sabit şekilde kalması bu sistem tarafından gerçekleştirilir. Aynı zamanda sürücünün sürekli hız göstergesini kontrol ederek dikkatinin dağılmasını engellemektedir. Yol eğiminin değişmesi hızın azalmasını veya artmasını sağlamaktadır. Hız kontrol sistemi ile ihtiyaç olan güç, gaz pedalı ile sürücüye bırakılmadan sağlanır. Sürücünün sadece gaz pedalından ayağını çekmesi, dikkatli ve konforlu bir yolculuk yapılması için yeterli olacaktır [100].

BYS simülasyonunda hız kontrolü bataryaların şarj ve deşarjını etkilemekte bu da batarya yönetim sisteminin aktif olarak çalışmasını sağlamaktadır. Düzensiz bir hız ile sürüş gerçekleştirilirken gerekli güç sağlamak için bataryalar sisteme entegre edilecektir. Bu durum bataryaların deşarj olmasını ve batarya yönetim sisteminin bu konuya hazırlıklı olmasını sağlamaktadır. Hız kontrolü düzenli olarak sağlandığında ise talep edilen güç dizel motordan sağlanabilir ve bataryaların yeniden şarj olmasına

yardımcı olunabilir. Stabil sürüş modunda ise bataryalar şarj olacağı için aşırı şarj olma durumu batarya yönetim sistemi tarafından engellenmelidir. Simulasyon üzerinde kullanılan hız kontrol algoritması şekil 5.13'te sunulmuştur.



Şekil 5.13. Hız kontrol sistemi içyapısı

5.4. Simulasyon

BYS daha önce de bahsedildiği gibi bataryaların çalışma anında şarj durumunun, sağlık durumlarının, toplam akım ve gerilimin, hücre sıcaklıklarının ölçüldüğü ve kontrol edildiği ana yönetim sistemi olarak adlandırılmaktadır. Tezin bu bölümünde BYS kontrolü için çeşitli testler yapılmıştır.

İlk olarak sistemin harici bir kaynak ile (şarj cihazı) şarj edilmesi sağlanacak ve bataryaların şarj/deşarj karakteristikleri incelenecektir. Bu sırada hücreler üzerindeki sıcaklık değerleri de incelenecektir. BYS'nin batarya doluluk oranlarını %10 ile %100 arasında tutması sağlanacaktır.

İkinci olarak bataryalar tasarlanan bir hibrit araç modeli üzerine yerleştirilecek ve farklı sürüş senaryoları ile şarj vedeşarj karakteristikleri incelenecektir. Yine BYS'nin bataryaları %10 ile %100 doluluk oranı arasında tutması beklenecektir. Ayrıca simulasyon içerisinde bataryaların ömürlerinin hesaplanacağı bir algoritma

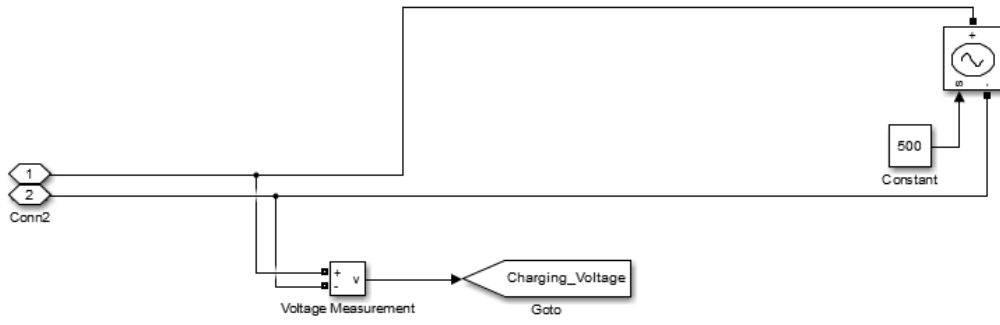
oluşturulmuş ve “**lifetime cycle**” olarak adlandırılmıştır. Batarya paketleri %100 doluluk oranına ulaştığı lifetime cycle (ömür döngüsü) değeri artırılacaktır. Bataryaların üretim ömrü dikkate alındığı zaman simülasyondaki değer üretim değerine yaklaşıncaya kullanıcı batarya değişimi için uyarılacaktır.

5.4.1. Bataryaların şarj cihazı ile testleri

BYS simülasyonunda batarya grupları olarak Lityum Demir Fosfat, Nikel-Metal-hidrit, Kurşun-Asit ve Nikel Kadmiyum kullanılmıştır. İlk olarak batarya paketlerinin tek tek şarj cihazı ile doluluk oranının %100’e getirilmesi sağlanacak ve bataryalar şarj olduğunda sağlanan gerilimin kesilmesi incelenecektir. Bu durum doluluk oranları %10 iken, %50 iken ve %90 iken tekrarlanacaktır. Farklı doluluk oranının seçilip teste tabi tutulmasının sebebi ise bataryanın her durumda şarj olabildiğini incelemek ve herhangi bir durumdan %100 doluluk oranına geldiğinde şarjın kesilmesini incelemektir. Aynı zamanda bataryalar şarj olurken sistemin sıcaklığı da kontrol edilecektir. Şarj sırasında sistem aşırı ısındığı zaman da şarj kesilecek ve BYS batarya paketlerini bu sayede güvenli konumda tutacaktır. Simülasyon Matlab ile yapılmış ve analiz sonuçlarının daha sağlıklı elde edilebilmesi için Solver, ode23tb (stiff/TR-BDF2) olarak seçilmiştir. Simülasyon çıktılarında T (zaman) değeri 1 iken, 23 saniye test yapılmış anlamına gelmektedir. Tüm simülasyonlar için matlab çözücüsü olarak ode23tb geçerli olacaktır.

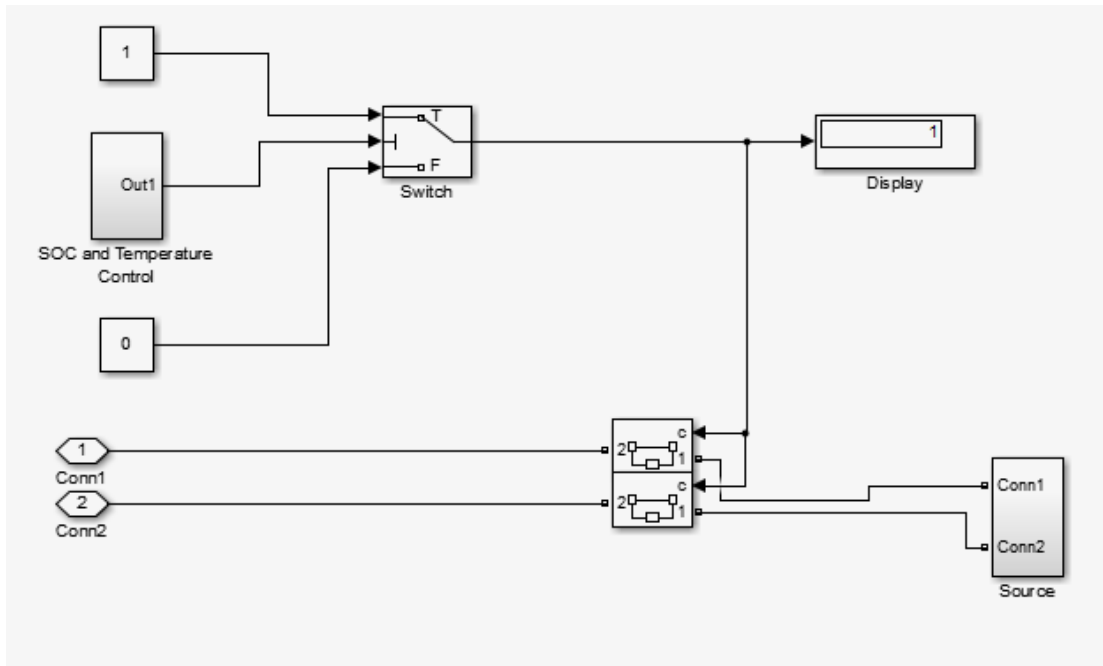
5.4.1.1. Şarj Testleri

- **Test 1;** Lityum demir fosfat batarya paketi %10 gerilim değerine sahip iken şarj başlatılır. Batarya paketi 40 Ah’lık 350V 14 kW’lık değere sahip olarak seçilmiştir. Lityum demir fosfat batarya ayrıca kendine özgü bazı parametreler ile şarja başlatılacaktır. Bunlar 407V full şarj voltajı, 0,0875 ohm iç direnç ve 17,4 amper discharge akımıdır. Ayrıca DC kaynağın gerilimi 500V olarak ayarlanmıştır. Şekil 5.14’te seçilen kaynağın gerilim bilgileri sunulmaktadır.



Şekil 5.14. Kaynak gerilimi

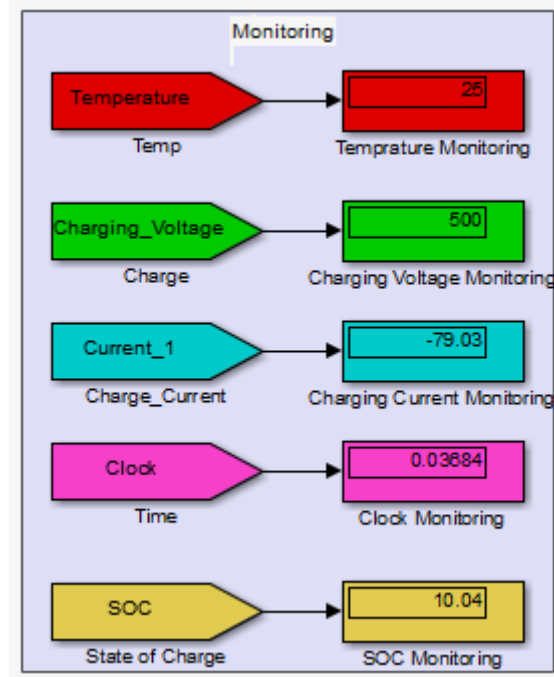
Simulasyonda sıcaklık verisi için 90 derece eşiği, SOC için %100 eşiği belirlenmiştir. Şarj işlemi sırasında eğer sistem sıcaklığı 90 dereceyi aşarsa veya doluluk oranı %100'e eşit olursa anahtarlar yardımı ile kaynak gerilimi devre dışı bırakılıp şarj işlemi durdurulacaktır. Bu durum şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Sıcaklık ve SOC kontrol sistemi

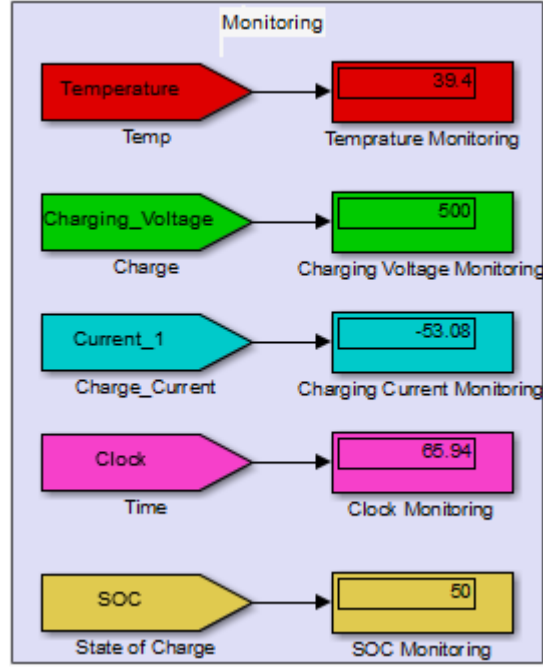
Lityum demir fosfat için şarj simülasyonu başlatıldığında sistem sıcaklığı oda sıcaklığına eşittir. Kaynak voltajı 500V ve SOC değeri %10 olarak şarj işlemi başlatılmıştır. Batarya paketinin total ihtiyacı olan akım 79,03 amper olarak gözlemlenmiştir. SOC ve sıcaklık verileri istenilen eşik değerinin altında olduğu için

sistem sağlıklı olarak çalışmaya başlamıştır. Şekil 5.16’da başlangıç durumu sunulmuştur.



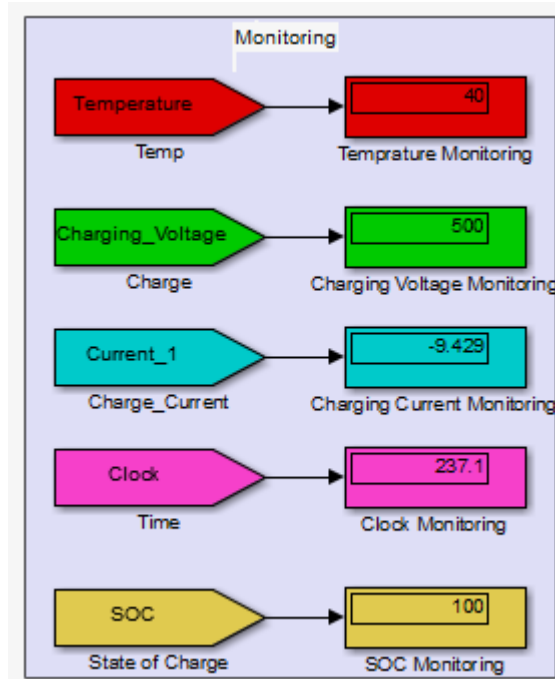
Şekil 5.16. Lityum demir fosfat bataryanın şarj başlangıç durumu

Simulasyon %50 SOC doluluk oranına geldiği zaman bataryaların sıcaklıkları 39,4 derece olarak ölçülmüştür. Batarya grubunun mevcut akımı 53,08 amper olarak gözlemlenmiştir. Sıcaklık ve SOC eşik değeri altında olduğu için şarj işlemi devam etmektedir. Lityum demir fosfat %50 şarj oranına T= 65,94 (25 dakika sonra)’te ulaşmıştır. Şekil 5.17’de Lityum demir fosfat bataryanın %50 şarj anındaki değerleri sunulmuştur.



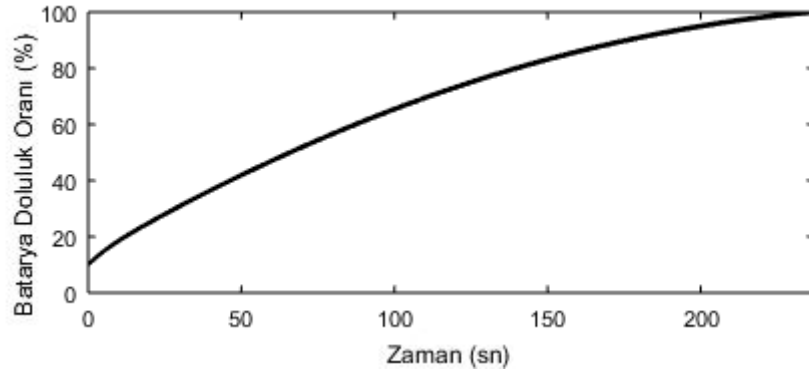
Şekil 5.17. Lityum demir fosfat bataryanın SOC %50 iken durumu

Simulasyon %100 SOC doluluk oranına geldiği zaman bataryaların sıcaklıkları 40 derece olarak ölçülmüştür. Batarya grubunun mevcut akımı 9,4 amper iken sistem kapanmıştır. Bu kapanma durumu SOC değeri istenilen eşik değerine ulaştığı için gerçekleşmiştir. Lityum demir fosfat %100 şarj oranına $T=237,1$ (1,5 saat sonra)'de ulaşmış ve şekil 5.18'de gösterilmiştir.

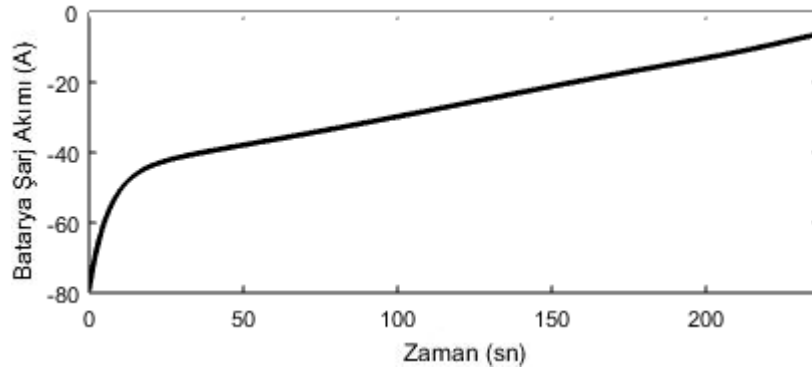


Şekil 5.18. Lityum demir fosfat bataryanın SOC %100 iken durumu

Simulasyon sonunda lityum demir fosfat için istenilen şarj uygulaması elde edilmiştir. SOC'nin %100 olması ile şekil 5.15 te verilen kontrol sisteminden herhangi bir öncül çalışmıştır ve sistem şarjı kesmiştir. Kontrol sisteminin çıkışının bu durumda 0 olması beslemenin önünde bulunan mekanik switchlerin açılmasını sağladı ve sistemi besleyen DC gerilim devreden ayrılmış oldu. Kullanılan bataryanın %10'dan %100 noktasına gelene kadar SOC ve şarj akımına ait grafikler şekil 5.19 ve 5.20'de gösterilmiştir. Batarya şarj akımının negatif olarak gösterilmesi akımın bataryalara doğru olmasından kaynaklıdır. Tüm testlerde batarya deşarj akımı pozitif batarya şarj akımı negatif olarak gösterilecektir.



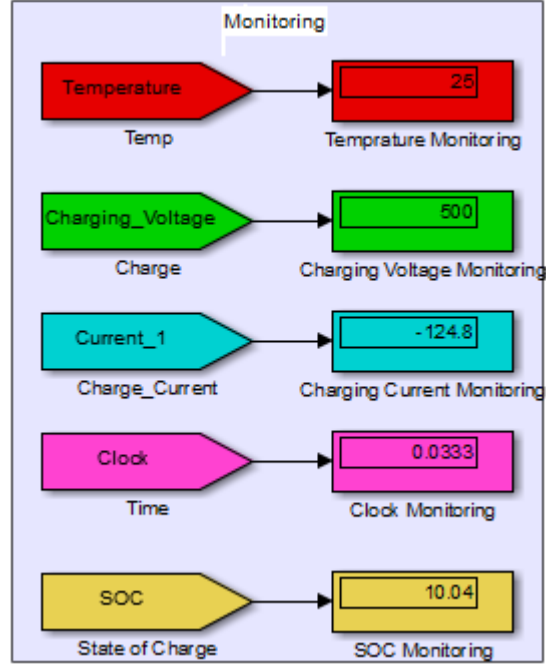
Şekil 5.19. Lityum demir fosfat batarya SOC grafiği



Şekil 5.20. Lityum demir fosfat batarya şarj akım grafiği

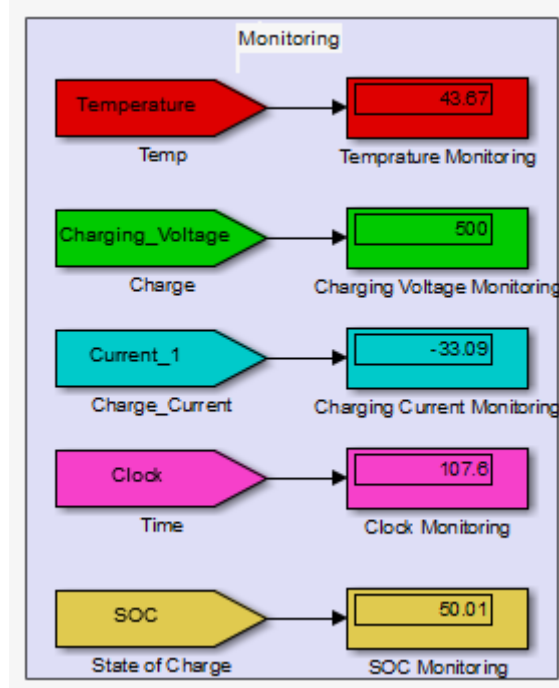
- **Test 2;** Nikel Metal Hidrit batarya paketi test 2 için Lityum demir fosfat batarya gibi aynı güç değerine sahip olarak başlangıç değeri seçilmiştir. Batarya kapasitesi 40 Ah ve 350V gerilim değeri altında şarj edilecektir. Bu batarya tipi full şarj gerilimi 412,7 V, 8 amper boşalma akımı ve 0,087 ohm iç dirence sahip olarak

simulasyona başlatılacaktır. Yine şarj gerilimi 500V olarak seçilmiştir. SOC başlangıç değeri %10 belirlenerek simulasyon başlatılmış olup, batarya grubu 124,8 amperlik akım ile şarj olmaya başlamış ve şekil 5.21’de gösterilmiştir. Simulasyon başlangıcında şarj durumunu etkileyen iki parametre sıcaklık ve SOC değerleri belirlenen eşik değeri altında olduğu için simulasyonun çalışmasına engel bir durum bulunmamaktadır.



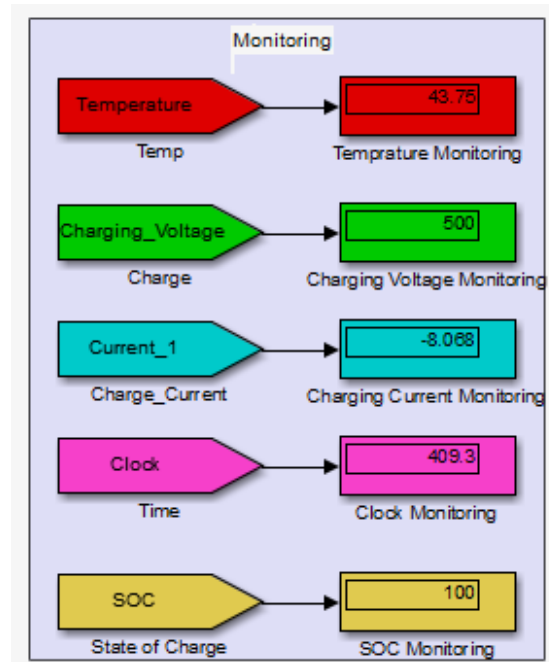
Şekil 5.21. Nikel Metal Hidrit şarj başlangıç durumu

T=107,6 (41 dakika) sonra batarya doluluk oranı %50’ye ulaşmıştır. Bu anda batarya grubu 33,09 amper akım çekmeye devam etmektedir. Bataryaların sıcaklık değerleri 43,67 derece olarak ölçülmüştür. Yine sıcaklık değeri ve SOC değeri belirlenen eşik değeri altında kaldığı için sistem şarj olmaya devam etmektedir. Şekil 5.22’de Nikel metal hidrit bataryanın %50 SOC durumundaki değerleri verilmiştir.



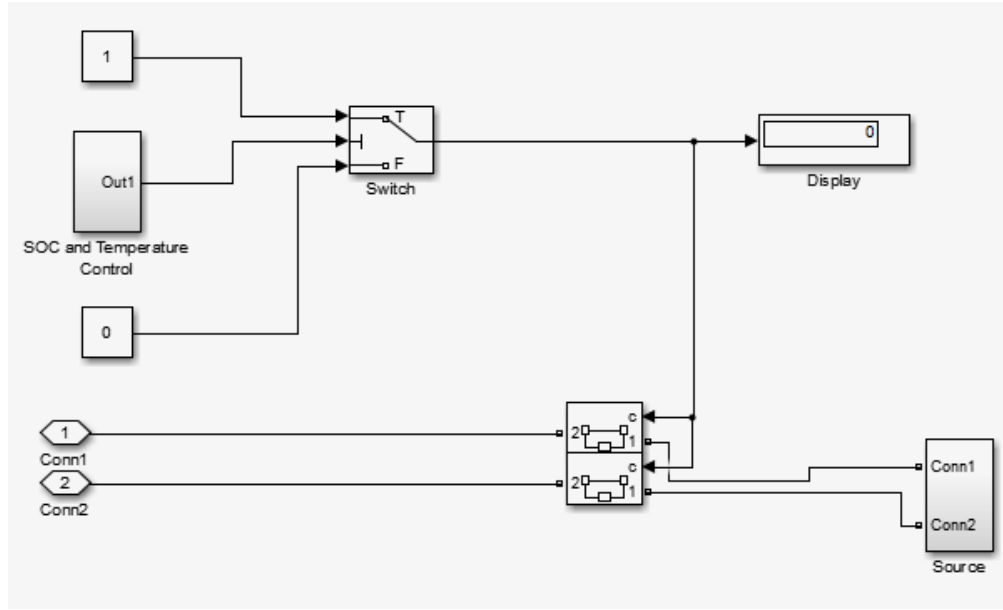
Şekil 5.22. Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %50 iken durumu

Bataryalar full şarj noktasına yaklaştığında şarj akımlarında minimum noktaya yaklaşmaktadır. SOC değeri %100 olduğu anda ise batarya şarj akımı 8 amper noktasında iken kontaklar sistemi açmış ve şarj durmuştur. Bu anda batarya sıcaklık değerleri 43,75 derece olarak ölçülmüştür. Nikel Metal Hidrit batarya %100 batarya doluluk oranına T=409,3 (2,5 saat sonra)'te ulaşmış ve şekil 5.23'te gösterilmiştir.



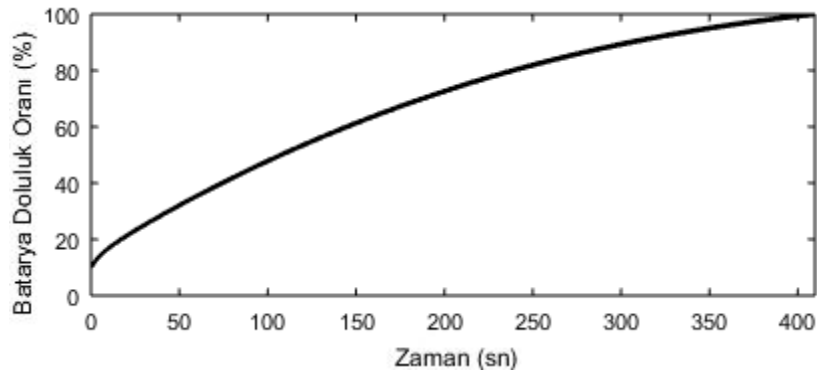
Şekil 5.23. Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %100 iken durumu

Nikel Metal Hidrit ile yapılan %10 dan %100'e gelene kadar analiz edilen şarj testinde herhangi bir sorun gözlemlenmemiş olup sistem sağlıklı şarj olmuştur. Şekil 5.24'te sunulan kontrol sisteminde yukarıda bahsedildiği gibi 2 farklı eşik değeri tanımlanmıştır. Bataryanın şarjının kesilebilmesi için yüksek sıcaklık veya %100 SOC değeri baz alınmıştır. Bu simulasyonda Nikel metal hidrit batarya doluluk oranı %100 noktasına geldiğinde kontrol sisteminde yer alan switchler sistemi pasif konuma getirmiştir. DC besleme devreden ayrılmış ve şarj işlemi durdurulmuştur. Kontrol sisteminin çıkışı sistem aktif iken “ 1 ” olarak gözlemlendi ve sistem durdurulduğunda “ 0 ” olarak gözlemlenmiş ve şekil 5.24'te gösterilmiştir.

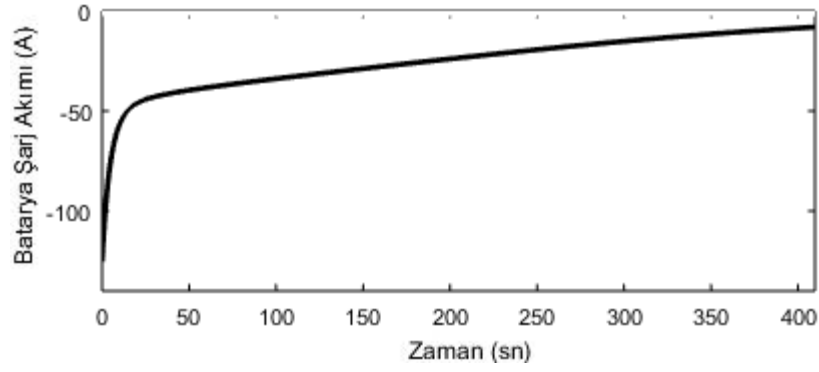


Şekil 5.24. SOC ve Sıcaklık kontrol sisteminin devreyi açma durumu

Nikel Metal Hidrit bataryanın %10'dan %100 noktasına gelene kadar SOC ve şarj akımına ait grafikler şekil 5.25 ve 5.26'da gösterilmiştir.

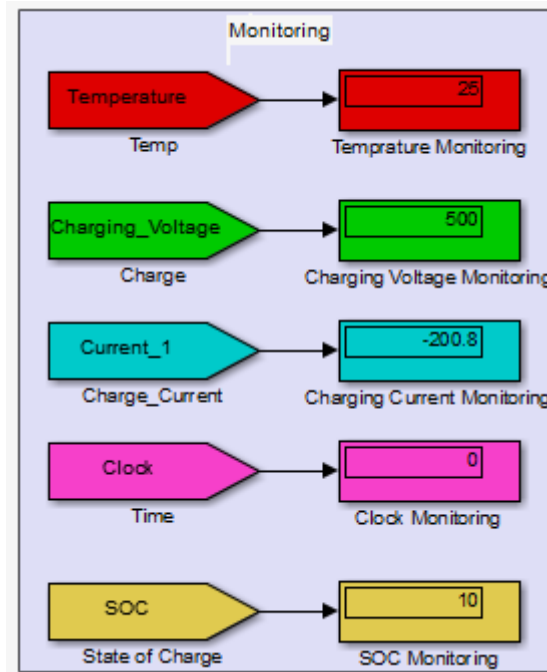


Şekil 5.25. Nikel Metal Hidrit batarya SOC grafiği



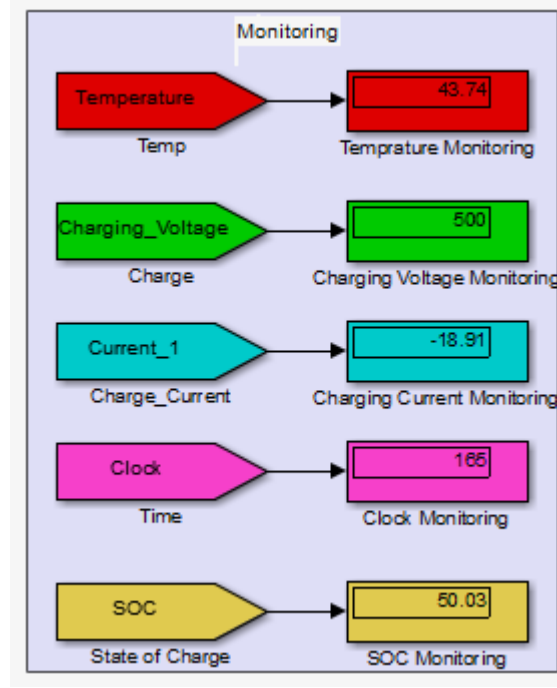
Şekil 5.26. Nikel Metal Hidrit batarya şarj akım grafiği

- **Test 3;** Kurşun Asit (Pb-Asit) batarya paketi ile yapılan test 500V DC kaynak gerilimi altında başlayacaktır. Batarya paketleri 14 kW'lık güç sağlayacak şekilde seçilmiştir. 40 Ah batarya kapasitesi ve 350 V gerilim paketi ile sistem hazır duruma getirilmiştir. Kurşun asit batarya kendine özgü parametreler olan 381 V full şarj gerilimi, 0,5 amper deşarj akım değeri ve 1,4 ohm iç direnç ile simülasyona başlayacaktır. Simulasyon başlatıldığı anda batarya grubunun SOC değeri %10 olup şarj akımı 200,8 amper olarak ölçülmüştür. Bu değerler belirlenen eşik değeri altında kaldığı için sistem sağlıklı olarak şarj olmaya başlamıştır. Kurşun asit bataryanın şarja başladığı durum şekil 5.27'de gösterilmiştir.



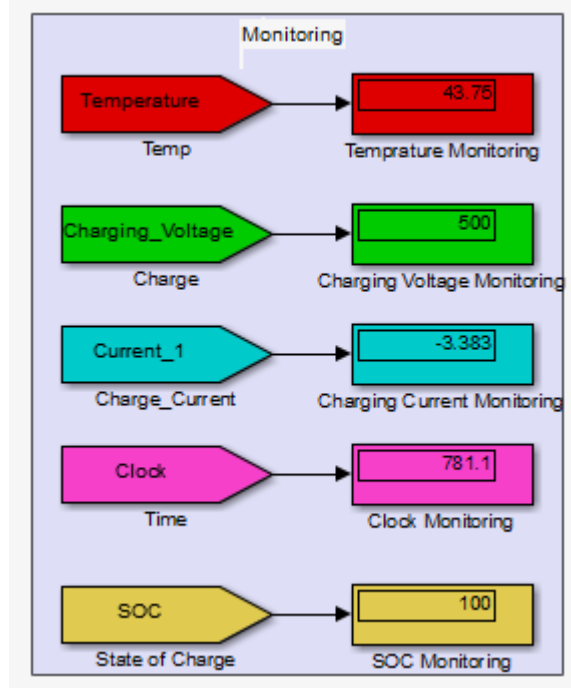
Şekil 5.27. Kurşun Asit şarj başlangıç durumu

Simulasyon T=165 (1 saat 3 dakika) noktasına ulaştığında batarya doluluk oranının %50'ye geldiği gözlemlenmiştir. Bu anda bataryaların şarj akım değeri ise 18,91 amper olarak ölçülmüştür. Batarya sıcaklık değeri ise 43,74 derecedir. Ölçülen SOC ve sıcaklık değeri yine eşik değerinin altında kaldığı için bataryaların şarj olma süreci devam etmektedir. Kurşun asit bataryanın %50 SOC anındaki durumu şekil 5.28'de verilmiştir.



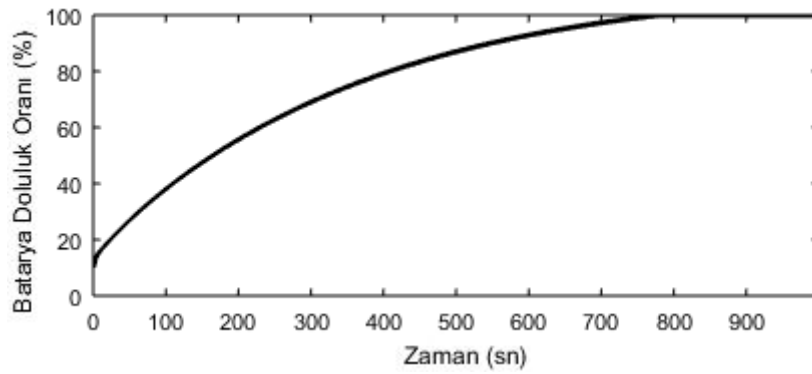
Şekil 5.28. Kurşun Asit SOC %50 iken durumu

Batarya doluluk oranı %100 noktasına geldiğinde sistemde geçen zaman T= T=781,1 (5 saat) olarak ölçülmüştür. Bu değer analiz edildiğinde önceki iki teste oran ile şarj süresi çok uzun sürmüştür. Şarj tamamlandığı anda bataryaların mevcut şarj akım değeri 3,38 amper ve sıcaklık değerinin 43,75 derece olduğu gözlemlenmiştir. Kurşun Asit batarya sağlıklı bir şekilde %10 doluluk oranından %100 doluluk oranına kadar şarj edilmiş ve %100 anındaki durumu şekil 5.29'da gösterilmiştir.

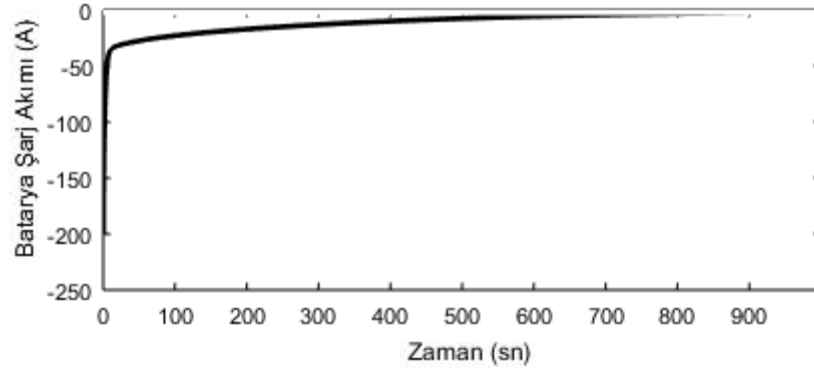


Şekil 5.29. Kurşun Asit bataryanın SOC %100 iken durumu

Kurşun Asit batarya simulasyonunda tüm parametreler doğru bir şekilde çalışmıştır. Kontrol mekanizması bataryanın SOC değerinin %100 noktasına geldiği anda devreye girmiş ve sistemi pasif konuma getirmiştir. Bu sayede şarj işlemi tamamlanmıştır. Kullanılan bataryanın %10'dan %100 noktasına gelene kadar SOC ve şarj akımına ait grafikler şekil 5.30 ve 5.31'de gösterilmiştir.



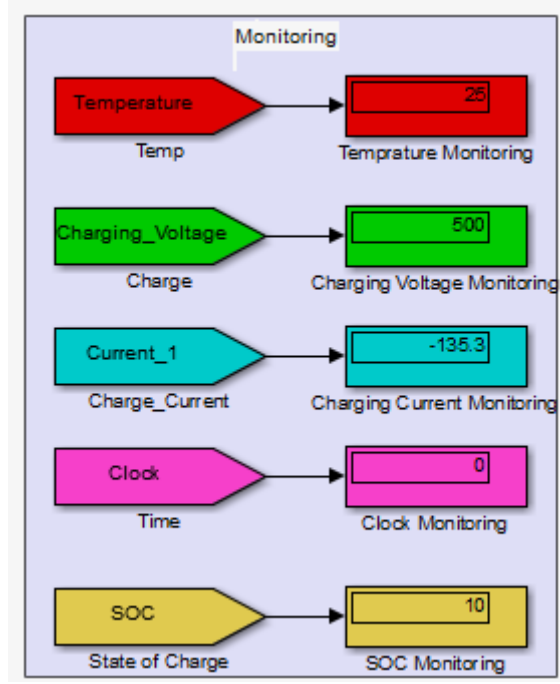
Şekil 5.30. Kurşun Asit batarya SOC grafiği



Şekil 5.31. Kurşun Asit batarya şarj akım grafiği

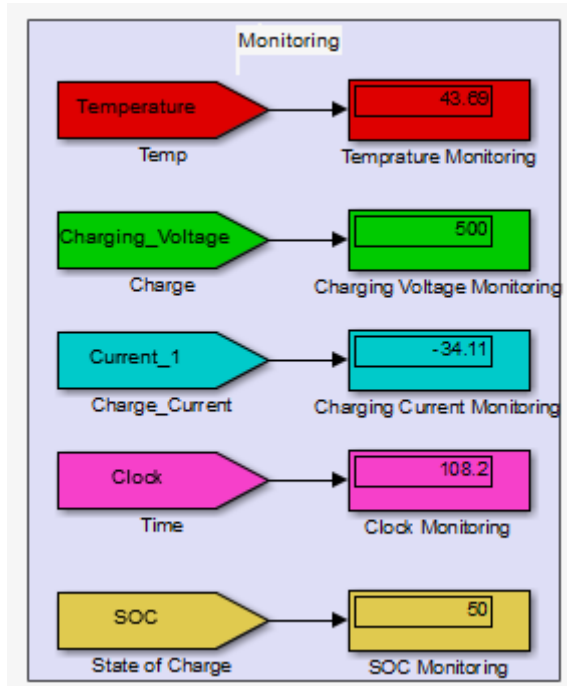
- **Test 4;** Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) batarya paketi %10 doluluk oranı ile şarja başlatılacaktır. Sistem üzerinde besleme gerilim 500V DC olarak seçilmiştir. Batarya paketi kendisine özgü parametreler olan 1,167 ohm iç direnç, 0,6 amperdeşarj akımı ve 400V full şarj gerilimi ile simülasyona dahil edilecektir. Simülasyon sırasında batarya gücü 14 kW olarak ayarlanmıştır. Bu değer 40 Ah batarya kapasitesi ve 350V gerilim değeri ile sağlanmıştır.

Simülasyon başlatıldığında batarya paketinin şarj akımı 135,3 amper olarak gözlemlenmiştir. Sistemin SOC değeri %10 ve bataryaların sıcaklığı 25 derece olduğu için sağlıklı olarak şarj işlemi devam etmektedir. Nikel kadmiyum bataryanın başlangıç durumu şekil 5.32’de gösterilmiştir.



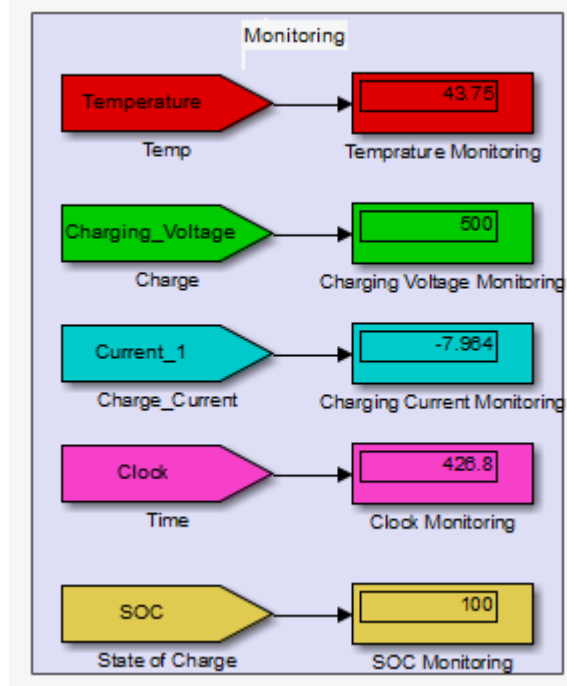
Şekil 5.32. Nikel Kadmiyum şarj başlangıç durumu

Sistem %50 doluluk oranına ulaştığında bataryaların şarj akımının 34,11 amper olduğu görülmüştür. Bu anda bataryaların şarjdan kaynaklanan sıcaklık değerinin ise 43,69 derece olduğu analiz edilmiştir. Nikel Kadmiyum batarya %50 doluluk oranına $T=108$ (41 dakika) anında ulaşmıştır ve şekil 5.33’de sunulmuştur. Sıcaklık ve SOC değerleri belirlenen eşik değeri altında kaldığı için şarj işlemi devam etmektedir.



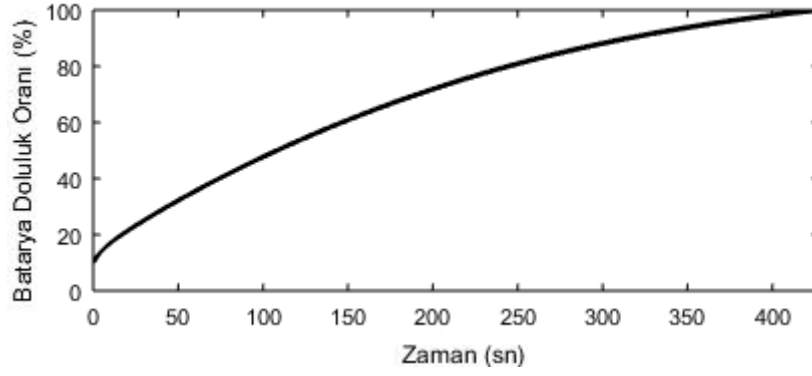
Şekil 5.33. Nikel Kadmiyum SOC %50 iken durumu

Nikel kadmiyum batarya full şarj noktasına ulaştığı anda $T=426,8$ (2 saat 40 dakika sonra) noktasındadır. Bu anda batarya akım değeri 7,96 amper olarak ölçülmüştür. 2 saat 40 dakika sonra sistem kontrol mekanizması yardımı ile durdurulmuştur. Bataryaların sıcaklıkları 43,75 derece olarak ölçülmüştür. Nikel Kadmiyum bataryanın %100 SOC anındaki durumu şekil 5.34'te sunulmuştur.

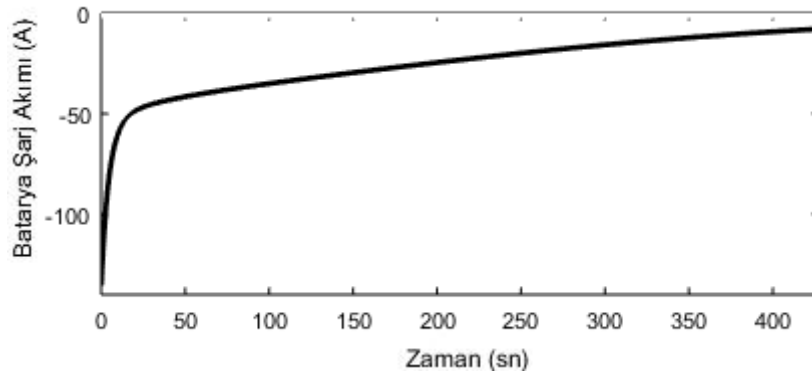


Şekil 5.34. Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %100 iken durumu

Simulasyon sonunda akım ve sıcaklık değerlerinin normal olduğu belirlenmiştir. Batarya doluluk oranı %100 noktasına geldiği için kontrol mekanizması şarjı durdurulmasını sağlamıştır. Mekanik switchler sistemi pasif duruma getirmiştir. Nikel Kadmiyum bataryanın %10'dan %100 noktasına gelene kadar SOC ve şarj akımına ait grafikler şekil 5.35 ve 5.36'da gösterilmiştir.



Şekil 5.35. Nikel Kadmiyum batarya SOC grafiği



Şekil 5.36. Nikel Kadmiyum batarya şarj akım grafiği

Yukarıda yapılan 4 test sonucunda bataryaların sağlıklı bir şekilde şarj olduğu gözlemlenmiştir. Grafikler analiz edildiğinde ise her batarya paketinin %10, %50 ve %100 SOC durumunda farklı anlık akıma sahip oldukları ve simulasyon süresinin her batarya paketinde farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum batarya paketlerinin her ne kadar eşit güçte seçilse bile iç direnci ve kimyasal yapılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Analizler sonucunda Lityum demir fosfat bataryanın 1,5 saatte, Nikel Metal Hidrit bataryanın 2,5 saatte, Kurşun Asit bataryanın 5 saatte ve Nikel Kadmiyum bataryanın 2 saat 40 dakikada şarj olduğu görülmüştür.

Başlangıç koşullarının eşit olduğu durumda en hızlı şarj olan batarya tipi Lityum demir fosfat ve en yavaş şarj olan batarya ise Kurşun Asit olmuştur. Ayrıca en yüksek başlangıç akım kapasitesinin Kurşun Asit bataryada olduğu tespit edilmiştir. Yapılan simulasyon sonucunda elde edilen akım verileri ve eşik doluluk oranına gelineceye kadarki geçen süre Çizelge 5.2 ve 5.3'te sunulmuştur.

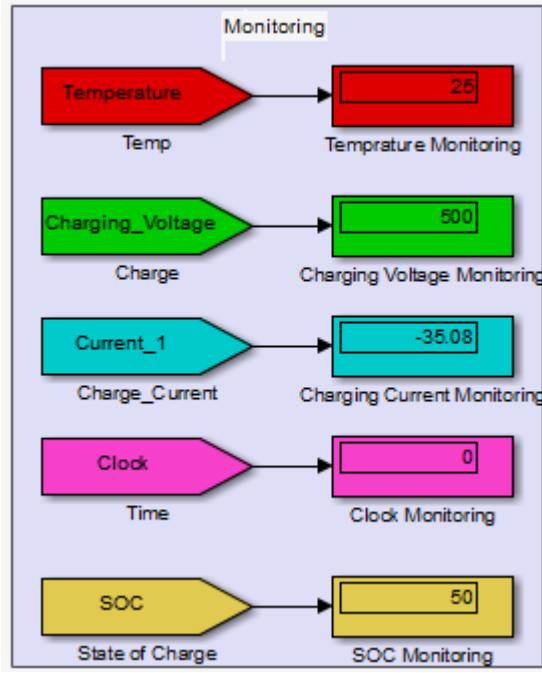
Çizelge 5.2. %10 - %100 SOC arası şarj testleri sonucu elde edilen akım verileri

Batarya Tipi/SOC	%10 SOC	%50 SOC	%100 SOC
Lityum demir fosfat	79,3 A	66,9 A	9 A
Nikel-Metal-Hidrit	124,8 A	33,09 A	8,06 A
Kurşun Asit	200,8 A	18,91 A	3,38 A
Nikel Kadmiyum	135,3 A	34,11 A	7,96 A

Çizelge 5.3. %10 ile %50 arası ve %50 ile %100 arası şarj süresi

Batarya Tipi/SOC	%10 SOC	%50 SOC	%100 SOC
Lityum demir fosfat	0	25dk	1saat 5dk
Nikel-Metal-Hidrit	0	41dk	1saat 55dk
Kurşun Asit	0	1saat 3dk	4saat
Nikel Kadmiyum	0	40dakika	2saat

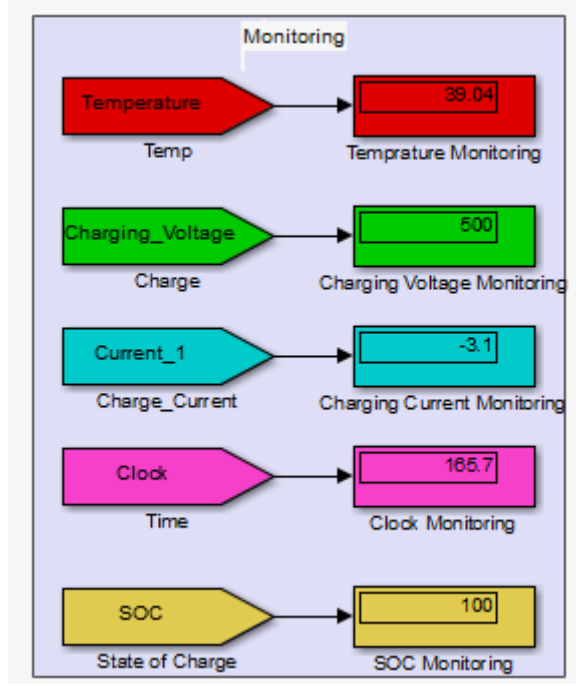
- **Test 5;** Bu testte tüm batarya paketlerinin SOC doluluk oranları %50 olarak belirlenmiştir. Diğer özellikleri (iç direnç, maksimum şarj gerilimi, maksimum deşarj akımı) sabit olarak kullanılacaktır. İlk olarak Lityum demir fosfat için SOC değeri simulasyon üzerinden %50 olarak seçilir ve bataryanın BYS ile şarjı başlatılır. BYS sistem kontrolünü tamamladıktan sonra SOC ve sıcaklık parametrelerinden doğrulama almasının ardından şarj işlemi başlamıştır. Lityum demir fosfat bataryanın başlangıç durumu şekil 5.37’de sunulmuştur.



Şekil 5.37. Lityum demir fosfat bataryanın SOC %50 iken durumu

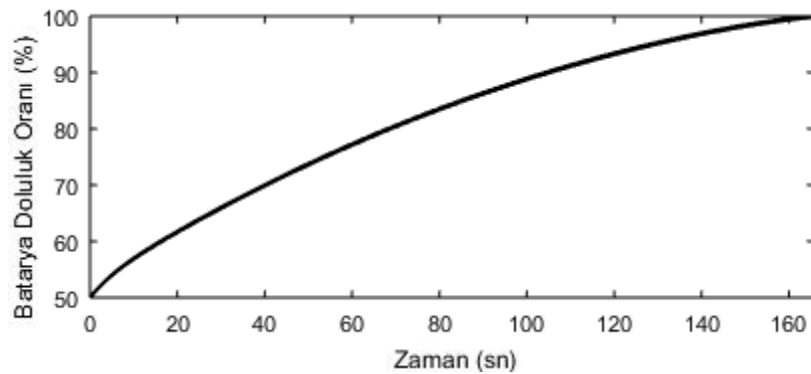
Simulasyon başlangıcında anlık bataryaların ihtiyacı olan akımın 35,08 amper olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca sistem sıcaklık 25 derece olarak ölçülmüştür.

Lityum demir fosfat bataryanın şarj testi tamamlandığında SOC değeri %100 olmuştur. Sıcaklık değerinin 39,04 derece olduğu ve anlık batarya akımı 3,1 amper olunca sistemin şarjı kestiği gözlemlenmiştir. T=165,7 (1 saat 3 dakika sonra)'de batarya %100 şarja ulaşmıştır. Bu durum şekil 5.38'de gösterilmiştir.

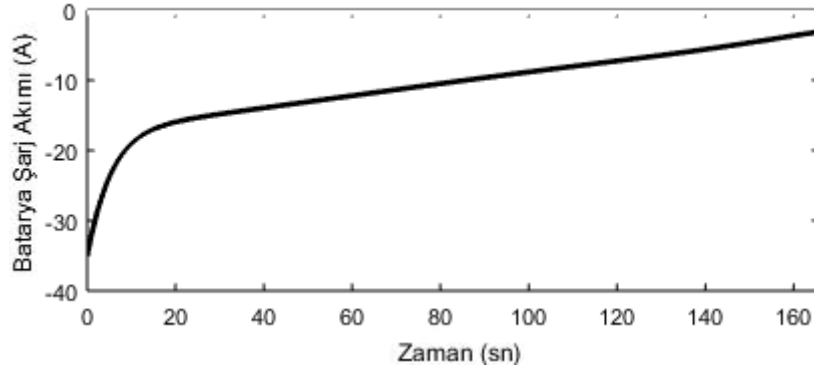


Şekil 5.38. Lityum demir fosfat bataryanın SOC %100 iken durumu

Simulasyon sonunda Lityum demir fosfat batarya için istenilen şarj uygulaması elde edilmiştir. SOC'nin %100 olması ile şekil 5.24 te verilen kontrol sisteminden SOC eşik kontrol öncülü çalışmış olup ve sistem şarjı kesmiştir. Kontrol sisteminin çıkışının bu durumda 0 olması beslemenin önünde bulunan mekanik switchlerin açılmasını sağladı ve sistemi besleyen DC gerilim devreden ayrılmış oldu. Kullanılan bataryanın %50'den %100 noktasına gelene kadar SOC ve şarj akımına ait grafikler şekil 5.39 ve 5.40'ta gösterilmiştir.



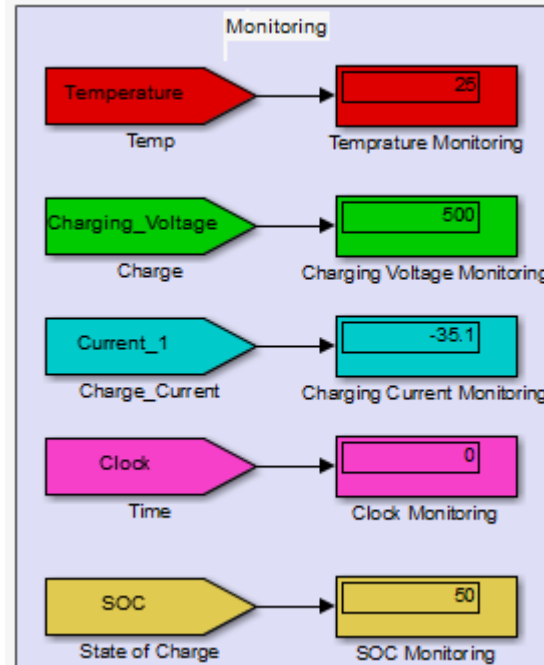
Şekil 5.39. Lityum demir fosfat batarya batarya SOC grafiği



Şekil 5.40. Lityum demir fosfat batarya şarj akım grafiği

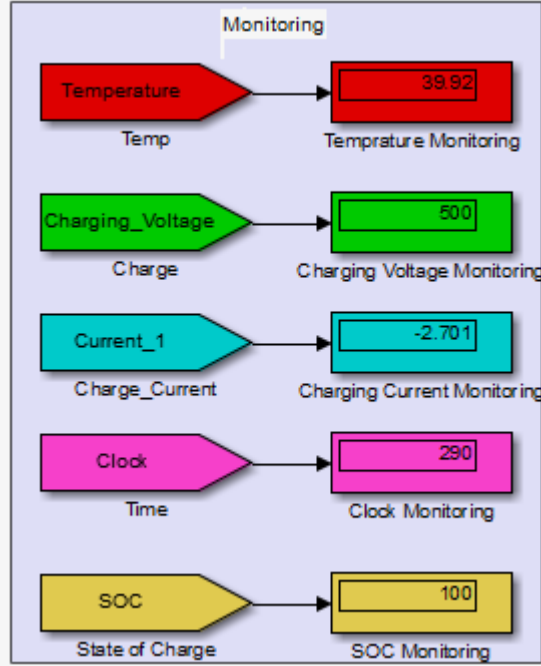
- **Test 6;** Nikel Metal Hidrit batarya %50 doluluk oranına sahip olarak teste başlayacak olup kendisine özgü parametreler test 2 ile birebir kullanılacaktır.

Simulasyon SOC ve sıcaklık kontrolünün istenilen eşik değerinin altında olması ile başlamıştır. Başlangıç anında sistem sıcaklığının 25 derece (oda sıcaklığı), anlık akımın 35,1 amper olduğu gözlemlenmiştir. DC besleme mevcut test için de 500V olarak ayarlanmıştır. Nikel metal hidrit bataryanın şarj başlangıç durumu şekil 5.41’de gösterilmiştir.



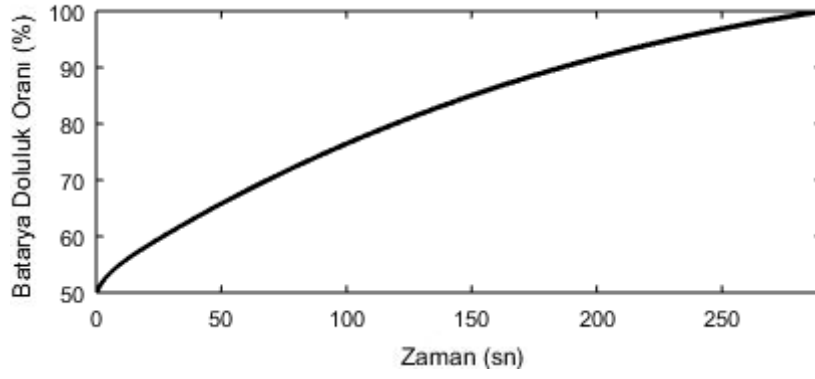
Şekil 5.41. Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %50 iken durumu

Nikel Metal Hidrit batarya şarj doluluk oranı %100 noktasına geldiğinde sistem tarafından şarj işlemi tamamlanmıştır. Bu andaki sıcaklık değeri 39,92 derece olarak ölçülmüştür. Ayrıca batarya grubunun tam doluluk düzeyine ulaştığı anda şarj akımının 2,7 amper olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan bataryanın %50 SOC değerinden %100 SOC değerine ulaşma süresi T=290 (1 saat 51 dakika) olarak ölçülmüş ve şekil 5.42’de sunulmuştur.

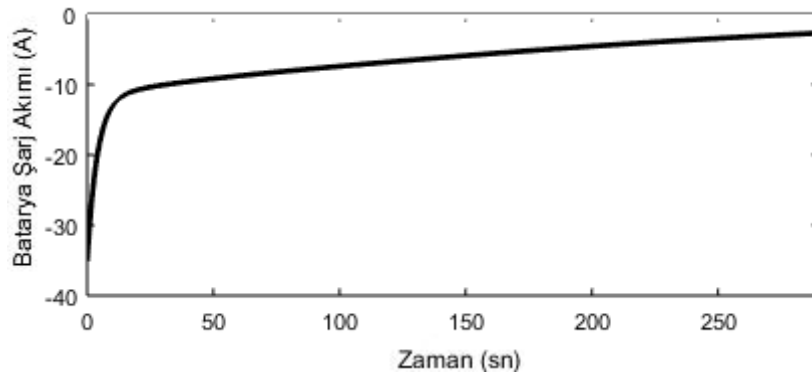


Şekil 5.42. Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %100 iken durumu

Simulasyon sonunda SOC eşik parametresinin %100 değerine ulaşmasından dolayı DC kaynak, kontrol mekanizması tarafından sistemden ayrılmıştır. Bu durum Nikel Metal Hidrit bataryanın şarjının düzgün bir biçimde tamamlandığı göstermektedir. DC kaynak sistemden mekanik swichler ile ayrılmıştır. Nikel Metal Hidrit bataryanın %50 ile %100 arası SOC değerinin zamana göre değişimi ve anlık batarya şarj akımının zamana göre değişim grafikleri şekil 5.43 ve 5.44’te gösterilmiştir.



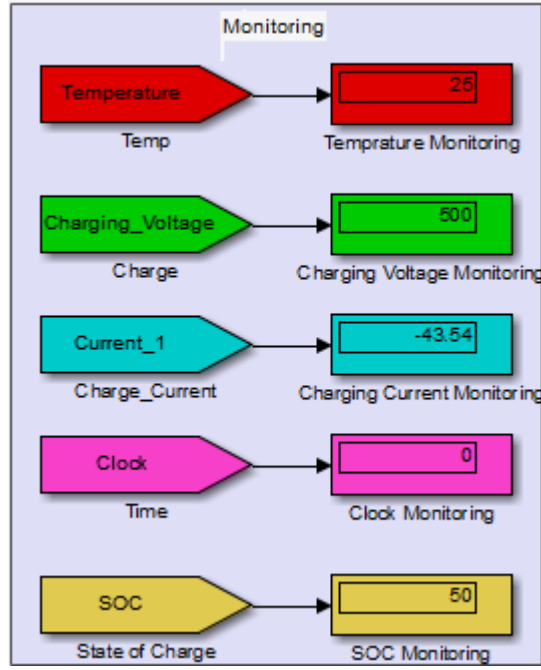
Şekil 5.43. Nikel Metal Hidrit batarya SOC grafiği



Şekil 5.44. Nikel Metal Hidrit batarya şarj akım grafiği

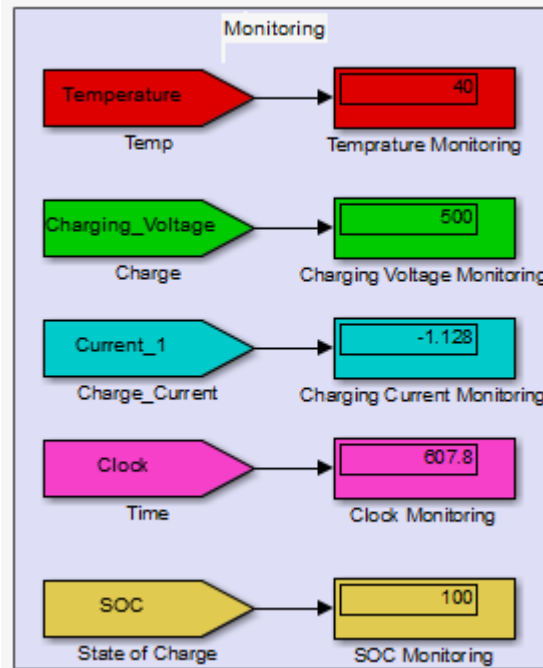
- **Test 7;** Bu testte Kurşun Asit bataryanın şarj grafiği incelenmiştir. Başlangıç doluluk oranı %50 olarak seçilmiş ve %100 doluluk oranına kadar şarj işlemi incelenmiştir.

Kurşun Asit batarya %50 şarj oranı ile başlatıldığında batarya şarj akımının 43,54 amper olduğu incelenmiştir. Şarj için gerekli olan DC kaynak 500V olarak seçilmiştir. Başlangıç koşullarında bataryaların sıcaklıkları oda sıcaklığına eşit olarak 25 derece ölçülmüştür. Kurşun asit bataryanın şarj başlangıç durumu şekil 5.45'te sunulmuştur.



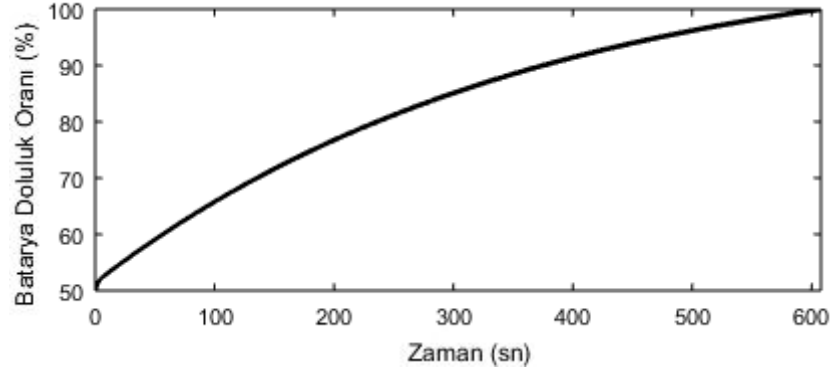
Şekil 5.45. Kurşun Asit bataryanın SOC %50 iken durumu

Batarya grubunun şarj işlemi tamamlandığı andaki süre $T=607,8$ (3 saat 53 dakika) olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca batarya şarj akımı, şarj işlemi tamamlandığı anda 1,128 amper olarak ölçülmüştür. Kurşun Asit batarya %50 doluluk oranından %100 doluluk oranına gelinceye kadar 40 derecelik bir sıcaklığa sahip olmuştur. %100 doluluk oranına geldiği anda sistem şarj işlemini sağlıklı bir şekilde tamamlamış ve son durumu şekil 5.46’da gösterilmiştir.

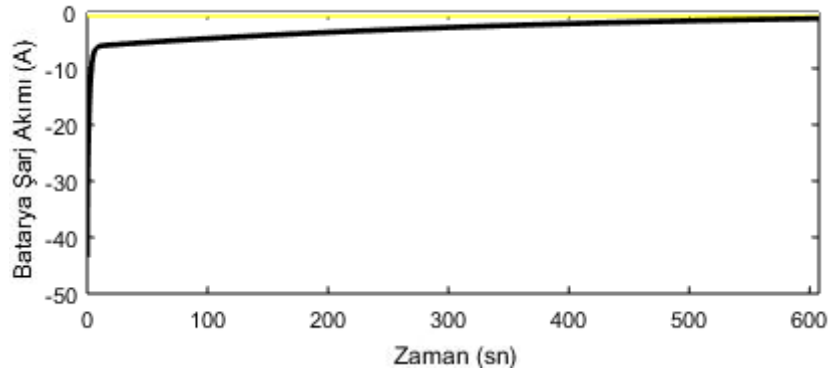


Şekil 5.46. Kurşun Asit bataryanın SOC %100 iken durumu

Kurşun Asit bataryanın SOC doluluk oranının %50'den %100'e gelinceye kadarki geçen süre grafiği ve şarj akım grafiği şekil 5.47 ve 5.48'de gösterilmiştir.



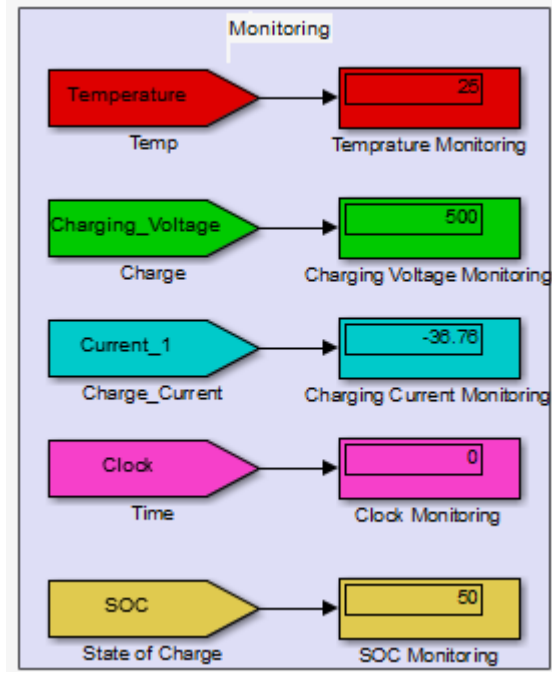
Şekil 5.47. Kurşun Asit batarya SOC grafiği



Şekil 5.48. Kurşun Asit batarya şarj akım grafiği

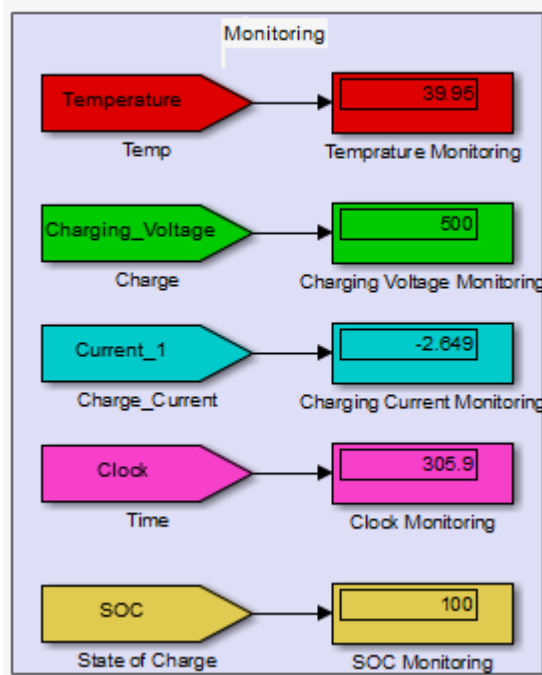
- **Test 8;** Son testte ise Nikel Kadmiyum bataryanın başlangıç SOC değeri %50 olarak belirlenmiştir. Bataryanın iç direnç, deşarj akımı ve full şarj voltajı gibi kendisine özgü parametreleri test 4 ile aynı kullanılmıştır.

Nikel Kadmiyum batarya şarj işlemine oda sıcaklığında başlatılmış ve bataryaların sıcaklık değerlerinin 25 derece olduğu ölçülmüştür. Kaynak gerilimi sabit olarak 500V'tur. Şarj başlangıcında ise bataryaların çektiği akım değerinin 36,76 amper olduğu görülmüş olup şekil 5.49'da başlangıç değerleri sunulmuştur.



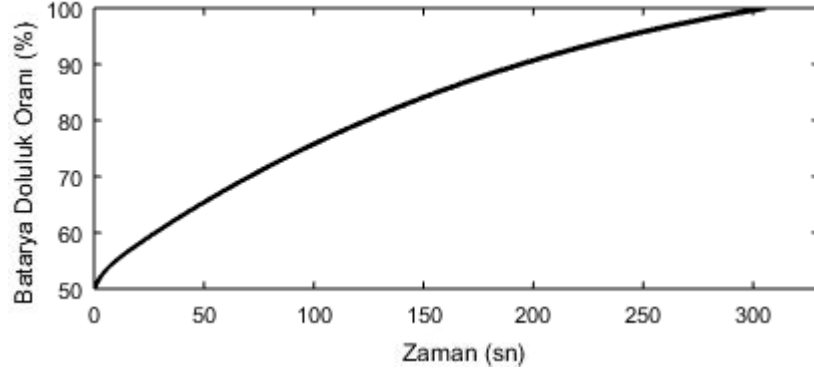
Şekil 5.49. Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %50 iken durumu

Kullanılan bataryanın tam şarj olması $T=305,9$ (1 saat 57 dakika sonra)'da gerçekleşmiştir. Ayrıca anlık akım 2,6 amper iken sistem güvenli olarak durmuştur. Nikel Kadmiyum batarya şarj sonunda 39,95 derecelik bir sıcaklık değerine ulaşmıştır. Bataryanın şarj tamamlandığı andaki değerleri şekil 5.50'de sunulmuştur.

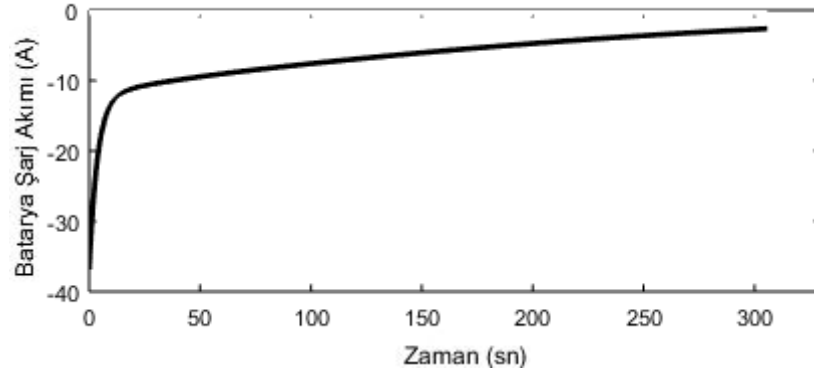


Şekil 5.50. Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %100 iken durumu

Nikel Kadmiyum bataryanın SOC doluluk oranının %50'den %100'e gelinceye kadarki geçen süre grafiği ve şarj akım grafiği şekil 5.51 ve 5.52'de gösterilmiştir.



Şekil 5.51. Nikel Kadmiyum batarya SOC grafiği



Şekil 5.52. Nikel Kadmiyum batarya şarj akım grafiği

Yukarıda yapılan 4 test sonucunda bataryaların sağlıklı bir şekilde şarj olduğu gözlemlenmiştir. Grafikler analiz edildiğinde ise her batarya paketinin %50 ve %100 SOC durumunda farklı anlık akıma sahip oldukları ve simulasyon süresinin her batarya paketinde farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum batarya paketlerinin her ne kadar eşit güçte seçilse bile iç direnci ve kimyasal yapılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Analizler sonucunda Lityum demir fosfat bataryanın 1 saat 3 dakikada, Nikel Metal Hidrit bataryanın 1 saat 51 dakikada, Kurşun Asit bataryanın 3 saat 53 dakikada ve Nikel Kadmiyum bataryanın 1 saat 57 dakikada şarj olduğu gözlemlenmektedir. Başlangıç koşullarının eşit olduğu durumda en hızlı şarj olan batarya tipi Lityum demir fosfat ve en yavaş şarj olan batarya ise Kurşun Asit olmuştur. Ayrıca en yüksek başlangıç akım kapasitesinin Kurşun Asit bataryada olduğu tespit

edilmiştir. Yapılan simulasyon sonucunda elde edilen akım verileri ve doluluk eşik seviyelerine ulaşıncaya kadar geçen süreler Çizelge 5.4 ve 5.5'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. %50 - %100 SOC arası şarj testleri sonucu elde edilen akım verileri

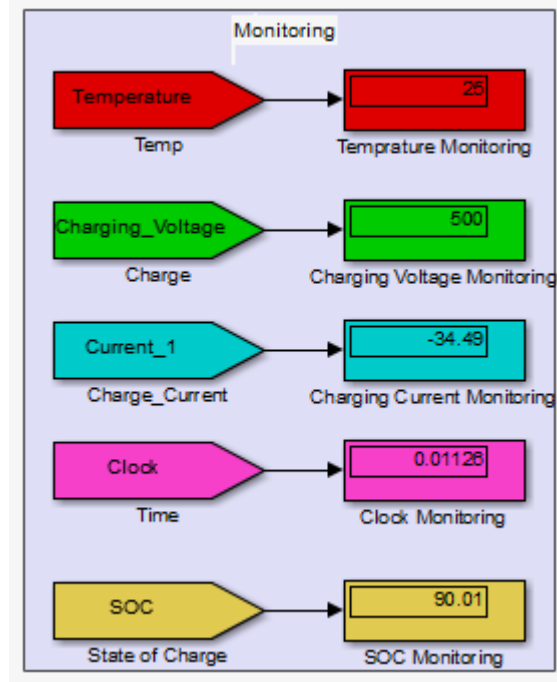
Batarya Tipi/SOC	%50 SOC	%100 SOC
Lityum demir fosfat	35,08 A	3,1 A
Nikel-Metal-Hidrit	35,1 A	2,7 A
Kurşun Asit	43,54 A	1,13 A
Nikel Kadmiyum	36,76 A	2,65 A

Çizelge 5.5. %50 - %100 SOC arası şarj zamanı

Batarya Tipi/SOC	%50 SOC	%100 SOC
Lityum demir fosfat	0	1saat 3dk
Nikel-Metal-Hidrit	0	1saat 51dk
Kurşun Asit	0	3saat 53dk
Nikel Kadmiyum	0	1saat 57dk

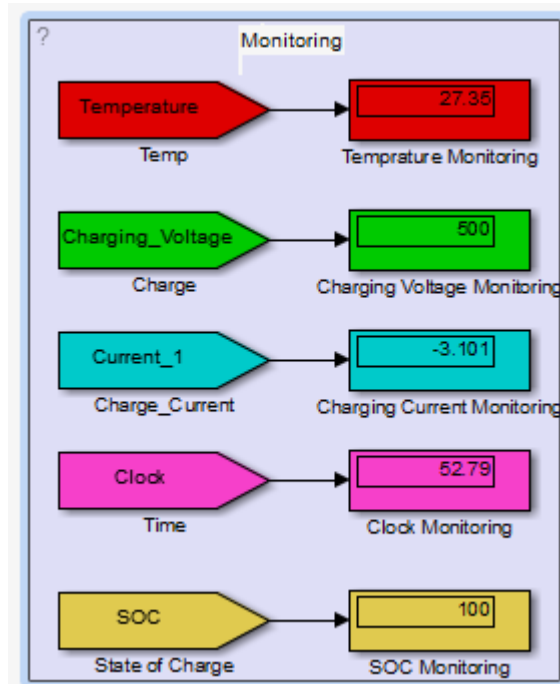
- **Test 9;** Yapılacak olan son şarj testinde tüm bataryalar için SOC değerleri %90 olarak belirlenmiştir. Bu testin yapılmasındaki amaç doluluk oranı yüksek iken tasarlanan BYS'nin düzgün ve minimum akım ile sistemi sağlıklı olarak şarj edebildiğini analiz etmektir. İlk olarak Lityum demir fosfat batarya tipi üzerinde bu test uygulanır. Batarya paketlerinin tüm parametreleri ilk testlerdeki gibi kendisine özgü yapısı kullanılmıştır.

Lityum demir fosfat batarya %90 SOC değeri ile başlatıldığı zaman anlık olarak 34,49 amper akım gücüne sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sistem oda sıcaklığında ve 500V DC besleme gerilim ile başlatılmıştır. Bataryanın başlangıç durumu şekil 5.53'te verilmiştir.



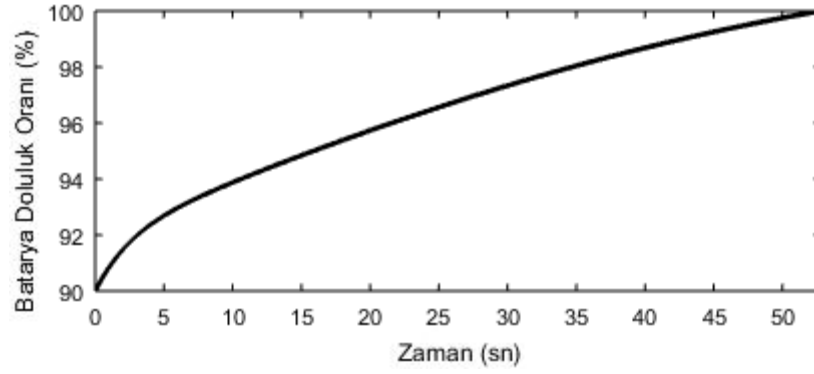
Şekil 5.53. Lityum demir fosfat bataryanın SOC %90 iken durumu

Lityum demir fosfat batarya şarj sonuna geldiğinde sistem sıcaklığının 27,35 derece olduğu, sistem kapanma anında anlık akımın 3,1 amper ve geçen sürenin $T=52,79$ (21 dakika) olduğu gözlemlenmiştir. Şarj başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Bataryanın şarj sonundaki durumu şekil 5.54’te gösterilmiştir.

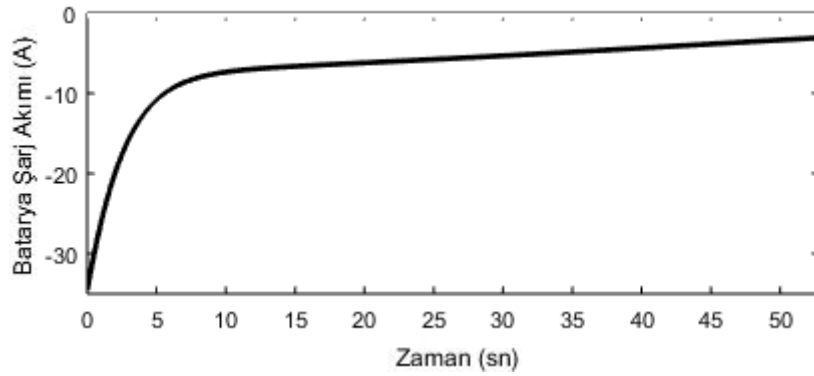


Şekil 5.54. Lityum demir fosfat bataryanın SOC %100 iken durumu

Lityum demir fosfat bataryanın SOC doluluk oranının %90'dan %100'e gelinceye kadarki geçen süre grafiği ve şarj akım grafiği şekil 5.55 ve 5.56'de gşsterilmiştir.



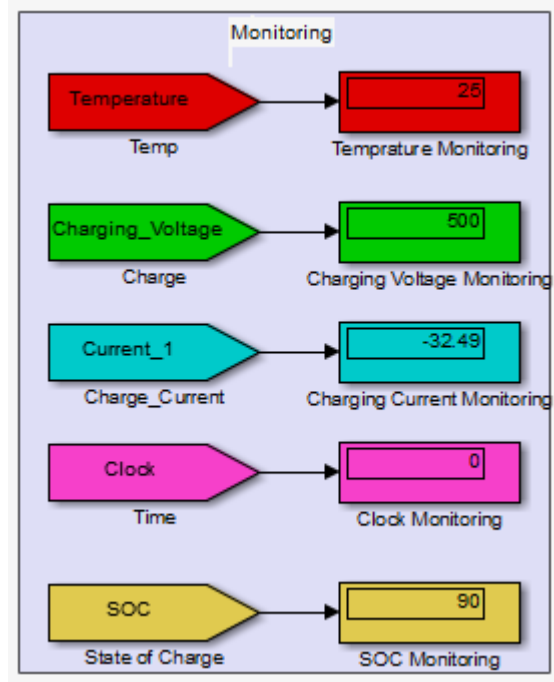
Şekil 5.55. Lityum demir fosfat batarya SOC grafiği



Şekil 5.56. Lityum demir fosfat batarya şarj akım grafiği

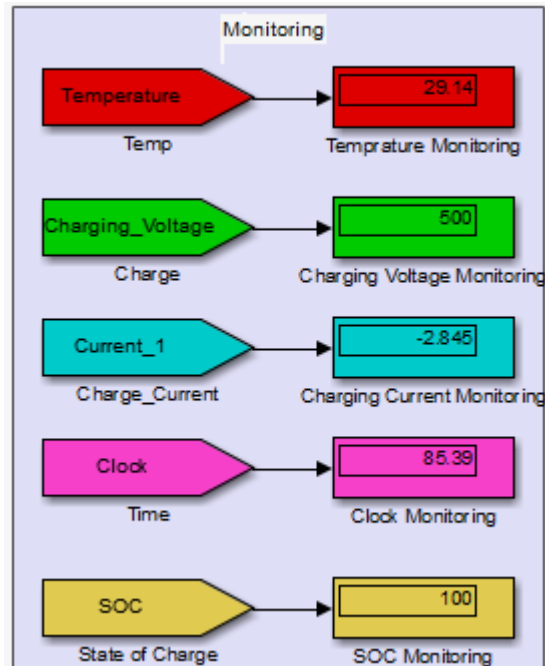
- **Test 10;** Batarya şarj testi için ikinci batarya grubu olarak Nikel metal hidrit seçilmiştir. Kullanılan bataryanın doluluk oranı %90 olarak ayarlanmış ve DC kaynak gerilimi 500V olarak seçilmiştir.

Batarya grubu şarj olmaya başlayınca başlangıç şarj akım değerinin 32,49 amper olduğu incelenmiştir. Ayrıca başlangıç sıcaklığı 25 derece olarak ölçölmüştür. Nikel metal hidrit bataryanın şarj başlangıç durumu şekil 5.57'de gşsterilmiştir.



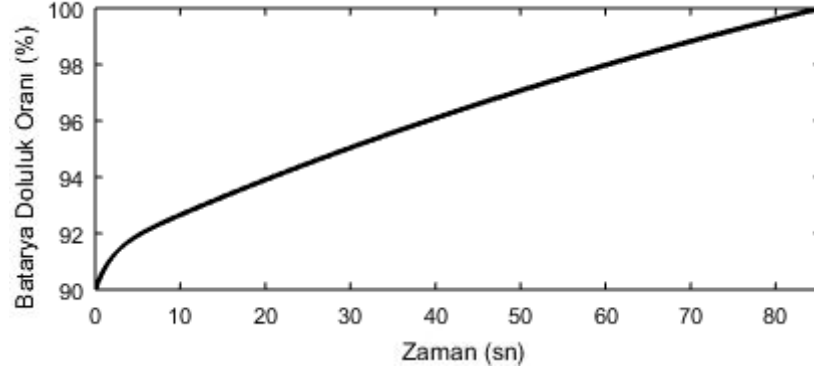
Şekil 5.57. Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %90 iken durumu

Nikel Metal Hidrit batarya %100 doluluk oranına geldiği anda SOC eşik parametresi çalışmış ve şarj kesilmiştir. Batarya doluluk oranı %90'dan %100 noktasına gelinceye kadar geçen süre $T=85,39$ (33 dakika)'dur. Bataryaların sıcaklıklarının 29,14 derece olduğu görülmüştür. Şarj işlemi başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Bataryanın şarj sonu değerleri şekil 5.58'de gösterilmiştir.

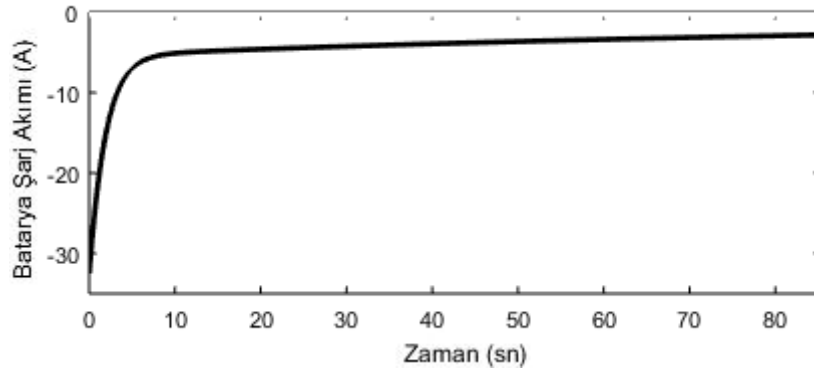


Şekil 5.58. Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC %100 iken durumu

Nikel Metal Hidrit bataryanın SOC doluluk oranının %90'dan %100'e gelinceye kadarki geçen süre grafiği ve şarj akım grafiği şekil 5.59 ve 5.60'da gösterilmiştir.



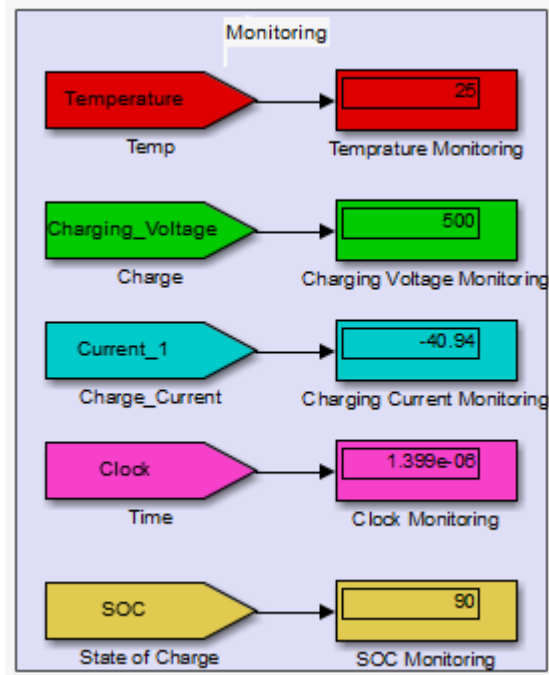
Şekil 5.59. Nikel Metal Hidrit batarya SOC grafiği



Şekil 5.60. Nikel Metal Hidrit batarya şarj akım grafiği

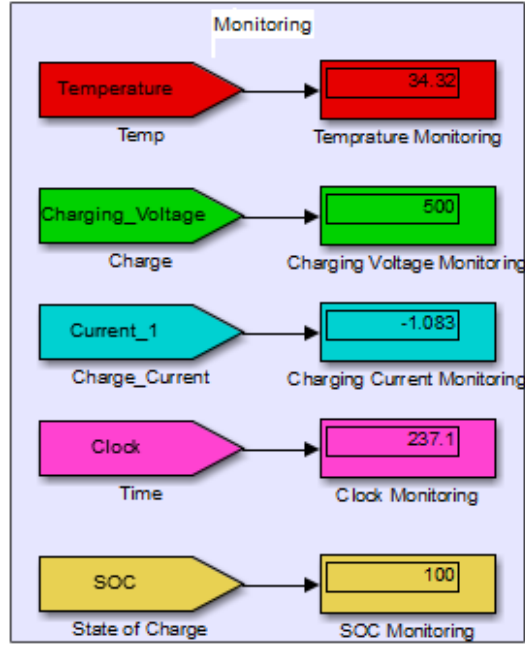
- **Test 11;** Kurşun asit batarya ile yapılacak olan bu testte batarya doluluk oranı %90 olarak seçilmiş ve batarya grubunun kendisine özgü parametreleri test 3 ile bire bir olarak seçilmiştir.

şarj işlemi başlatıldığı anda Kurşun Asit bataryanın DC kaynaktan 40,94 amper akım çektiği llmştş. Yapılan test oda sıcaklığında olduğu için bataryaların şarj başlangıç sıcaklık değerinin 25 derece olduğu gözlemlenmiştir. Bataryanın şarj başlangıç durumu şekil 5.61'de gösterilmiştir.



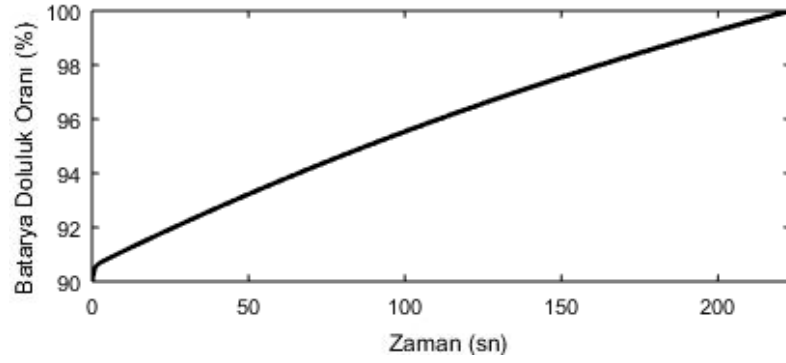
Şekil 5.61. Kurşun Asit bataryanın SOC %90 iken durumu

Kurşun asit batarya grubu maksimum şarj noktası olan %100 değerine ulaştığı anda kontrol sistemi tarafından şarj işlemi durdurulmuştur. Şarj işlemi durdurulmadan önceki batarya şarj akım değerinin 1,08 amper olduğu görülmüştür. Ayrıca bataryalar 34,42 dereceye kadar ısınmıştır. Kurşun asit bataryanın şarj işlemi tamamlanincaya kadar $T=237,1$ (1 saat 30 dakika) süresi geçmiştir. Şarj sonu değerler şekil 5.62’de gösterilmiştir.

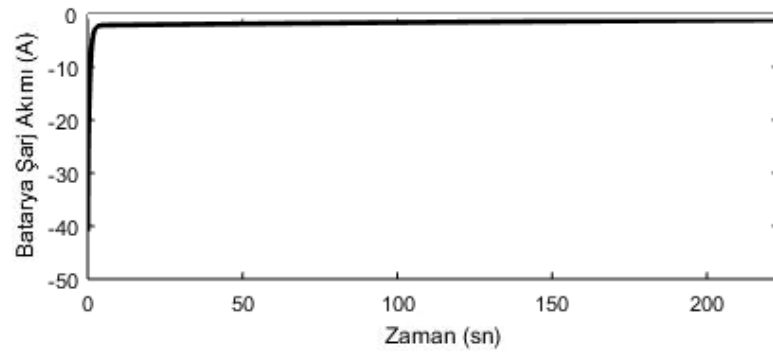


Şekil 5.62. Kurşun Asit bataryanın SOC %100 iken durumu

Kurşun Asit bataryanın SOC doluluk oranının %90'dan %100'e gelineceye kadarki geçen süre grafiği ve şarj akım grafiği şekil 5.63 ve 5.64'te gösterilmiştir.



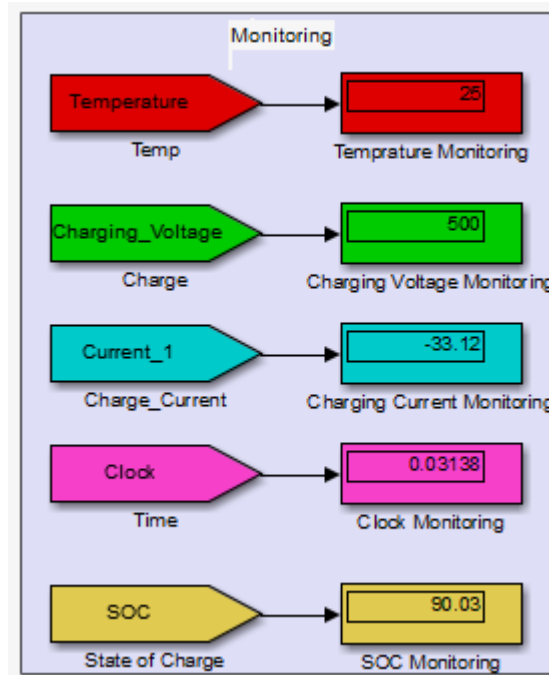
Şekil 5.63. Kurşun Asit batarya SOC grafiği



Şekil 5.64. Kurşun Asit batarya şarj akım grafiği

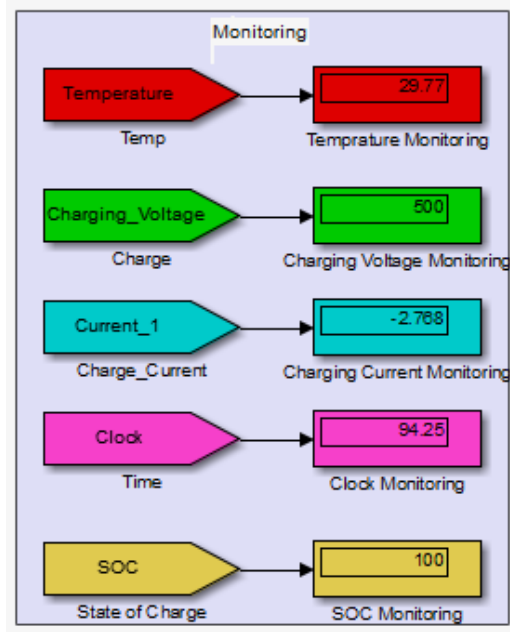
- **Test 12;** Bu testte Nikel Kadmiyum bataryanın %90 ile %100 arası şarj işlemi yapılacak ve veriler analiz edilecektir. Kullanılan batarya tipinin kendine özgü parametreleri test 8 ile aynı seçilmiştir.

Nikel Kadmiyum için şarj işlemi oda sıcaklığında başlamış olup bataryaların sıcaklıklarının 25 derece olduğu ölçülmüştür. Şarja başladığı anda bataryanın talep ettiği akım değeri 33,12 amperdir. Sistem sağlıklı olarak şarja başlamıştır. Şarj başlangıç değerleri şekil 5.65’te sunulmuştur.



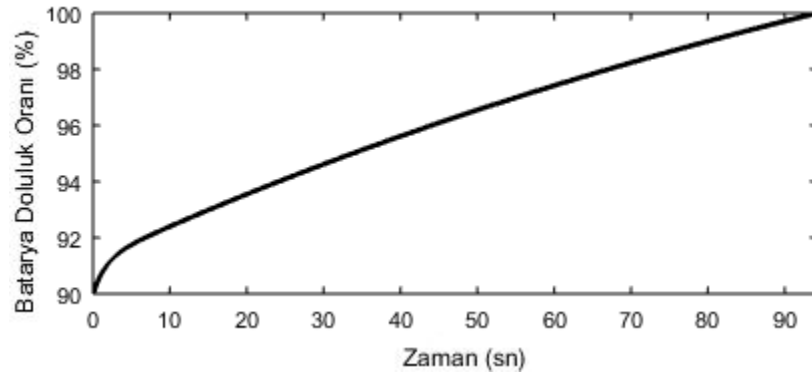
Şekil 5.65. Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %90 iken durumu

Nikel Kadmiyum batarya şarj sonuna geldiğinde sistem sıcaklığının 29,77 derece olduğu, sistem kapanma anında anlık akımın 2,76 amper ve geçen sürenin T=94,25 (36 dakika) olduğu gözlemlenmiştir. Şarj başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Şarj sonu değerleri şekil 5.66’da gösterilmiştir.

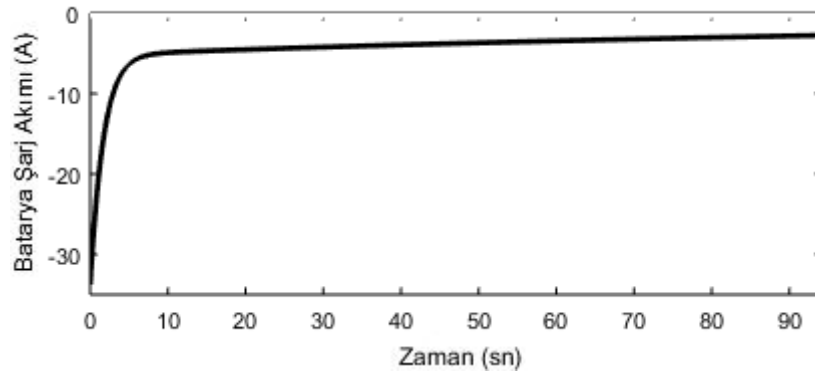


Şekil 5.66. Nikel Kadmiyum bataryanın SOC %100 iken durumu

Nikel Kadmiyum bataryanın SOC doluluk oranının %90'dan %100'e gelinceye kadarki geçen süre grafiği ve şarj akım grafiği şekil 5.67 ve 5.68'te gösterilmiştir.



Şekil 5.67. Nikel Kadmiyum batarya SOC grafiği



Şekil 5.68. Nikel Kadmiyum batarya şarj akım grafiği

Yukarıda yapılan 4 test sonucunda bataryaların sağlıklı bir şekilde şarj olduğu gözlemlenmiştir. Grafikler analiz edildiğinde ise her batarya paketinin %90 ve %100 SOC durumunda farklı anlık akıma sahip oldukları ve simulasyon süresinin her batarya paketinde farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum batarya paketlerinin her ne kadar eşit güçte seçilse bile iç direnci ve kimyasal yapılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Analizler sonucunda Lityum demir fosfat bataryanın 21 dakikada, Nikel Metal Hidrit bataryanın 33 dakikada, Kurşun Asit bataryanın 1 saat 30 dakikada ve Nikel Kadmiyum bataryanın 36 dakikada şarj olduğu gözlemlenmektedir. Başlangıç koşullarının eşit olduğu durumda en hızlı şarj olan batarya tipi Lityum demir fosfat ve en yavaş şarj olan batarya ise Kurşun Asit olmuştur. Ayrıca en yüksek başlangıç akım kapasitesinin Kurşun Asit bataryada olduğu tespit edilmiştir. Yapılan simulasyon sonucunda elde edilen akım verileri ve doluluk eşik seviyelerine ulaşmaya kadar geçen süreler Çizelge 5.6 ve 5.7’de sunulmuştur.

Çizelge 5.6. %90 - %100 SOC arası şarj testleri sonucu elde edilen akım verileri

Batarya Tipi/SOC	%90 SOC	%100 SOC
Lityum demir fosfat	34,49 A	3,1 A
Nikel-Metal-Hidrit	32,49 A	2,8 A
Kurşun Asit	50,94 A	1,08 A
Nikel Kadmiyum	33,12 A	2,76 A

Çizelge 5.7. %90 - %100 SOC arası şarj zamanı

Batarya Tipi/SOC	%90 SOC	%100 SOC
Lityum demir fosfat	0	21dk
Nikel-Metal-Hidrit	0	33dk
Kurşun Asit	0	1saat 30dk
Nikel Kadmiyum	0	36dk

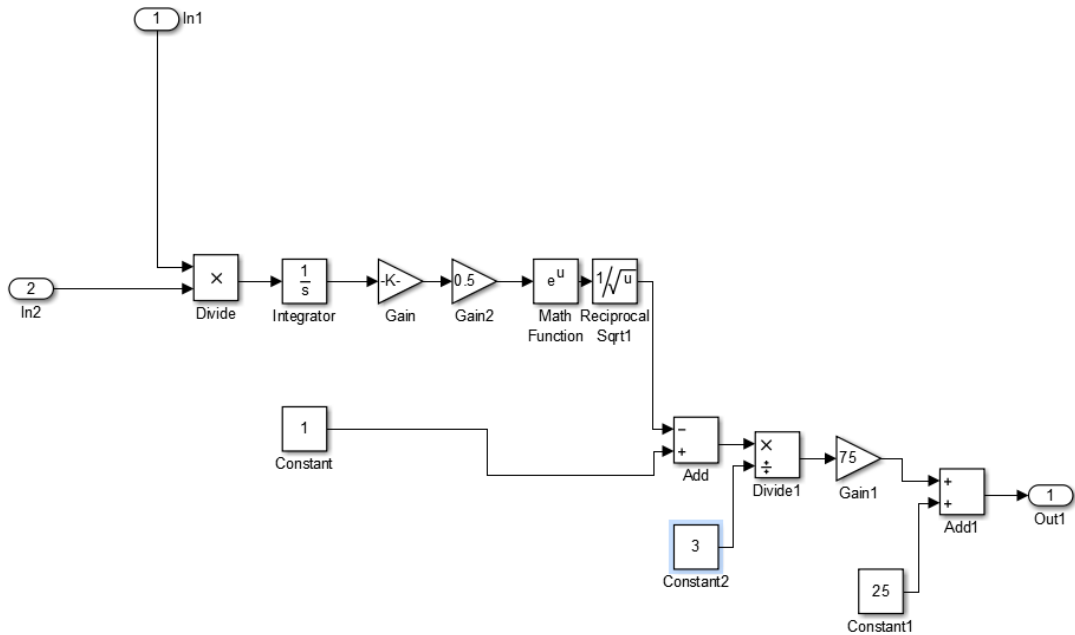
5.4.1.2. Sıcaklık kontrol testleri

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların şarj işlemi sırasında iç direncin etkisi ve yüksek gücün kutuplar arasında meydana getirdiği etki ile sıcaklıklarında artışlar meydana gelir. Bu artışlar BYS tarafından kontrol edilir ve istenilen değerler içerisinde

tutulmak zorundadır. Batarya ömrünün kısılmasına sebep olan en önemli etken sıcaklıktır. Batarya bünyesindeki gerilim ve sıcaklık farklılıkları kimyasal reaksiyonları etkileyen en önemli faktörlerdir. Sıcaklık arttıkça kimyasal reaksiyonların hızı da artar. Bu nedenle sıcaklık artışı pil performansını arttırıcı bir neden olarak görülse de, istenmeyen reaksiyonların da paralel biçimde artması sonucunda pil ömründe kayıplar ortaya çıkar.

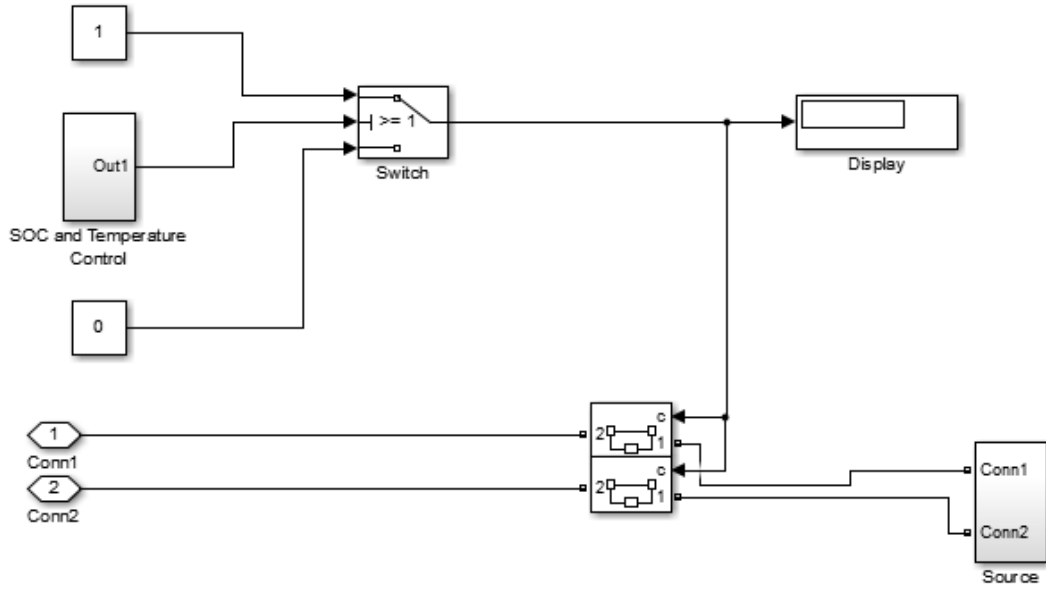
Yapılacak olan bu testte 4 farklı batarya tipi için eşik bir sıcaklık değeri belirlenecek ve bu belirlenen değer aşıldığı anda BYS sistemin şarjını kesecektir. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların +55 santigrat dereceye kadar çalışabilmesi teknik dökümanlarda mevcuttur fakat daha yüksek sıcaklıklarda pil çalışma performansı olumsuz yönde etkilenecektir.

Simulasyon üzerinde oluşturulan sıcaklık kontrol algoritması Şekil 5.69’da sunulmuştur. Oluşturulan bu algorithmada sıcaklık yükselişi sistem üzerinde geçen akımın yoğunluğuna bağlıdır. Akım kapasitesi ne kadar yüksek ise sıcaklık hesaplaması ve yükselmesi o derece değişecektir. Mevcut BYS’ye özgü oluşturulan bu sıcaklık algoritmasında koşul değeri 55 santigrat derece belirlenerek sistemin bu sıcaklığa gelince şarjı kesme durumu gözlenecektir. Bu BYS’nin SOT parametresinin kontrol özelliğidir.



Şekil 5.69. BYS sıcaklık algoritması

Önceki testlerde SOC ve sıcaklık algoritmasının birlikte çalışma durumunu analiz etmiştik. SOC değeri %100 noktasına geldiğinde kaynak gerilimi BYS tarafından sistemden ayrılır ve şarj işlemi tamamlanır. Aynı kontrol mekanizması içerisinde kullanılan sıcaklık kontrol mekanizması bu kez öncelikli olarak kullanılacaktır. SOC değeri tüm bataryalar için %10 değerinden başlatılacaktır. Sıcaklık değeri ise ortam sıcaklığı olan 25 dereceden başlatılacaktır. SOC ve sıcaklık kontrol mekanizmasına ait kontrol sistemi şekil 5.70’de gösterilmiştir.

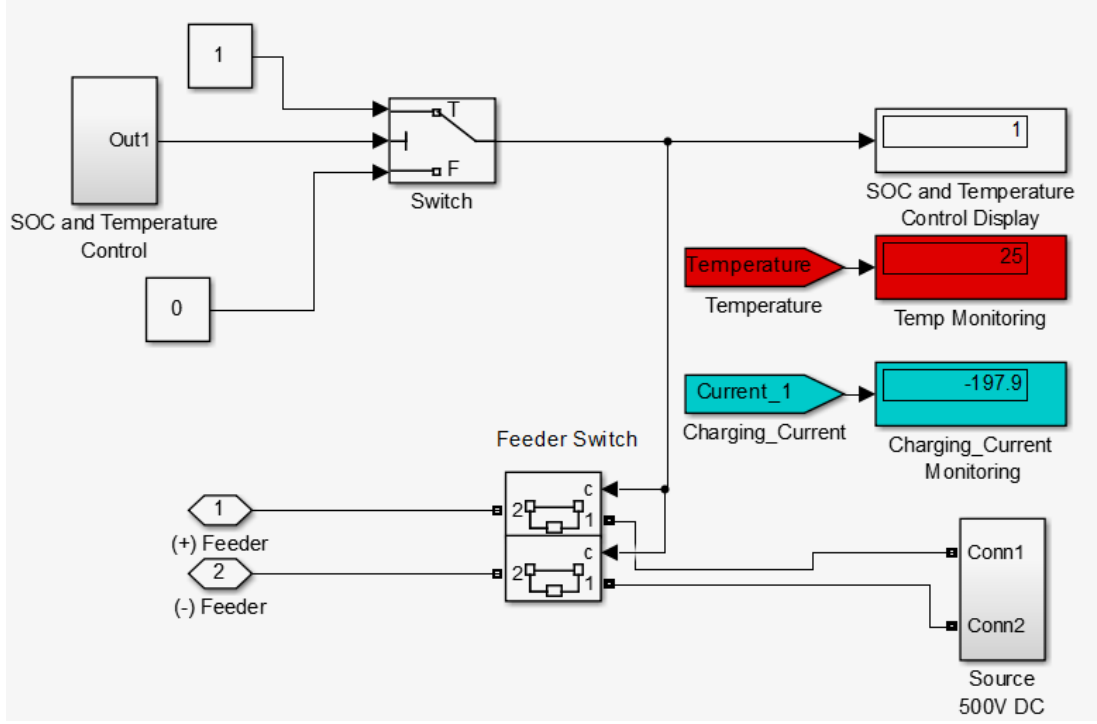


Şekil 5.70. SOC ve sıcaklık kontrol sistemi

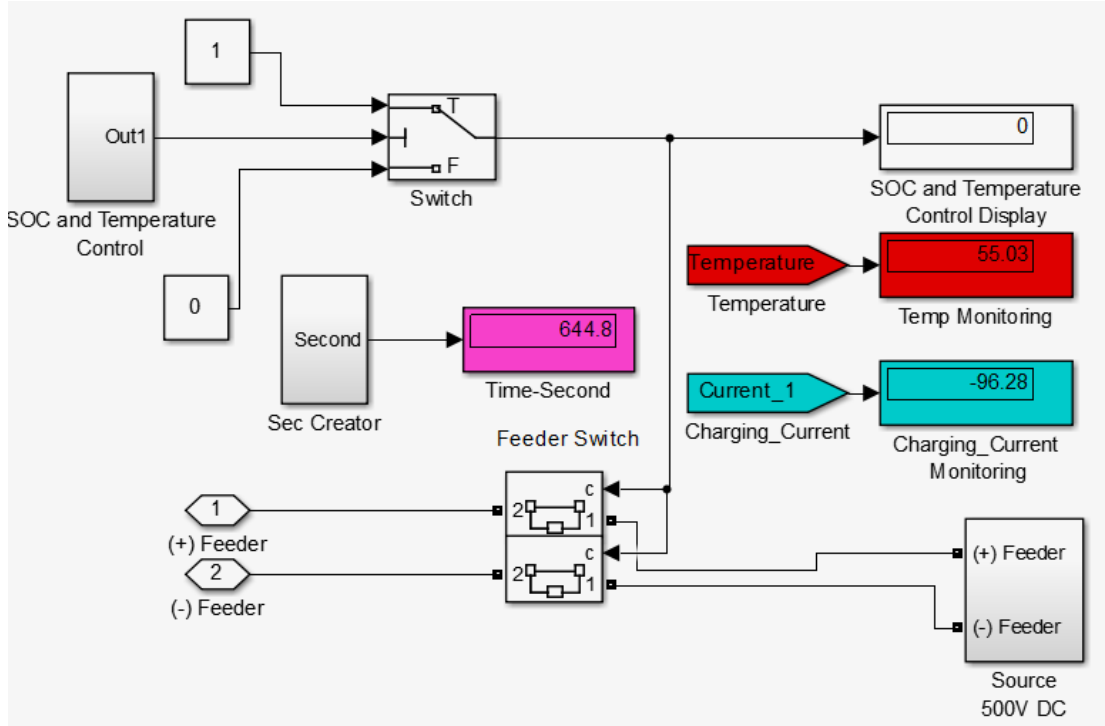
Burada eğer sıcaklık istenilen seviyede ise Display’den “ 1 ” çıkışı görünecek ve Conn1 ile Conn2’nin bağlı olduğu DC besleme ile sistem arasındaki mekanik switchlerin kapalı olması devam edecektir. Eğer sistem 55 santigrat dereceyi aşar ise Display’den “ 0 ” görünecek ve mekanik switchler açılacaktır. Bu sayede sistem, besleme ile arasındaki devreyi açacak ve bataryaların güvenliği sağlanacaktır.

- **Test 1;** Bu testte Lityum demir fosfat bataryanın SOC seviyesi %10 olarak seçilir ve özgül parametreler sabit bırakılır. Sıcaklık değeri 25-55 santigrat derece arasında gözlemler yapılır. Bu testi gerçekleştirebilmek için ve sıcaklık değerini artırabilmek için sistem yüksek akım ile şarj edilmektedir.

Test başlangıcında bataryaların sıcaklığının 25 derece, SOC değerinin %10 ve şarj akımının 197 amper olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca sistem istenilen sıcaklık değerleri arasında olduğu için display çıkışı “ 1 ” olarak gözlemlenmektedir. Bu durum şarj işleminin devam ettiğini göstermektedir ve şekil 5.71’de test başlangıç durumu gösterilmiştir.



Şekil 5.71. Lityum demir fosfat şarj başlangıcı sıcaklık kontrol durumu

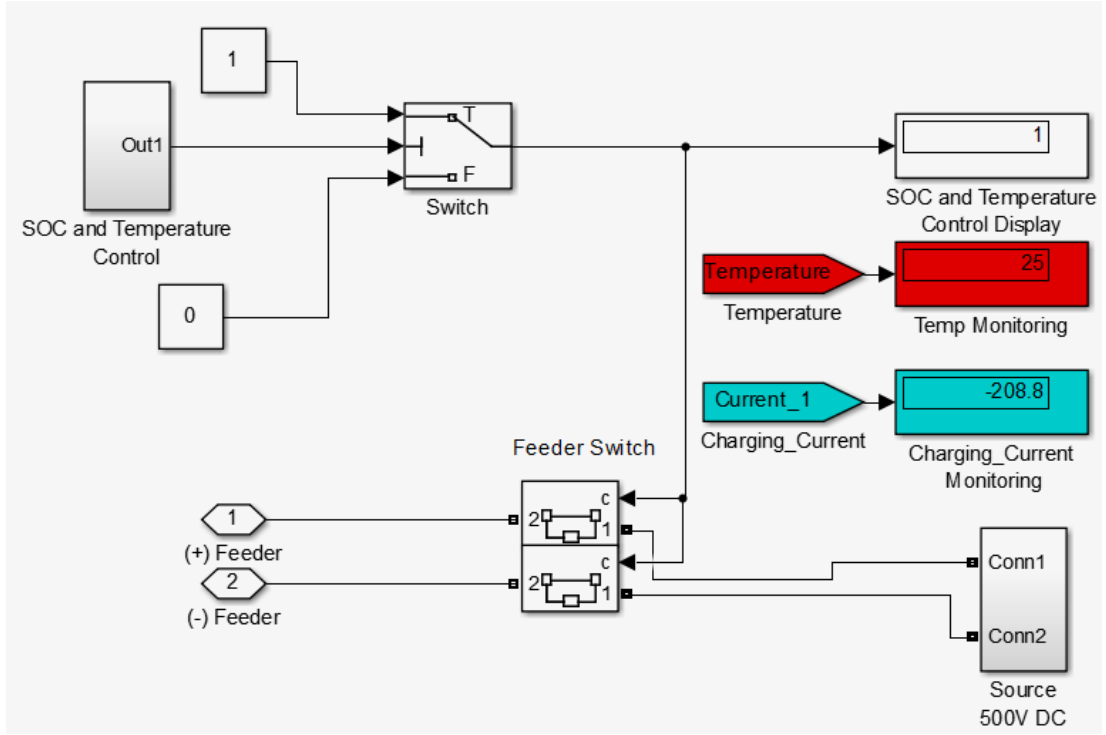


Şekil 5.72. Lityum demir fosfat şarj sonu sıcaklık durumu

Test, BYS tarafından sıcaklığın 55 santigrat dereceye geldiğinde sonlandırılmaktadır. Kontrol mekanizmasında sıcaklık değeri için belirlenen eşik değeri aşılmıca sistem artık şarjın tehlikeli olduğu analizini yapıp şekil 5.72’de gözlemlendiği gibi mekanik switchleri devre dışı bırakmaktadır. Bu sayede DC besleme devreden ayrılmaktadır. Bu andaki akım değeri 111,6 amperdir. Test başarılı olmuştur. Lityum demir fosfat batarya 25 santigrat dereceden 55 santigrat dereceye 644,8 (4 saat 7 dakika) noktasında ulaşmıştır.

- **Test 2;** Bu testte Nikel Metal Hidrit bataryanın sıcaklık analizi yapılmaktadır. Batarya grubunun oda sıcaklığından belirlenen maksimum sıcaklık olan 55 dereceye kadar şarj işleminin devam etmesi sağlanacaktır.

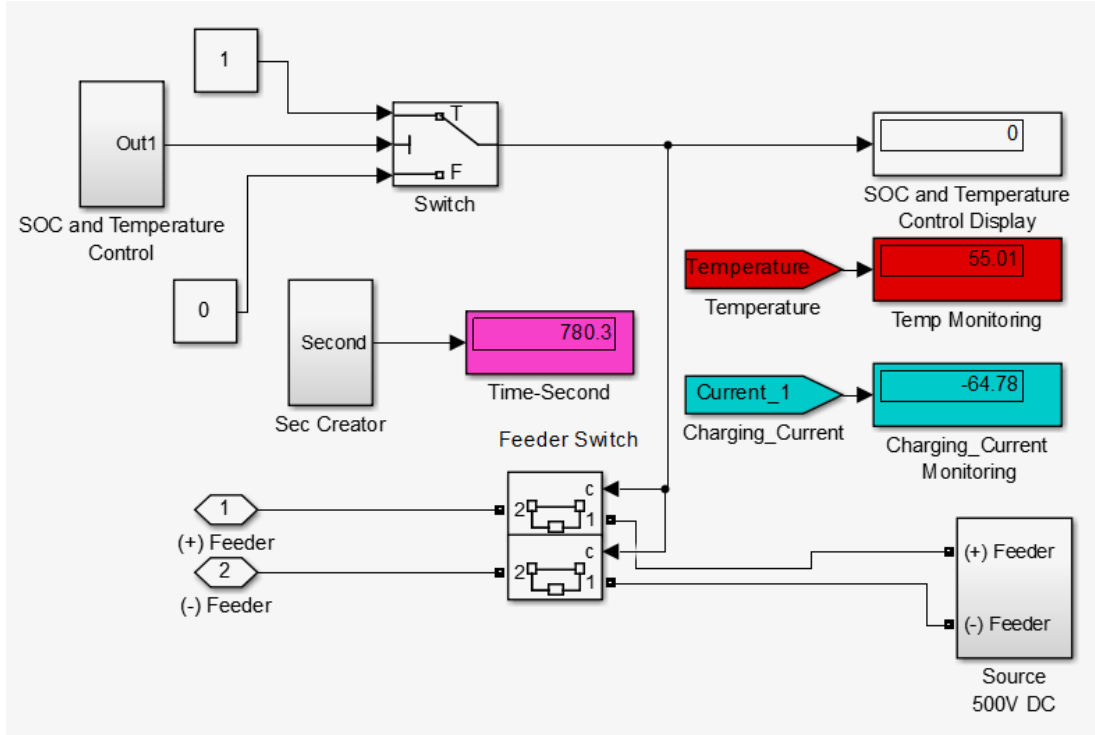
Batarya grubunun başlangıç doluluk oranı %10 olarak seçilmiştir. Şarj işlemi başlatıldığı anda Nikel Metal Hidrit bataryanın şarj akımının 208,8 amper olduğu gözlemlenmiştir. Bataryaların sıcaklık değerlerinin eşik değeri altında kalması switch çıkışının “ 1 ” olmasını ve şarj işleminin devam ettirilmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.73. Nikel Metal Hidrit şarj başlangıcı sıcaklık kontrol durumu

Nikel Metal Hidrit batarya, test sonunda 55 santigrat dereceye ulaşmıştır. Kontrol mekanizması tarafından belirlenen eşik sıcaklık değerine ulaşıldığından şarj işlemi sonlandırılmıştır. Kontrol switch çıkışının “ 0 ” olduğu şekil 5.74’te görülmüştür. Bu sayede DC besleme devreden ayrılmaktadır.

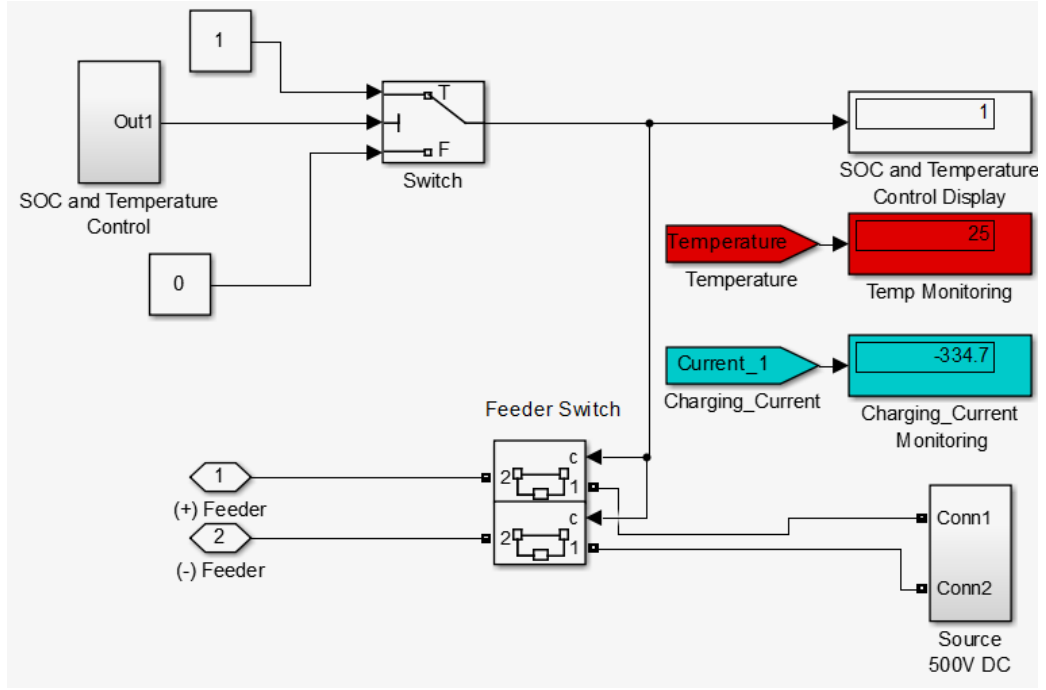
Nikel Metal Hidrit bataryanın şarj işlemi sonlandırıldığı anda $T = 780,3$ (5 saat)’dir. Şarj işleminin sonlandırıldığı anda bataryanın şarj akım değeri 64,78 amper olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.74. Nikel Metal Hidrit şarj sonu sıcaklık durumu

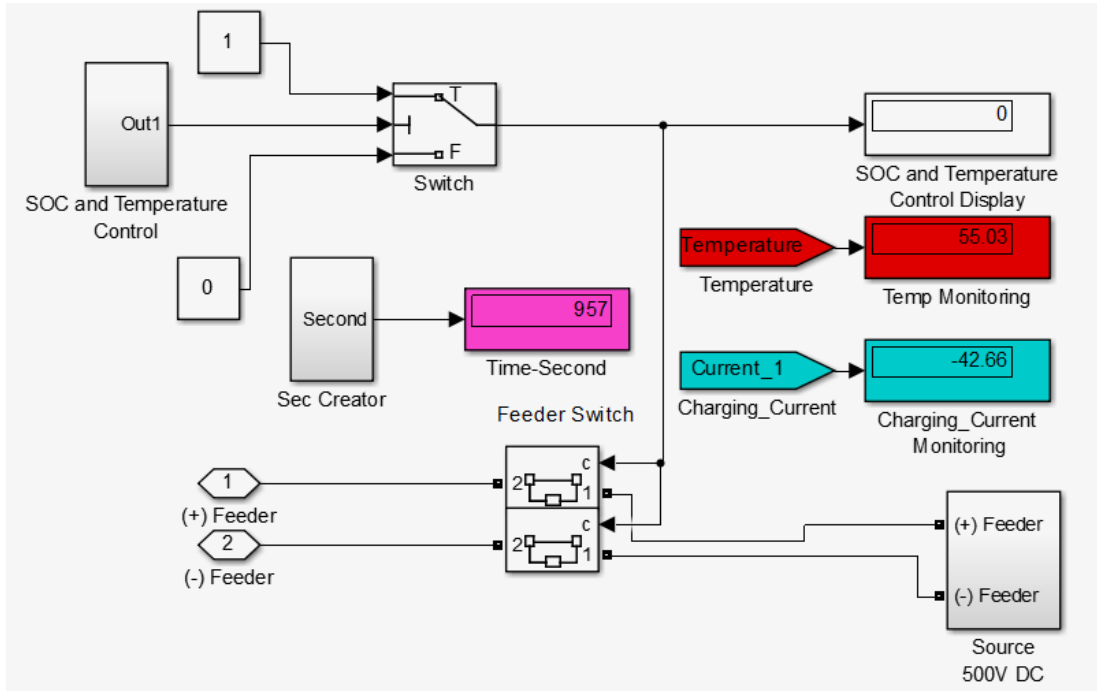
- **Test 3;** Kurşun Asit batarya bu testte 25 santigrat dereceden 55 santigrat dereceye kadar şarj edilecektir. Batarya sıcaklıklarının 55 santigrat dereceye gelince şarj işleminin kesilmesi sağlanacaktır.

Kurşun Asit batarya şarj işlemine başlatıldığı anda batarya doluluk oranı %10'dur. Ayrıca oda sıcaklığında gerçekleştirilen test sırasında başlangıç sıcaklığı 25 santigrat derece olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık değerinin eşik parametresinin altında olmasından dolayı diplay çıkışı "1" olarak görülmekte ve şarj işlemi sağlıklı olarak başlatılmaktadır. Şarj işlemi başlatıldığında bataryanın şarj akım değerinin 334,4 amper olduğu görülmüştür.



Şekil 5.75. Kurşun Asit şarj başlangıcı sıcaklık kontrol durumu

Kurşun Asit batarya sıcaklığının 55 santigrat dereceye ulaşması ile test işlemi sonlandırılmıştır. Batarya sıcaklığının eşik sıcaklık değerine eşit olması ile switch çıkışı şekil 5.76’da görüldüğü gibi “ 0 ” olmuştur. Bu sayede DC kaynak sistemden ayrılmış ve şarj durdurulmuştur. Şarj işleminin durdurulduğu anda batarya şarj akımı 42,66 amper olduğu ölçülmüş ve toplam test süresi T=957 (6 saat 6 dakika)’dır.

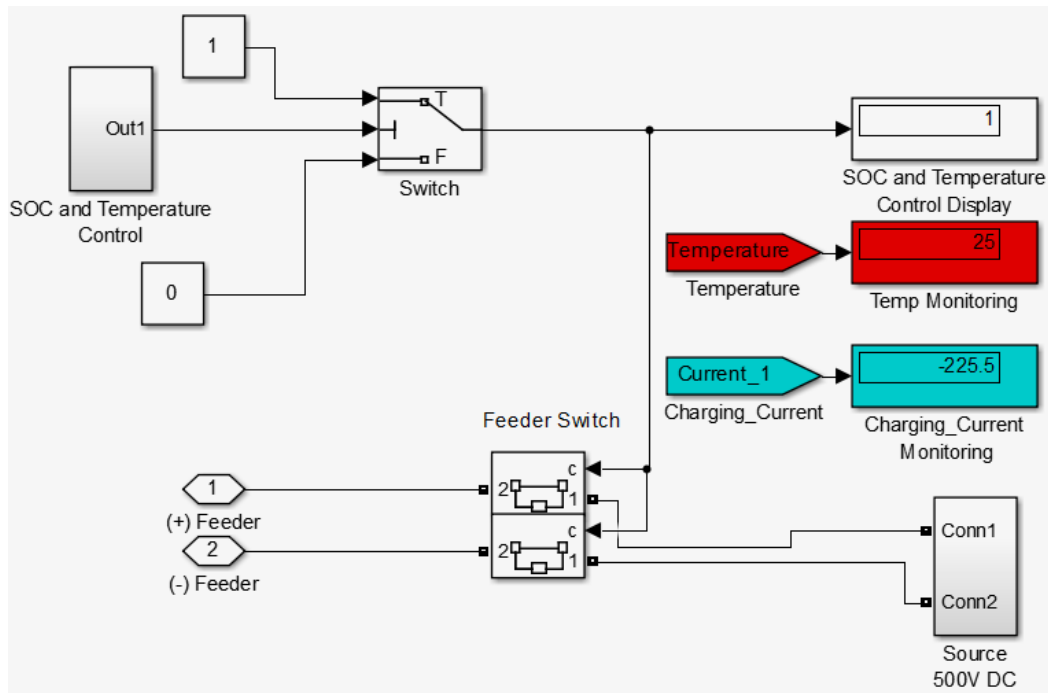


Şekil 5.76. Kurşun Asit şarj sonu sıcaklık durumu

- **Test 4;** Sıcaklık testlerinde son olarak Nikel Kadmiyum batarya grubu kullanılmıştır. Kullanılan bataryanın kendisine özgü parametreleri diğer testlerde olduğu gibi kullanılmıştır.

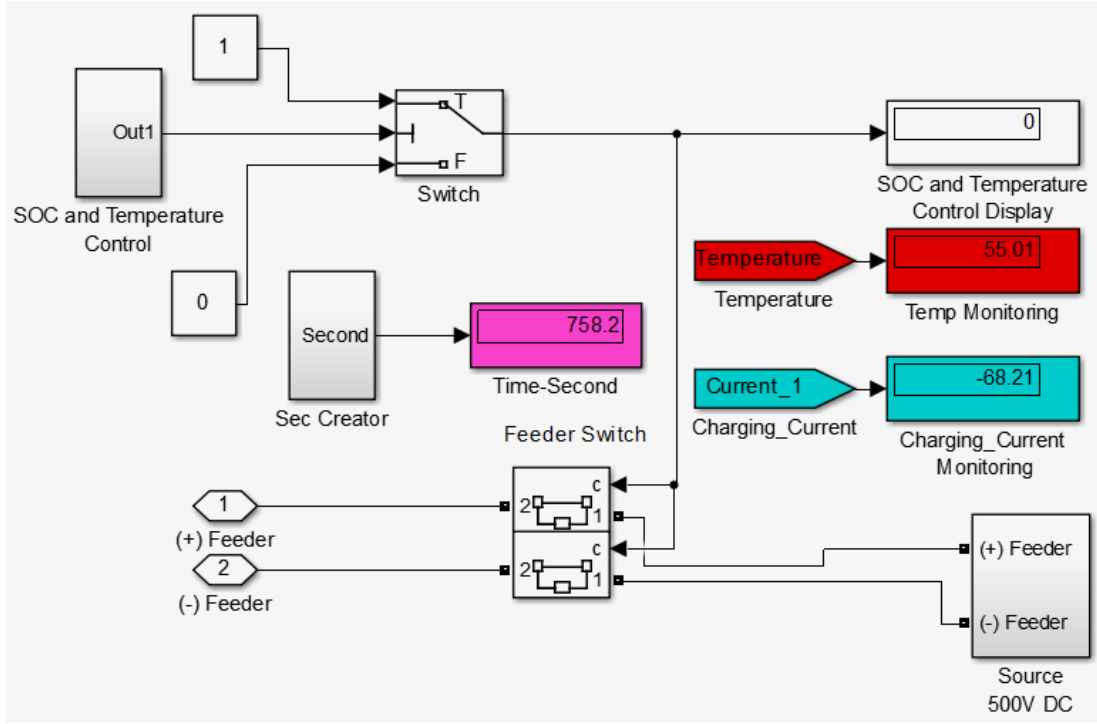
Nikel Kadmiyum batarya şarj işlemine oda sıcaklığında başlatılmış ve başlangıç sıcaklığı 25 santigrat derece olarak ölçülmüştür. SOC değerinin %10 olarak seçilmesi ile şarj işlemi başlatılmıştır. Kullanılan bataryanın şarj akımı başlangıç anında 225,5 amper olarak ölçülmüştür.

Nikel Kadmiyum bataryanın başlangıç sıcaklığının belirlenen eşik sıcaklık altında kalması ile şarj işlemi sağlıklı olarak başlamış ve display çıkışının “ 1 ” olduğu görülmüştür.



Şekil 5.77. Nikel Kadmiyum şarj başlangıcı sıcaklık kontrol durumu

Nikel Kadmiyum batarya test sonunda 55 santigrat dereceye ulaşmıştır. Test sonlandırıldığında şekil 5.78’de görülebileceği üzere mekanik switch çıkışı “ 0 ” olmuştur. Bu durum şarj işlemi sırasında sıcaklığın artık tehlikeli boyuta geldiğini ve şarj işleminin sağlıklı olarak sonlandırılması gerektiğini belirtmektedir. Şarj işleminin sonlandırıldığı anda batarya şarj akımı 68,21 amper olarak ölçülmüştür. Şarj işlemi sırasında geçen süre $T=758,2$ (4 saat 50 dakika)’dır.



Şekil 5.78. Nikel Kadmiyum şarj sonu sıcaklık durumu

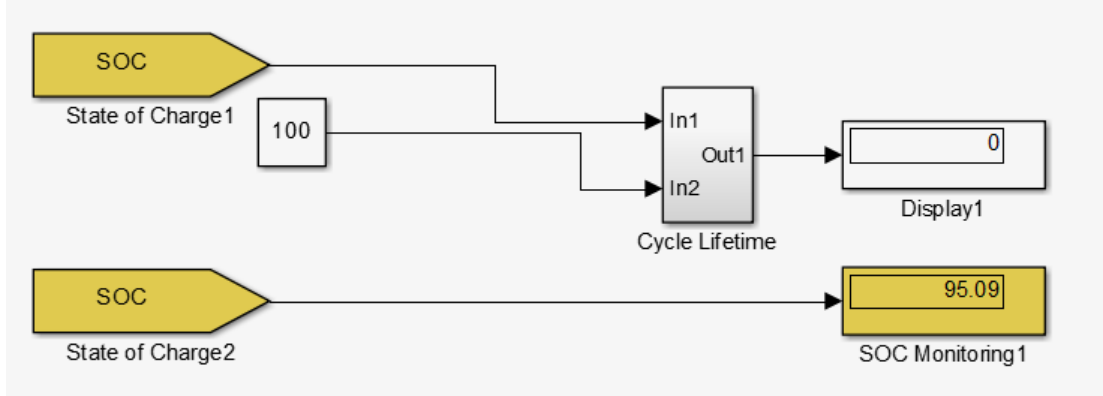
BYS sıcaklık kontrol çalışması için yapılan 4 testte farklı kimyalara sahip 4 bataryanın SOC değeri %10 seçilmiş ve test başlatılmıştır. Testler 25 santigrat derece oda sıcaklığında başlamış ve 55 santigrat dereceye ulaşınca BYS koruma modu tarafından sonlandırılmıştır. Şarj esnasında meydana gelecek ani yükselmeler tasarlanan BYS tarafından kontrol edilmiş ve sağlıklı olarak sistem güvenliği sağlanmıştır. Yapılan bu 4 testin sonucunun başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

5.4.1.3. Çevrim testleri

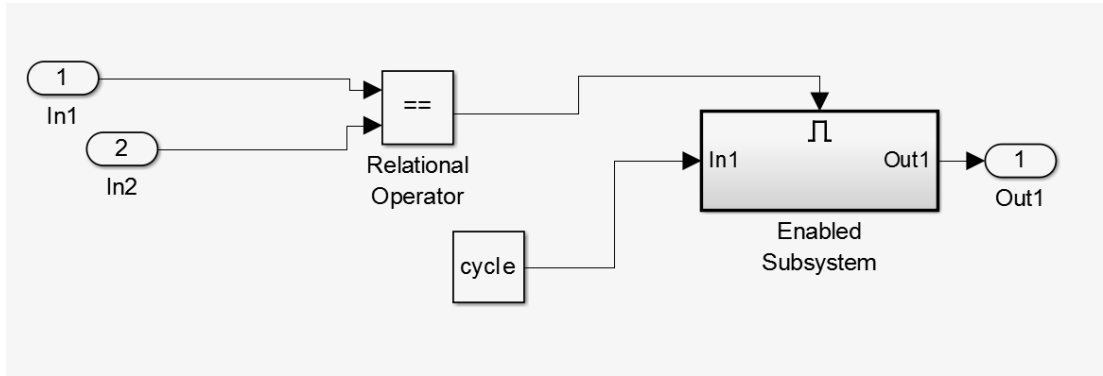
Batarya teknolojisinde her batarya üreticisi ürettiği bataryanın kullanım ömrünü teknik dökümanlarda göstermektedir. Batarya ömrü aşırı şarj veya deşarj durumlarından, sıcaklıktan etkilenmektedir. Elektrikli araç teknolojisinde ise bataryaların her %100 SOC değerine ulaştığında ömründen azalmalar meydana gelmektedir. Bu durum kullanıcıya örnek olarak 3000-6000 çevrim ömrü adı altında sunulmaktadır.

Tasarladığımız BYS’de de benzer bir algoritma kullanılmıştır. 4 farklı kimyaya sahip bataryaların SOC değerleri %100 konumuna geldiğinde batarya ömürleri

kullanıcılara gösterilmektedir. Bu durum her şarjda ömrü bir yükselterek veya belirlenen bir ömürden geriye doğru sayılarak yapılmaktadır. BYS çalışmasında oluşturulan algoritma her şarj %100 seviyesine geldiğinde ömrü 1 artırmaya yöneliktir. Kullanılan batarya kimyasına göre kullanıcıya belirli bir ömür aralığı sunulmakta ve bu aralığa yaklaşıldığını kullanıcı displayler üzerinden öğrenecektir. Şekil 5.79 ve 5.80’de BYS üzerinde kullanılan “cycle lifetime” algoritması gösterilmiştir.



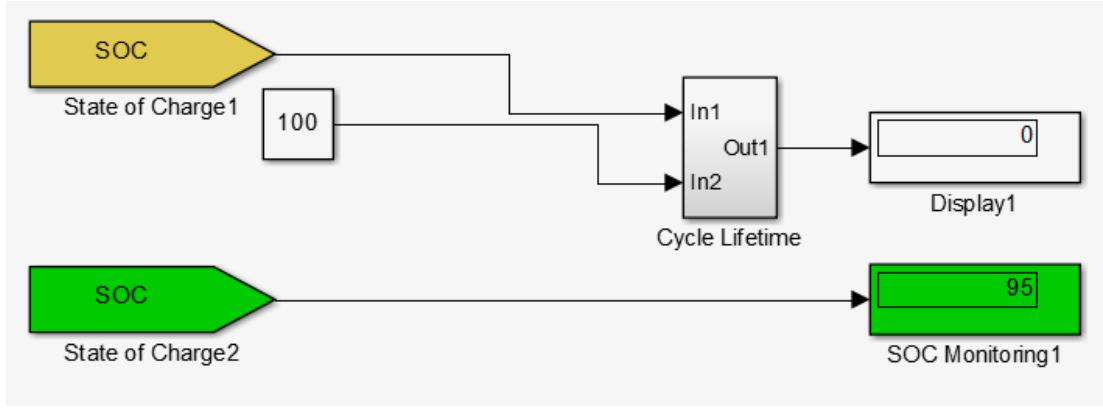
Şekil 5.79. Cycle Lifetime kontrol yapısı



Şekil 5.80. Cycle Lifetime kontrol içyapısı

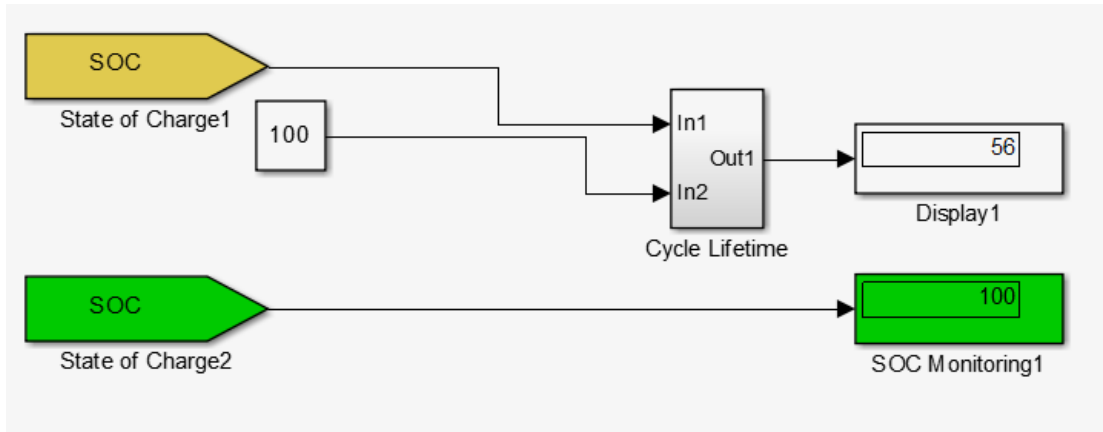
- **Test 1;** Bu testte Lityum demir fosfat bataryanın SOC seviyesi %95 olarak seçilir. Bu değer %100’e yakın olması ve hızlı sürede %100 değere gelince cycle lifetime’dan artış gözlenmesi için oluşturulmuştur.

Test başlangıcında sistem sıcaklığının 25 derece, SOC değerinin %95 olarak ayarlanmıştır. Test öncesi bataryanın 55 kere şarj olduğu bilinmektedir. Şarj başlangıcındaki cycle durumu şekil 5.81’de gösterilmiştir.



Şekil 5.81. Lityum demir fosfat Cycle Lifetime başlangıç durumu

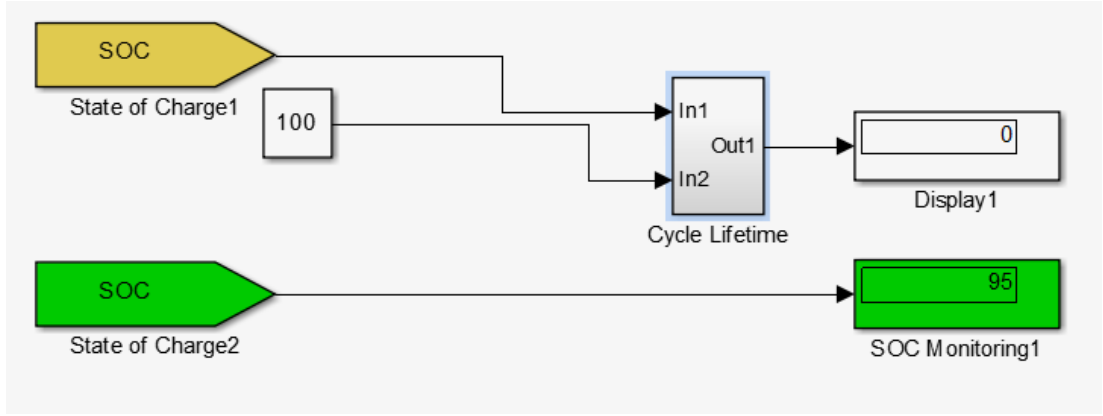
Test sonunda Lityum demir fosfat bataryanın SOC değeri %100'e ulaşmıştır. Displayde gözlemlenen değer ise 56 olmuştur. SOC değeri %100'e geldiği zaman lifetime 1 artış göstermektedir ve bu durum bataryanın ömründen 1 azaldığı anlamına gelmektedir. Test sonu cycle durumu şekil 5.82'de gösterilmiştir.



Şekil 5.82. Lityum demir fosfat Cycle Lifetime son durum

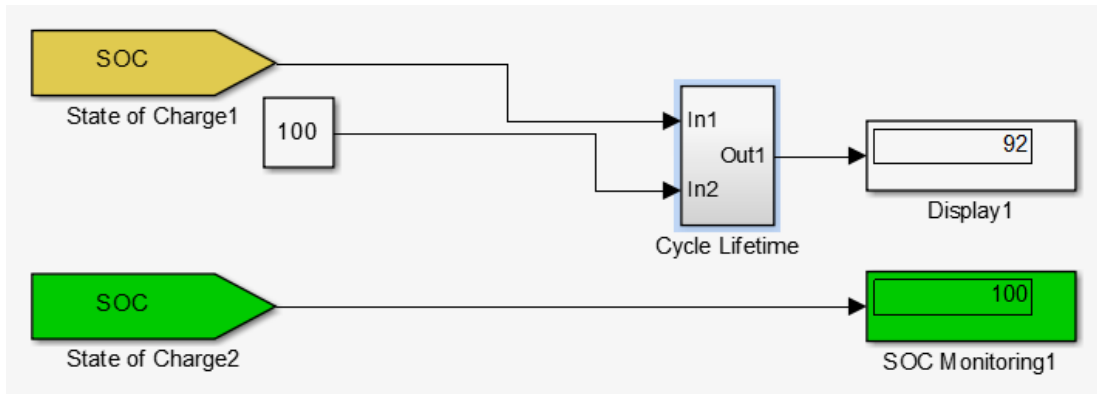
- **Test 2;** Nikel Metal Hidrit bataryanın şarj ömrünün analizi için başlangıç doluluk oranı %95 olarak seçilmiştir. Batarya doluluk oranı %100 noktasına geldiğinde display çıkışında bataryanın kaç kere şarj olduğu yansıtılacaktır.

Nikel Metal Hidrit batarya daha önce 91 kere şarj edilmiş olduğu bilinmekte ve SOC değeri %100 değerine ulaştığı anda cycle lifetime değerinin 1 arttığı gözlemlenmiştir. Başlangıçtaki cycle durumu şekil 5.83'te gösterilmiştir.



Şekil 5.83. Nikel Metal Hidrit Cycle Lifetime başlangıç durumu

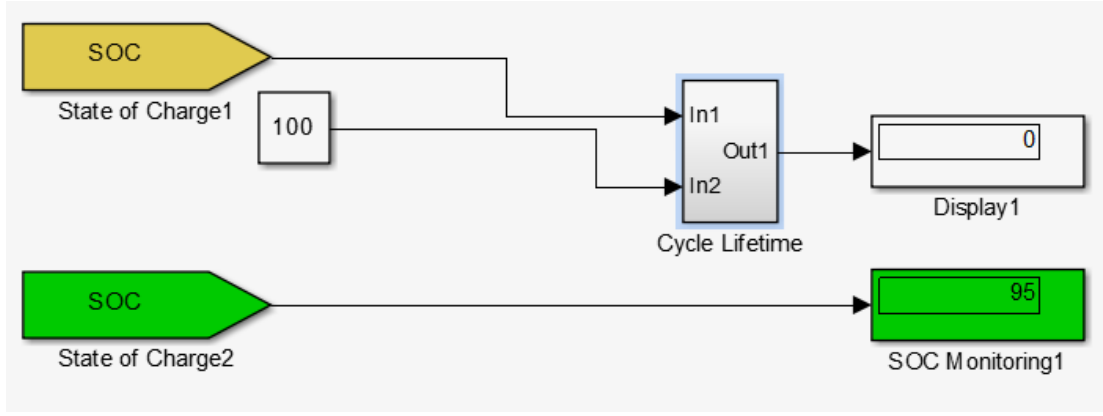
Nikel Metal Hidrit şarj testi sonunda cycle lifetime parametresinin 1 artarak 92 olduğu görülmüştür. Bu durumda bataryanın 92 kere şarj olduğu ve şarj ömrünün 1 azaldığı anlaşılmaktadır. Test sonu cycle durumu şekil 5.84’te gösterilmiştir.



Şekil 5.84. Nikel Metal Hidrit Cycle Lifetime son durum

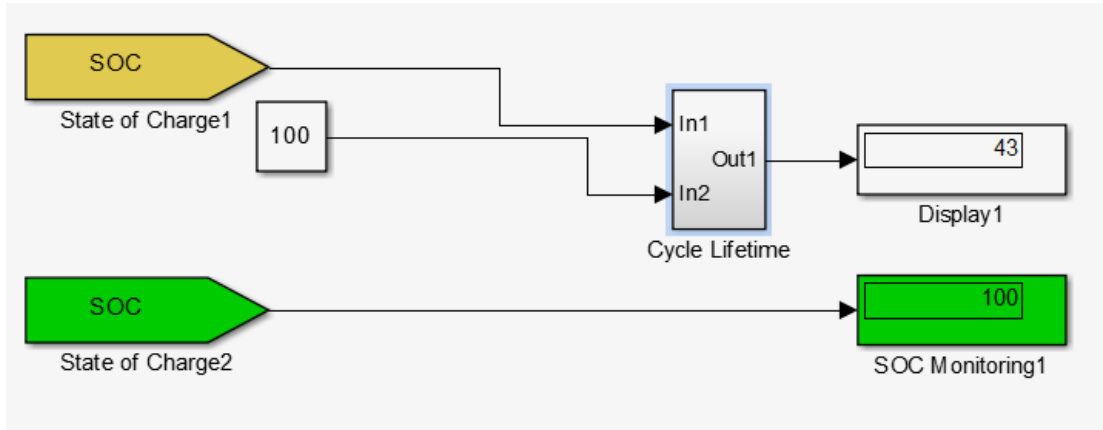
- **Test 3;** Bu testte Kurşun Asit batarya üzerinde şarj işlemi uygulanmakta ve şarj ömrünün azalma durumu analiz edilmektedir. Kullanılan bataryanın başlangıç SOC değeri %95 olarak seçilmiş ve %100’e kadar şarj edilmesi sağlanmıştır.

Nikel Metal Hidrit bataryanın daha önce 42 kere şarj edilmiş olduğu bilinmektedir ve SOC değeri %100 değerine ulaştığı anda cycle lifetime değerinin 1 arttığı gözlemlenmiştir. Test başlangıç durumu şekil 5.85’te gösterilmiştir.



Şekil 5.85. Kurşun Asit Cycle Lifetime başlangıç durumu

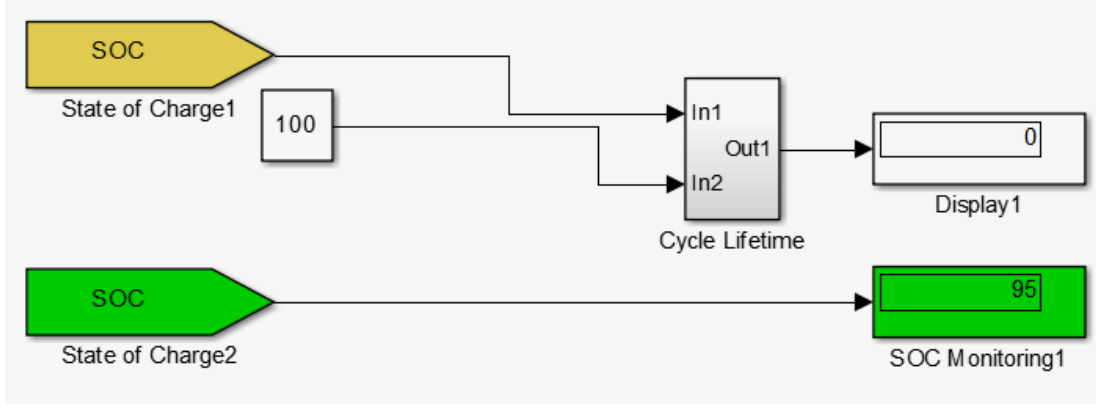
Kurşun asit bataryanın doluluk oranının %100'e ulaşması ile şarj işlemi tamamlanmıştır. Cycle lifetime çıkışının 43 olduğu görülmüştür. Bataryanın şarj işleminin 43 kere yapıldığı ve şarj ömrünün bir kez daha azaldığı gözlemlenmiştir. Test sonu cycle durumu şekil 5.86'da gösterilmiştir.



Şekil 5.86. Kurşun Asit Cycle Lifetime son durum

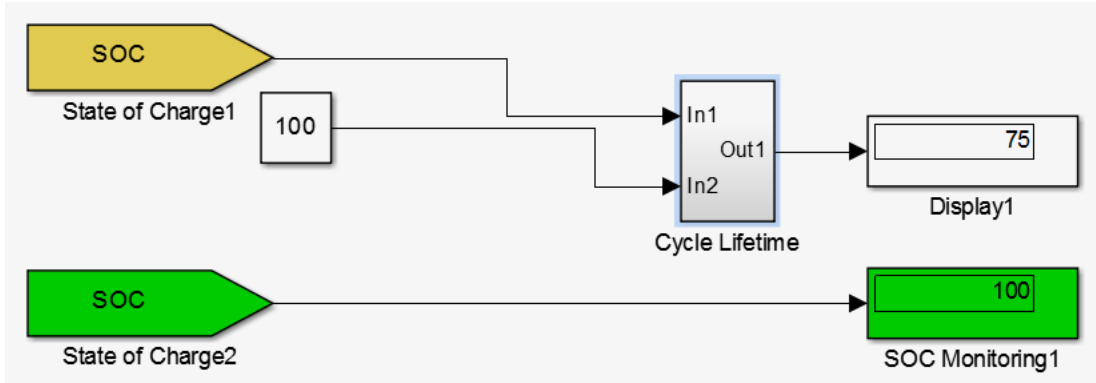
- **Test 4;** Son test için Nikel Kadmiyum batarya kullanılmıştır. Bataryanın başlangıç SOC değeri %95 olarak seçilmiş ve şarj işlemi başlatılmıştır.

Nikel Metal Hidrit bataryanın daha önce 74 kere şarj edilmiş olduğu bilinmektedir. Şarj sonunda batarya doluluk oranı %100'e ulaştığında display çıkışının 1 arttığı görülmüştür. Test başlangıcı cycle durumu şekil 5.87'de gösterilmiştir.



Şekil 5.87. Nikel Kadmiyum Cycle Lifetime başlangıç durumu

Nikel Kadmiyum bataryanın şarj testi sonunda display çıkışında 75 değeri okunmuştur. Bu durum bataryanın 1 kez daha şarj edildiğini ve kalan şarj ömrünün 1 azaldığını göstermektedir. Şarj sonu cycle durumu şekil 5.88’de gösterilmiştir.



Şekil 5.88. Nikel Kadmiyum Cycle Lifetime son durum

Yukarıda batarya ömrü için yapılan 4 testte de SOC değerleri %95’ten başlatılmıştır. Bataryalar daha önceden birçok kez şarj edildiğinden başlangıç ömür değerleri farklılık göstermiştir. Yapılan testler sonucunda SOC her %100 değerine geldiğinde cycle lifetime algoritması kullanıcıya displayden bataryanın kaç kez şarj olduğunu göstermektedir. Kullanıcı bataryanın teknik dökümanlarına istinaden kalan ömrün hesabını basitçe yapabilir. Testler başarı ile sonuçlanmış olup cycle lifetime kontrol mekanizmasının çalıştığı gözlemlenmiştir.

5.4.2. Bataryaların hibrit elektrikli araç modeli ile testleri

BYS simülasyonu yaparken farklı tip bataryaların bir kaynak ile çeşitli SOC değerlerinde şarj olması incelendi ve BYS'nin şarj esnasındaki davranışları analiz edildi. Bu testte BYS'nin sağlıklı çalışması modellenmiş bir hibrit araç üzerinde test edilecek ve gerçeğe yakın sonuçlar alınması hedeflenmektedir. Mathworks'ten alınmış bir hibrit elektrikli araç modeli BYS simülasyonuna adapte edilmiştir. 4 farklı batarya tipinin yönetildiği BYS, hibrit elektrikli araç üzerine yerleştirilmiştir. Hibrit elektrikli araç modeli çalıştırılırken çeşitli sürüş senaryoları ile bataryaların karakteristikleri incelenecek ve BYS'nin çalışma durumu analiz edilecektir.

İlk olarak iki farklı sürüş senaryosu Malatya'da Motaş A.Ş tarafından işletilmekte olan Trambüs araçlarından elde edilmiştir. Trambüs araçları üzerinde bulunan karakutudan araçların gaz pedalı sinyalleri alınarak gece ve gündüz olmak üzere iki farklı sürüş senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryolar hibrit elektrikli araç modeli üzerine uygulanarak simülasyon çalıştırılmış ve BYS'nin çalışması analiz edilmiştir. Her batarya tipi için 2 sürüş senaryosu da test edilmiştir.

5.4.2.1. Farklı sürüş senaryolarındaki şarj ve deşarj testleri

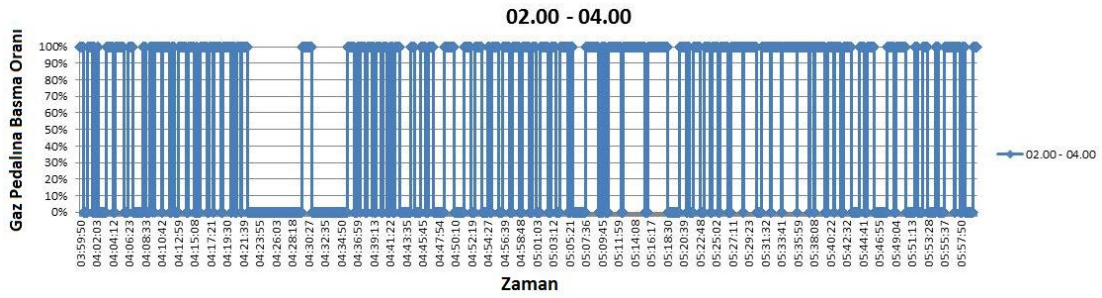
Bu testte Trambüs araçlarının karakutularından elde edilen gaz pedalı sinyalleri hibrit elektrikli araçlar üzerine uygulanmış ve bataryaların şarj-deşarj karakteristikleri BYS tarafından analiz edilmiştir.

BYS simülasyonunda kullanılan hibrit elektrikli araç bir adet içten yanmalı motora, bir adet elektrik motoruna ve bir adette jeneratöre sahiptir. Sürüş senaryolarına göre içten yanmalı motor gerekli gücü sağlayamaz ise elektrik motoru devreye girer ve bataryalar deşarj olmaya başlar. Bu sırada BYS aktif olarak görev yapar. Batarya seviyeleri %10 veya sıcaklık değeri belirlenen değer üzerine çıkar ise batarya deşarj kesilir. Benzer durum şarj için de geçerlidir. İçten yanmalı motor istenilen gücü sağlar ise elektrik motoru devreden çıkar, jeneratör içten yanmalı motor ile birlikte çalışır ve bataryalar şarj olmaya başlar. Bataryaların doluluk oranı %100 olur ise BYS şarj işlemini durdurur.

Yukarıda hibrit aracın çalışma mantığı anlatılmıştır fakat elektrik motorun devreye girip çıkması için bir parametre tanımlanması gerekmektedir. Bu parametre hibrit mod olarak tanımlanmıştır.

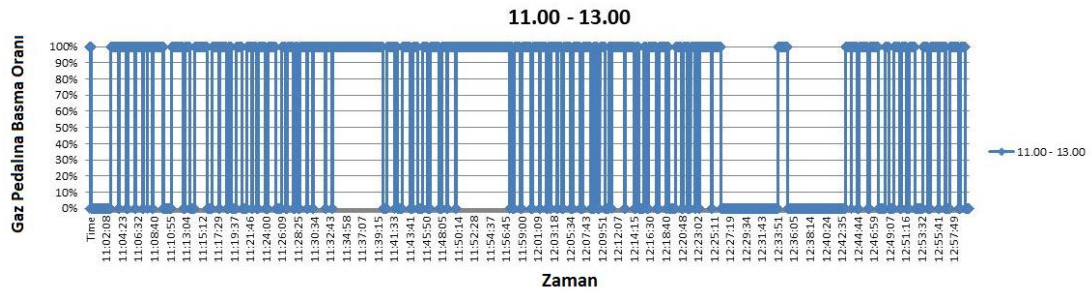
Hibrit mod aktif ise hibrit elektrikli araç hem içten yanmalı motoru kullanacak hem de elektrik motorunu kullanacaktır. Bu durum bataryaların deşarj olmasını sağlar ve BYS'nin minimum batarya seviyesini kontrol etmesini gerektirir. Hibrit mod pasif ise elektrik motoru devre dışı kalır, içten yanmalı motor devrededir ve jeneratör tarafından bataryalar şarj olur. Burada ise BYS bataryaların maximum doluluk oranı kontrol ile görevlidir.

Trambüs karakutularında alınan ilk sürüş senaryosunu oluşturan veri sabah saat 02.00 ile 04.00 arasında alınmıştır. Yoğunluğun az olduğu bu zaman diliminde Trambüs araçları yüksek gaz pedalı kullanım oranına sahiptir. Bu durum şekil 5.89'da gösterilmiştir.



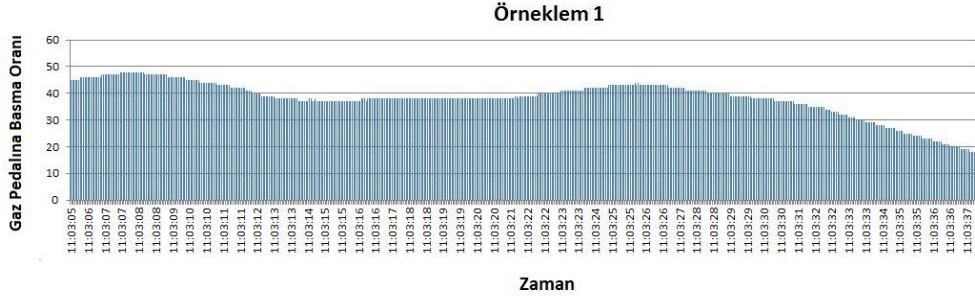
Şekil 5.89. Trambüs karakutusunda alınan 1. senaryo verisi

İkinci sürüş senaryosunda ise yolcuların yoğunlukta olduğu saat 11.00 ile 13.00 arasında oluşturulmuştur. Yolcu yoğunluğunun fazla olması gaz pedalı kullanım oranının azalmasına neden olmuştur. Bu durum şekil 5.90'da gösterilmiştir.

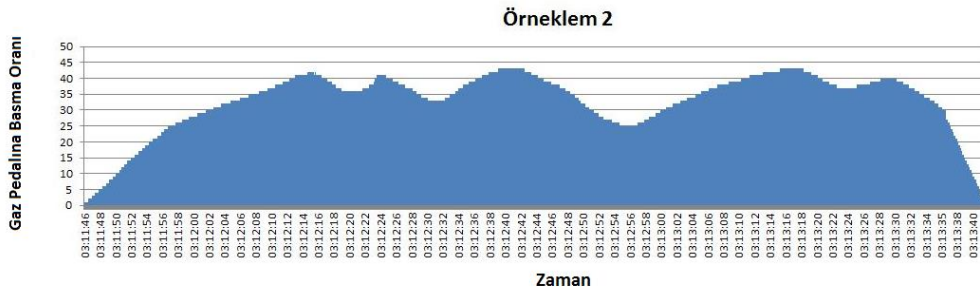


Şekil 5.90. Trambüs karakutusunda alınan 2. senaryo verisi

Trambüs karakutularından alınan veriler hibrit elektrikli araç gaz pedalına uygulanmış olup ortaya çıkan veriler örneklem 1 ve örneklem 2 olarak şekil 5.91 ve 5.92’de sunulmuştur.



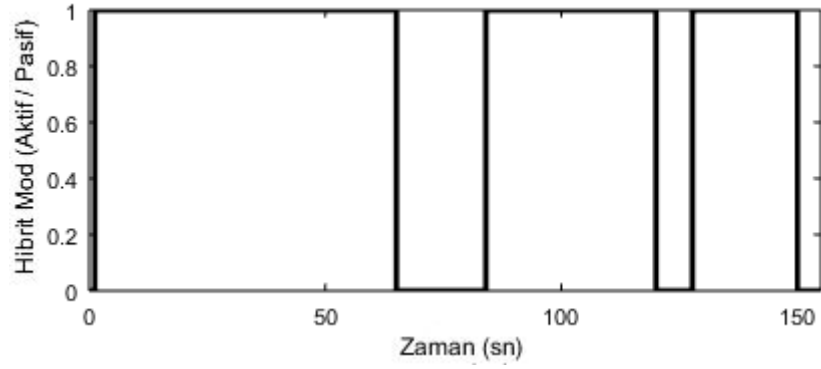
Şekil 5.91. Hibrit elektrikli araca uygulanan senaryo 1 verisi



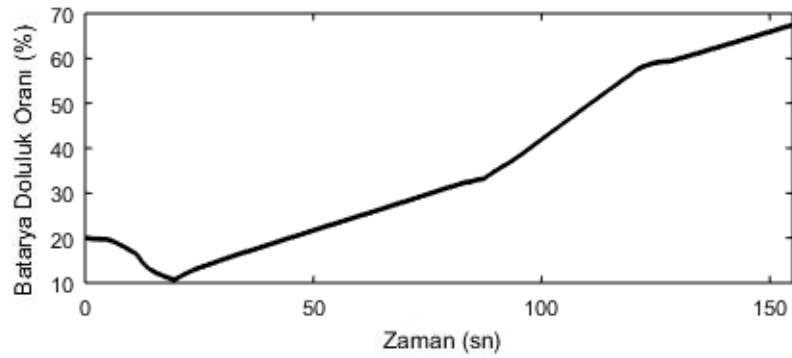
Şekil 5.92. Hibrit elektrikli araca uygulanan senaryo 2 verisi

Test 1; Bu testte Lityum demir fosfat bataryanın 1.sürüş senaryosuna göre şarj ve deşarj karakteristiği incelenecektir. Test öncesi Lityum demir fosfat bataryanın doluluk oranı %20 olarak seçilmiş olup test süresi 1 saattir (T=155). Matlab simulasyonunda solver olarak ode23tb (stiff/TR-BDF2) olarak seçilmiştir. Simulasyon çıktılarında T değeri 1 iken, 23 saniye test yapılmış anlamına gelmektedir. Tüm simulasyonlarda kullanılan süre için ode23tb solver parametresi geçerli olacaktır.

Test süresi boyunca 6 kere hibrit mod değişimi sağlanmıştır. Şekil 5.93’de bu değişim grafiği gösterilmiştir. Hibrit mod değişimi ile birlikte bataryaların şarj veya deşarj olması incelenmiştir. Şekil 5.94’te gösterildiği gibi SOC değeri %20’den başlayıp %10 noktasına gelmiştir. BYS batarya durumunun kritik seviyede olduğunu tespit ettiği anda gaz pedalı sinyallerine göre bataryaların şarj edilmesi sağlanmıştır. BYS için kritik batarya doluluk oranı %10 olarak belirlenmiştir. Bu sayede bataryaların derin deşarj olması engellenmiştir.

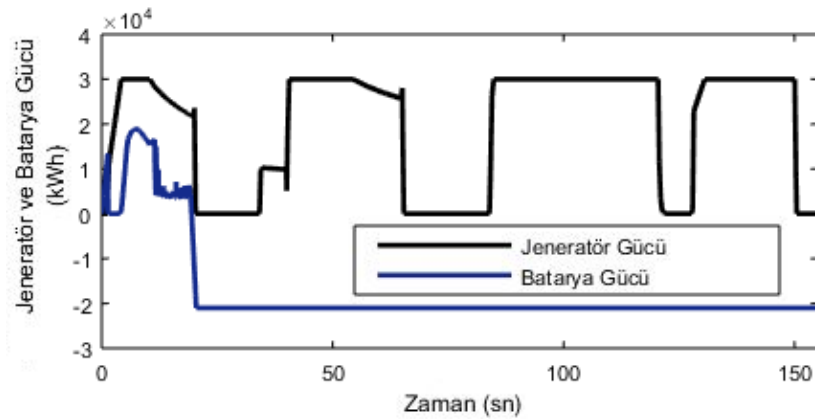


Şekil 5.93. Lityum demir fosfat 1. sürüş senaryosu durumunda Hibrit mod değişimi



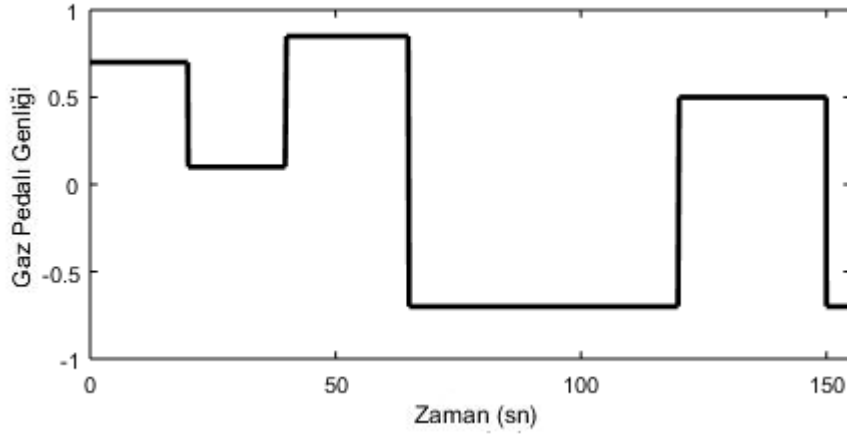
Şekil 5.94. Lityum demir fosfat 1. sürüş senaryosu durumunda SOC değişimi

Test sırasında hibrit mod değişimlerinde batarya gücü ve jeneratör güçleri de incelenmiştir. Her hibrit mod değişikliği sırasında şekil 5.95'te görüleceği üzere batarya ve jeneratör gücünde değişiklik meydana gelmiştir. Örneğin batarya doluluk oranının %10'a geldiği durumda BYS bataryanın artık şarj olması gerektiğine karar vermiştir. Dolayısı ile artık jeneratör gücü ile bataryalar şarj olmaya başlamıştır.



Şekil 5.95. Lityum demir fosfat 1. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi

Bataryalar 20 kWh'lik bir güç ile şarj olmaktadır. Hibrit elektrikli araç ise toplamda 50 kWh'lik bir güç ile hareket etmektedir. Bu güç bataryalar şarj olurken tamamen içten yanmalı motordan karşılanmaktadır. İçten yanmalı motor 114 kWh'lik bir güce sahiptir. Bu sayede içten yanmalı motor aracı hem hareket ettirebilmektedir hem de bataryaların şarj olmasını sağlamaktadır. 1 saatlik süre boyunca Trambüs araçlarından uyarlanan gaz pedalı sinyali ve hibrit aracın hız değişimleri şekil 5.96'da gösterilmiştir.



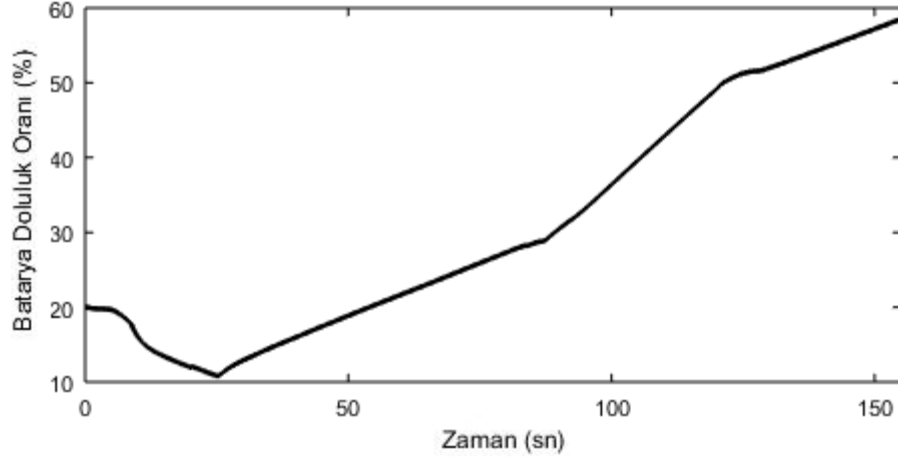
Şekil 5.96. Lityum demir fosfat senaryo 1 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi

İlk test sonunda BYS'nin hibrit elektrikli araç çalışırken bataryaları düzgün bir biçimde kontrol ettiği ve minimum batarya deşarj noktasına geldiğinde bataryaların deşarjını engellediği daha sonra bataryaların şarj olmasını sağlayan parametreleri devreye aldığı gözlemlenmiştir. Bu test BYS'nin batarya SOC kontrolü için başarılı olmuştur. Test sonunda Lityum demir fosfat batarya %20 SOC ile başladığı testi %67,5 doluluk oranı ile tamamlamıştır.

- **Test 2;** Nikel Metal Hidrit batarya grubunun ilk sürüş modu ile testi yapılacaktır. Bu test işlemi sırasında bataryaların doluluk oranı %20 olarak seçilmiştir.

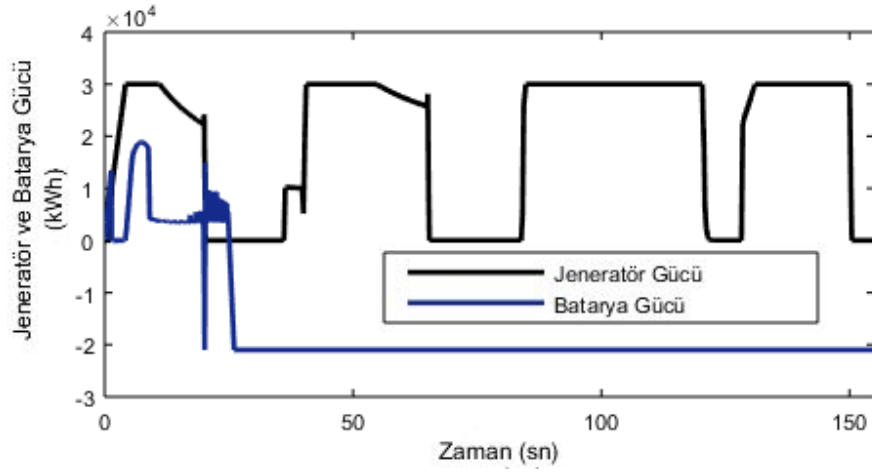
Sürüş modunun aynı olmasından dolayı hibrit mod değişim yerleri aynı kalmaktadır fakat bataryaların şarj deşarj süreleri değişmektedir. Tüm simülasyonlarda şekil 5.89'da gösterilen hibrit mod grafiği baz alınacaktır. Nikel Metal hidrit batarya %20 doluluk oranı ile hibrit araca yerleştirilmiş ve ilk olarak hibrit araç bataryaları deşarj etmeye başlamıştır. Batarya doluluk oranı %10 noktasına geldiğinde BYS batarya

durumunun kritik seviyede olduğunu analiz etmiştir. Bu durumda hibrit mod değişikliği yaparak bataryaların şarj olmasını sağlamıştır. T=28 noktasında Nikel Metal Hidrit (10 dakika sonra) batarya grubu %10 eşik değerine kadar deşarj olmuştur. Bu durum şekil 5.97’de gösterilmiştir.



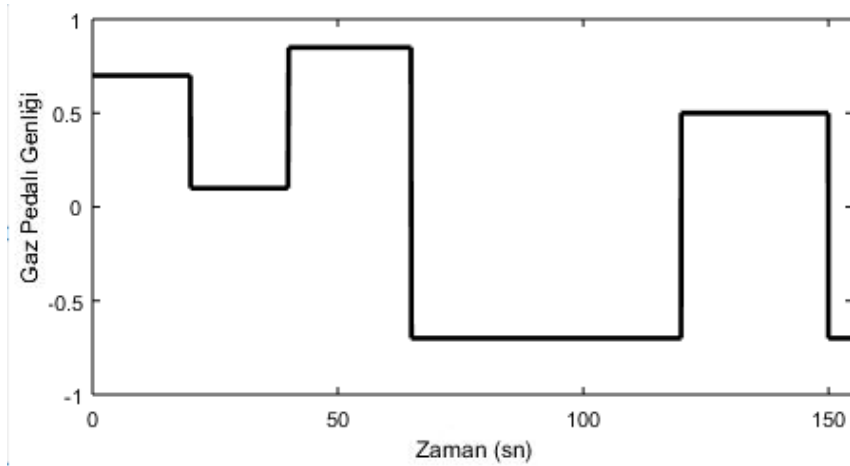
Şekil 5.97. Nikel Metal Hidrit 1. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi

Nikel Metal Hidrit bataryanın hibrit elektrikli araç ile sürüşü sırasında diğer parametreler de incelenmiştir. Hibrit mod değişince jeneratör gücü ve sürüş gücü de değişmektedir. Bataryanın %10 gelinceye kadar jeneratör 30 kW’lık bir güç ile içten yanmalı motora eşlik etmektedir. Doluluk oranı %10’dan sonra kademeli olarak 0 ile 30 kW arasında çalışması sağlanmıştır. Bataryalar ile %10 noktasından sonra -20 kW ile şarj olduğu gözlemlenmiştir. Jeneratörün pozitif değeri bataryaların şarjda olduğunu, sıfır değeri ise jeneratörün devrede olmadığını göstermektedir. Aynı zamanda bataryanın da negatif değeri şarj gücünü pozitif değeri deşarj gücünü göstermektedir. Batarya doluluk oranının %10 noktasına gelmesi ile jeneratör bataryaları şarj etmeye başlamıştır. Batarya gücü ise hibrit mod değişikliğine göre tepki vermektedir. T=45 anında jeneratörün gücünün 20 kW, T=60 anında 0 kW olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda hibrit mod aktif iken bataryalar deşarj olmakta, hibrit mod pasif iken bataryalar şarj olmaktadır. Batarya ve jeneratör güç değerlerini gösteren grafik şekil 5.98’de sunulmuştur.



Şekil 5.98. Nikel Metal Hidrit 1. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi

Nikel Metal Hidrit batarya, hibrit mod pasif iken 20 kW'lık bir güç ile şarj edilmektedir. Toplam 1 saatlik test süresi boyunca 6 kere bataryaların şarjdeşarj değişikliği incelenmiş ve $T=85$ ile $T=125$ arasında jeneratörün şarj gücü 30 kW noktasında sabit kalmıştır. Bu durumda araç içten yanmalı motor ile hareket etmiş ve bataryalar sürekli şarj olmaya devam etmiştir. Hibrit mod değişim süresinin ve batarya karakteristiğinin farklı olmasından dolayı farklı zamanlarda bataryaların maksimum güç noktasına ulaştığı gözlemlenmektedir. Nikel Metal Hidrit bataryanın gaz pedalı sinyalleri şekil 5.99'da gösterilmiştir.



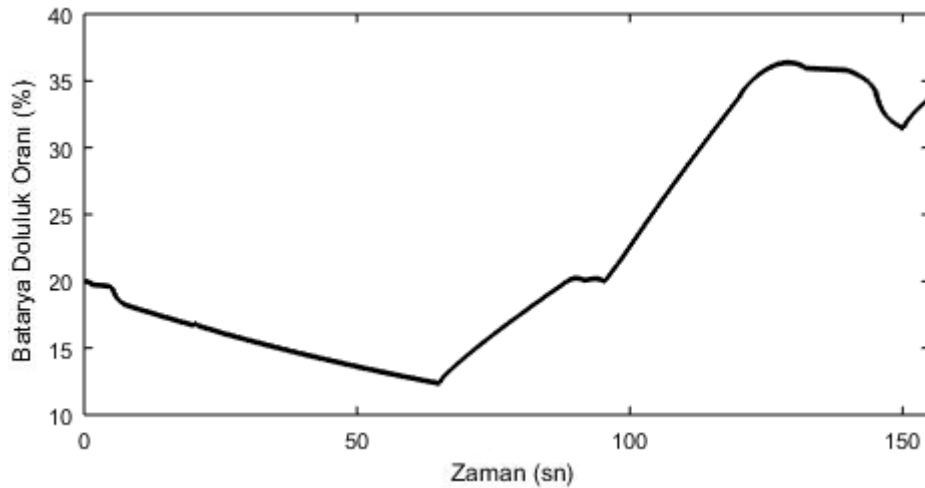
Şekil 5.99. Nikel Metal Hidrit senaryo 1 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi

Nikel Metal Hidrit batarya birinci sürüş modu ile birlikte bir saat süre boyunca test edilmiştir. Test başlangıcında SOC değeri %20 olarak belirlenmiş olup test sonunda

doluluk oranının %58,5'e geldiği gözlemlenmiştir. Lityum demir fosfat batarya ile kıyaslandığında aynı test sonunda doluluk oranının daha az olduğu analiz edilmiştir.

- **Test 3;** Bu testte Kurşun Asit bataryanın 1.sürüş senaryosuna göre şarj ve deşarj karakteristiği incelenecektir. Test öncesi Kurşun Asit bataryanın doluluk oranı %20 olarak seçilmiş olup test süresi 1 saattir. Test sonunda BYS'nin çalışma durumu incelenmiştir.

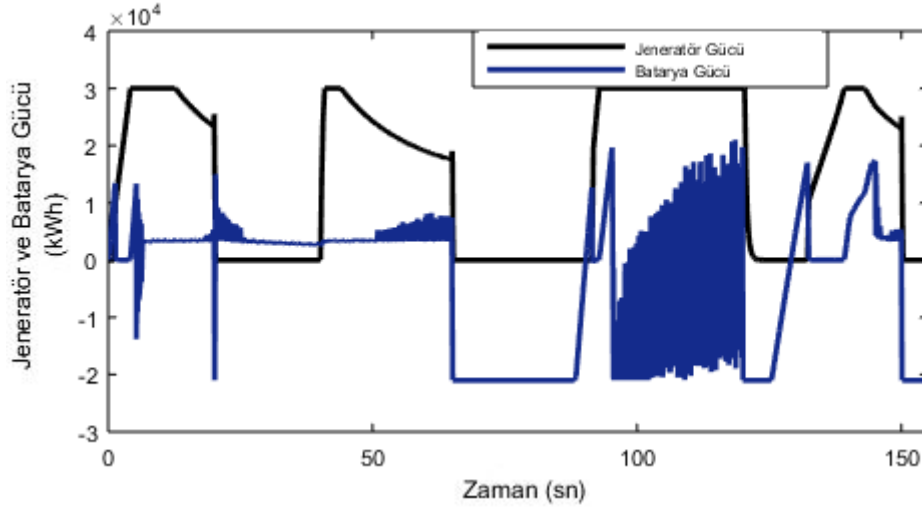
Sürüş senaryosunun aynı olmasından dolayı hibrit mod değişimi bu test için geçerli olacaktır. Toplamda 6 kere hibrit mod değişimi sağlanmıştır. Bu değişim ile bataryaların şarj ve deşarj grafikleri incelenecektir. İlk olarak batarya doluluk oranının %20 olması ve kritik eşik değeri üstünde kalması ile hibrit elektrikli araç bataryaları deşarj etmeye başlayacaktır. T=60 (23 dakika) noktasında bataryanın doluluk oranı %10'a gelmiştir. BYS algoritmasında bataryanın kritik deşarj noktası %10 olarak belirlendiğinden BYS hibrit mod değişikliğini sağlamıştır. İçten yanmalı motoru çalıştırıp bataryaları devreden çıkarmıştır. Bu durumda jeneratör çalışmaya başlayacak ve bataryaların şarj olması sağlanacaktır.



Şekil 5.100. Kurşun Asit 1. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi

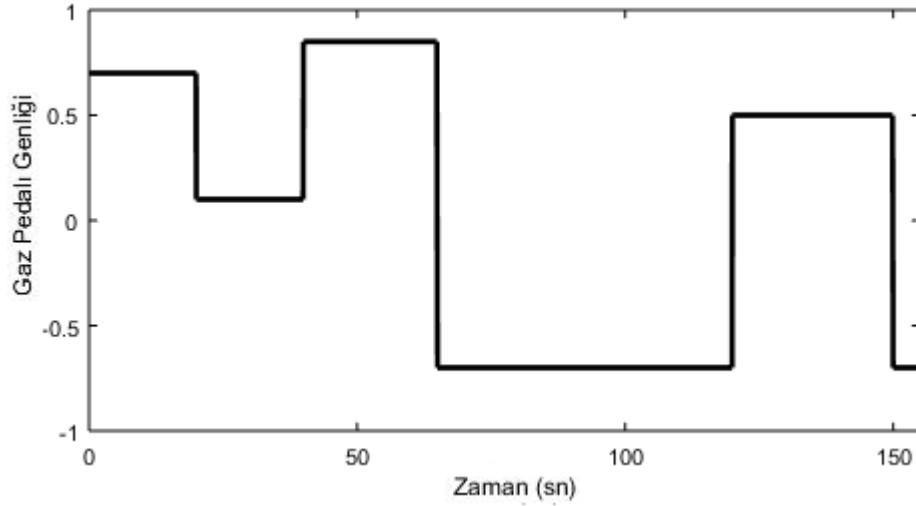
Kurşun Asit bataryanın birinci sürüş senaryosu ile testi sırasında batarya şarj gücü zaman zaman değişimlere uğramıştır. T=60 noktasında 0 kW olan jeneratör gücü 20 kW değerine kadar ulaşmıştır. Bu durumda jeneratör ile bataryaların şarjı sağlanmıştır. T= 95 noktasına kadar bataryalar şarj olmuş ve kısa bir süre için hibrit mod değişikliği ile bataryalar deşarj olmaya başlamıştır. Bu durumda araç hem içten

yanmalı motoru hem de elektrik motorunu kullanmaktadır. $T=100$ 'den sonra yeniden bataryalar şarj olmaya başlamıştır. $T=125$ noktasında hibrit mod yeniden aktif olmuş ve bataryaların deşarj işlemi başlamıştır. $T=150$ anına kadar batarya deşarjı devam etmiş ve bu andan sonra bataryalar yeniden şarj olmaya başlamıştır. Bataryalar yeniden 20 kW'lık bir güç ile şarj olmuştur. Jeneratörün ve bataryaların güç değişim grafiği şekil 5.101'de gösterilmiştir.



Şekil 5.101. Kurşun Asit 1. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi

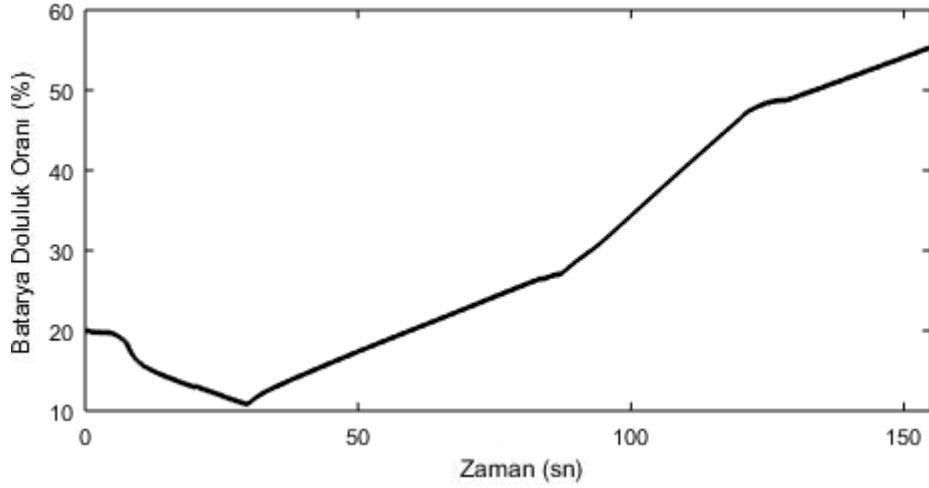
Kurşun Asit batarya birinci sürüş modu testi sonunda bataryaların genel anlamda şarj olduğu söylenebilir. Başlangıçta %20 doluluk oranına sahip olan batarya grubu test sonunda %33,7 doluluk oranına sahiptir. Simulasyonda %10 doluluk oranına gelen bataryalar BYS'nin aktif şekilde devreye girmesi ile yeniden şarj edilmiş ve bataryaların ölmesinin önüne geçilmiştir. Lityum demir fosfat ve nikel metal hidrit batarya tipleri ile kıyaslandığında test sonunda daha az doluluk oranına sahiptir. Diğer iki batarya tipinden daha az verime sahip olduğu söylenebilir. Sürüş süresi boyunca gaz pedalında oluşan değişiklikler şekil 5.102'de sunulmuştur.



Şekil 5.102. Kurşun Asit senaryo 1 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi

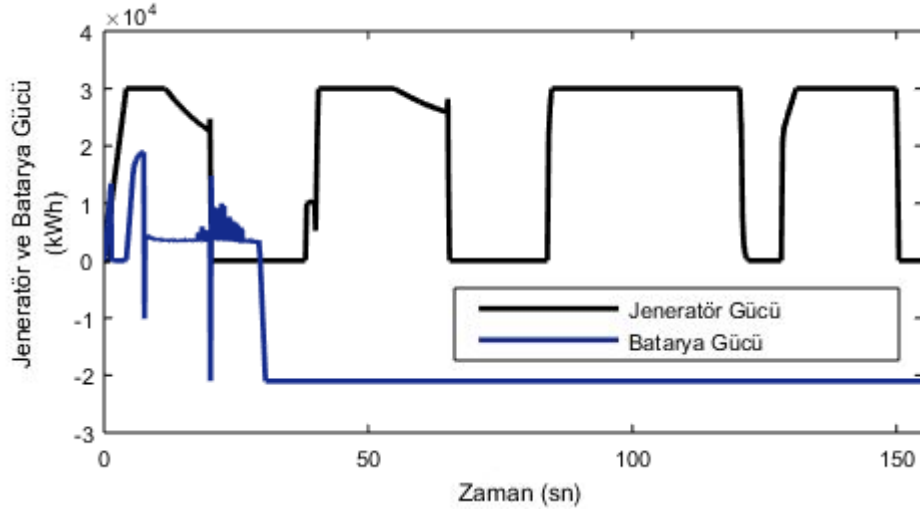
- **Test 4;** Birinci sürüş senaryosunun son testi Nikel Kadmiyum pil ile yapılacaktır. Test öncesi Nikel Kadmiyum pilin doluluk oranı %20 olarak ayarlanmıştır.

Hibrit modun 6 farklı noktada değişmesi bu batarya tipi üzerinde de etkili olmuştur. %20 doluluk oranı ile başlanılan testte ilk olarak batarya grubu deşarj olmaya başlamıştır. T=35 anına kadar deşarj olan bataryalar %10 kritik eşik değerine gelince tekrar şarj olmaya başlamıştır. %10 doluluk oranına ulaşıldığı anda BYS, hibrit elektrikli araç üzerindeki hibrit mod parametresini değiştirmekte ve batarya grubunu deşarj durumundan kurtarmaktadır. Buradaki amaç bataryaların ölmesini engellemektir. Yeniden şarj olmaya başlayan bataryalar 1 saat süre boyunca şarj-deşarj işlemini devam ettirmiştir. Test süresi boyunca oluşan SOC grafiği şekil 5.103'te sunulmuştur.



Şekil 5.103. Nikel Kadmiyum 1. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi

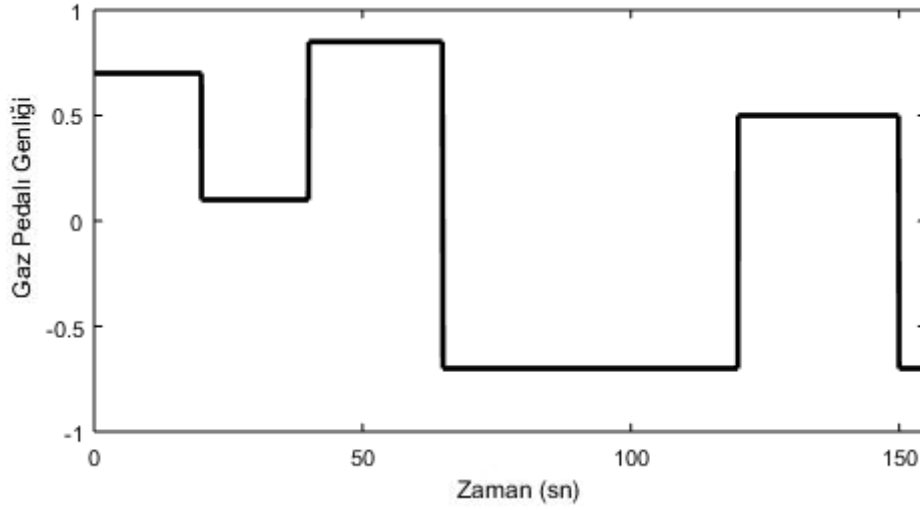
Kurşun Asit bataryanın testi sırasında $T=35$ noktasında doluluk oranı minimum seviyeye inmiştir. Bu anda batarya şarj gücü 20 kW olarak ölçülmüş olup bataryalar jeneratör yardımı ile şarj olmaya başlamıştır. Test sonuna kadar bataryalar şarj olmuştur. Kurşun Asit bataryaya kıyasla Nikel Kadmiyum düzenli olarak SOC değerini artırmıştır. $T=70$ ile $T=125$ arasında jeneratör gücü 30 kW olarak ölçülmüştür. Test süresince analiz edilen Jeneratör ve batarya güçleri Şekil 5.104'te gösterilmiştir.



Şekil 5.104. Nikel Kadmiyum 1. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi

Nikel Kadmiyum batarya %20 doluluk oranı ile başladığı testi %55,3 doluluk oranı ile bitirmiştir. Bu batarya tipi Kurşun Asit bataryadan daha verimlidir ancak Lityum demir fosfat ve Nikel Metal Hidrit bataryadan daha verimsiz durumdadır. Test sonu doluluk oranı incelendiğinde verimlilik açısından 3.sırada yer almaktadır. Test

sonunda hibrit elektrikli araçtan elde edilen gaz pedalı sinyali şekil 5.105'te sunulmuştur.



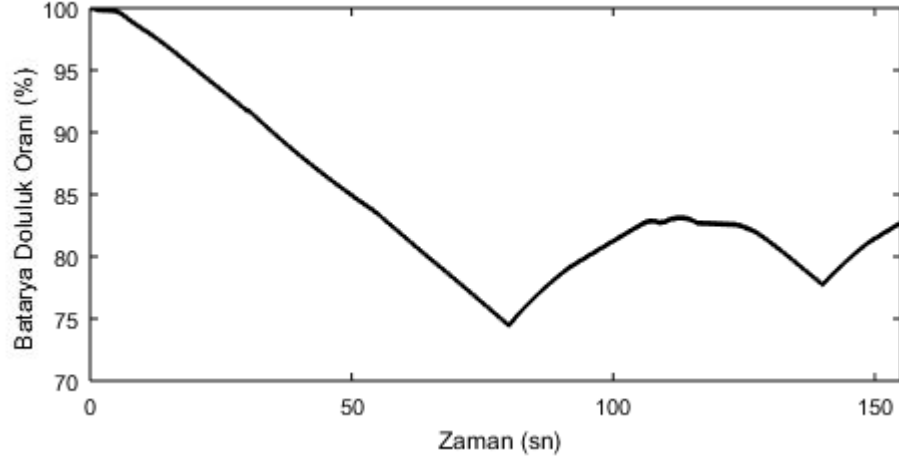
Şekil 5.105. Nikel Kadmiyum senaryo 1 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi

Test sonunda BYS'nin aktif olarak çalıştığı ve batarya paketlerinin minimum doluluk oranına gelince deşarjdan şarj işlemine geçişinin sağlandığı gözlemlenmiştir. Test sonunda Nikel Kadmiyum bataryaların %20 doluluk oranından şarj işlemi ile %55,3 doluluk oranına kadar yükseldiği gözlemlenmiştir.

- **Test 5;** Bu testte Trambüs araçlarının karakutularından alınan 2.sürüş senaryosu uygulanacak ve bataryaların maximum şarj durumunda BYS'nin şarj işlemini durdurması incelenecektir. Bataryaların SOC değerleri %100 olarak belirlenmiştir. SOC'nin %100 olarak belirlenmesinin sebebi ise hibrit mod aktif iken ilk olarak bataryanın belirli oranda deşarj edilmesi ve daha sonra yeniden şarj edilip SOC artışını sağlamaktır. Bu sayede %100 olarak başlayan bataryaların 2.sürüş modunda ne kadar verimli olduğu analiz edilebilecektir.

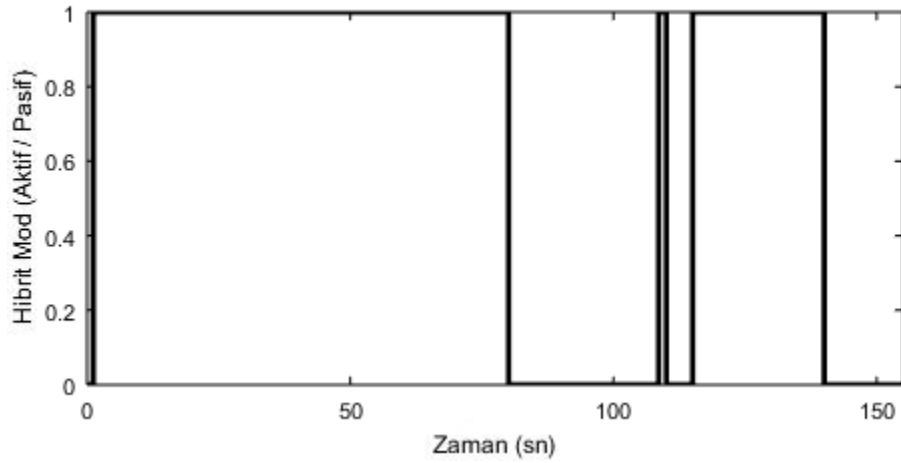
Lityum demir fosfat batarya üzerinde ikinci sürüş modu ile toplamda 6 noktada fakat bu kez farklı zamanlarda hibrit mod değişikliği tespit edilmiştir. Sürüş senaryosuna göre farklı yerlerde sürücünün gaza basması hibrit modun 2.sürüş senaryosuna göre farklı anlarda değişmesini sağlamıştır. Batarya grubu ilk olarak %75 noktasına kadar deşarj olmuş daha sonra şarj işlemi gerçekleşmiştir. Kullanılan bataryanın SOC doluluk oranı %80 seviyesine kadar şarj edildikten sonra hibrit mod

değişimi ile yeniden deşarj olmaya başlamıştır. T= 138 noktasına kadar bataryalar yeniden deşarj olmuş ve T=138'den sonra şarja başlamıştır. Lityum demir fosfat bataryanın şarj-deşarj durumu şekil 5.106'da gösterilmiştir.



Şekil 5.106. Lityum demir fosfat 2. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi

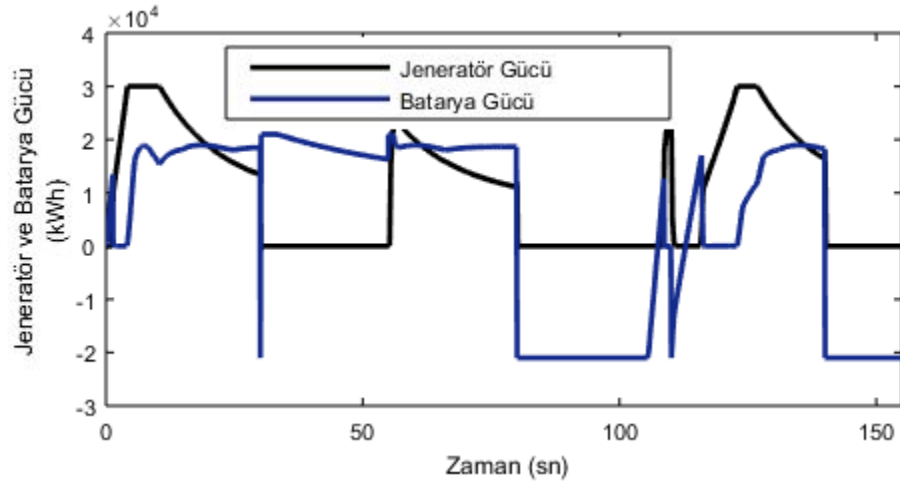
Şekil 5.110 incelendiğinde grafiğin sonlarına doğru 50.dakika içerisinde hibrit elektrikli aracın ihtiyacı olan sürüş gücü artmış ve bataryalar tekrar deşarj olmaya başlamıştır. Kısa bir süre sonra hibrit mod tekrar pasif konuma geçince bataryaların şarj işlemi tekrarlanmıştır. Şekil 5.107'te hibrit mod değişimi gösterilmiştir. Bataryalar tekrar %82,72 seviyesine geldiğinde BYS sağlıklı olarak şarj işlemi durdurmuştur.



Şekil 5.107. Lityum demir fosfat 2. sürüş senaryosu durumunda Hibrit mod değişimi

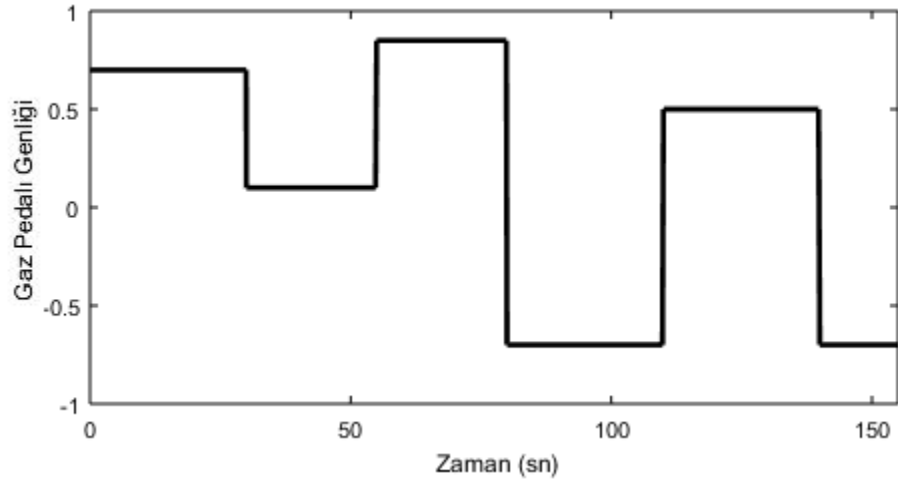
Sürüş gücünün değişimi bataryaların ve jeneratörün güç değişimi üzerinde etkili olmaktadır. Bu testte 50.dakika içerisinde kısa süreliğine hibrit aracın içten yanmalı motor gücü aracın hareketini karşılayamamış ve bataryalardan gerekli güç alınmıştır. Daha sonra ise içten yanmalı motor gücü hareket gücüne eşdeğer olduğu analiz edilmiş

ve bataryalar devreden çıkarılarak şarj olması sağlanmıştır. Bu test sonunda elde edilen batarya ve jeneratör güç grafikleri şekil 5.108’de gösterilmiştir.



Şekil 5.108. Lityum demir fosfat 2. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi

Batarya gücü maksimum olarak 20 kW ölçülmüş ve $T=10$, $T=60$, $T=110$ ve $T=125$ anlarında batarya deşarj gücü maksimum seviyededir. Bataryaların ilk olarak 20 kW bir güçle çalışmaya başlaması elektrik motoruna gerekli gücü sağlamış ve sistem hibrit mod aktif olarak çalışmıştır. $T=75$ noktasına kadar bataryalar deşarj olduğundan dolayı bataryalar sürekli olarak elektrik motorunu beslemeye devam etmiştir. $T=75$ 'ten sonra batarya şarj gücü 20 kW olarak ölçülmüştür. Bu noktada jeneratör bataryaları şarj olmasını sağlamış ve $T=110$ anına kadar şarj işlemi devam etmiştir. $T=110$ 'dan sonra ise yeniden elektrik motoru çalıştırılmış, bataryaların deşarjı sağlanmıştır. $T=125$ noktasında ise jeneratör ile bataryaların şarj işlemini devam ettirmiştir. Geçen süre boyunca hibrit elektrikli araçta hibrit modun değişimini ve bataryaların şarj-deşarj karakteristiklerinin ortaya çıkmasını sağlayan gaz pedalı sinyalleri şekil 5.109'da sunulmuştur.

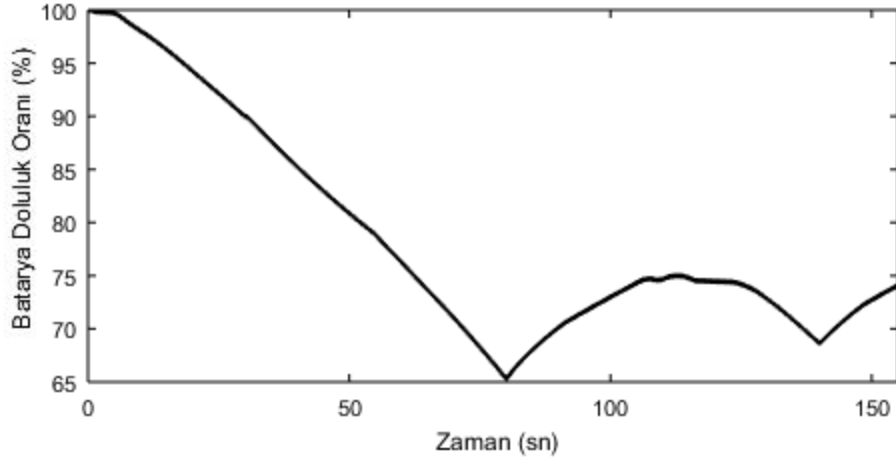


Şekil 5.109. Lityum demir fosfat senaryo 2 durumunda gaz pedalı sinyal değişimi

Yapılan bu test sonucunda batarya yönetim sisteminin hibrit mod değişimine göre bataryaların şarj ve deşarjını kontrol ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca BYS hibrit elektrikli aracın ihtiyaç durumunu kontrol edip yeniden bataryaların deşarj olmasına olanak sağlamıştır. Test sonunda BYS'nin sağlıklı bir biçimde çalıştığı görülmüştür.

- **Test 6;** Nikel Metal Hidrit ile yapılan bu testte bataryalar ikinci sürüş modunda kullanılmıştır. Bataryaların kendine özgü parametreleri sabit kalmış ve başlangıç SOC değeri %100 olarak seçilmiştir.

Test başladığı anda hareket gücünün içten yanmalı motordan karşılanamamasına istinaden elektrik motoru devreye alınmış ve bu sayede bataryaların deşarj olması sağlanmıştır. Nikel Metal Hidrit bataryalar $T=80$ noktasına kadar deşarj olmaya devam etmiştir. $T=80$ noktasında bataryaların doluluk oranının %65 olduğu gözlemlenmiştir. Bu andan sonra hibrit modun değişimine istinaden bataryaların $T=115$ anına kadar yeniden şarj olduğu ve $T=140$ anına kadar yeniden deşarj olduğu gözlemlenmiştir. $T=140$ 'tan sonra ise bataryalar şarj olmaya devam etmiş ve test 1 saat sonunda tamamlanmıştır. Nikel Metal Hidrit bataryanın ikinci sürüş modundaki şarj-deşarj karakteristiğini gösteren grafik şekil 5.110'da sunulmuştur.

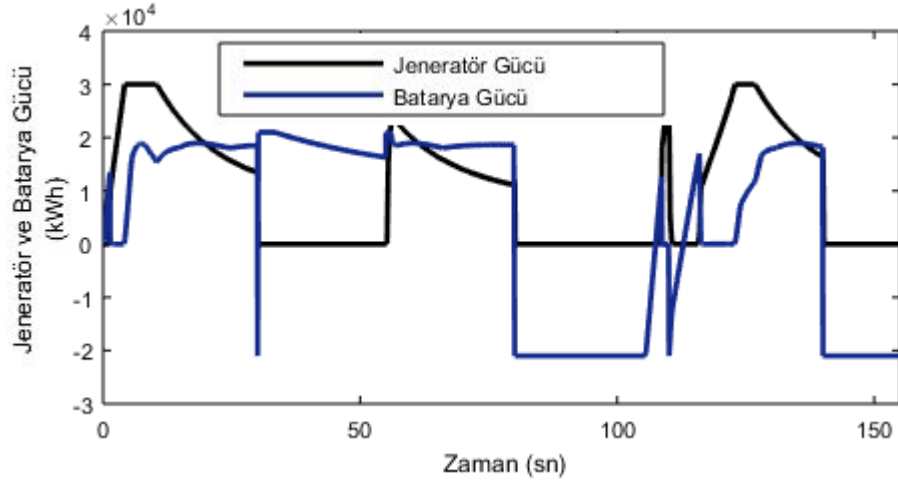


Şekil 5.110. Nikel Metal Hidrit 2. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi

Nikel Metal Hidrit batarya %100 doluluk oranı ile başladığı testi %74 doluluk oranı ile tamamlamıştır. Test sonunda bu batarya paketi lityum demir fosfat batarya paketine göre daha az verimli olduğu analiz edilmektedir.

Simulasyonda kullanılan bataryanın jeneratör gücü ve batarya gücü grafikleri incelendiğinde başlangıç anından T=80 anına kadar batarya deşarj gücünün 15 kW ile 20 kW arası olduğu görüşmüştür. Bu aralıkta bataryalar elektrik motoruna güç sağlamış ve araç hem içten yanmalı motor ile hem de elektrik motoru ile sürüşüne devam etmiştir. T=80 anından sonra bataryalar deşarj işleminden şarj işlemine geçmiştir. Bu anda jeneratör yardımı ile bataryaların şarj olmasını sağlamaktadır.

T=80 anından T=115 anına kadar batarya şarj gücü yeniden 15-20 kW arasına kadar yükselmiş, bataryalar şarj olmaya devam etmiştir. T=115'ten sonra batarya deşarj gücü yeniden 20 kW olmuş ve içten yanmalı motor ile birlikte hibrit elektrikli araca ihtiyaç olan güç sağlanmıştır. Simulasyon sonunda ise jeneratör yeniden bataryaları şarj etmiş ve simulasyon tamamlanmıştır.

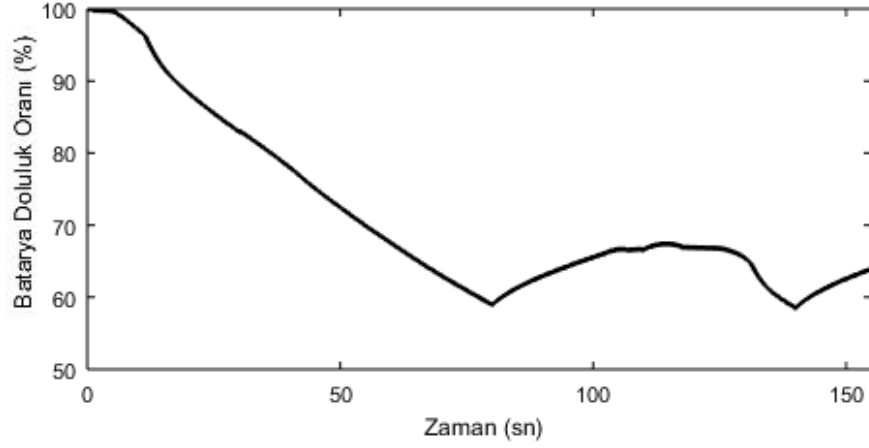


Şekil 5.111. Nikel Metal Hidrit 2. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi

Yapılan testte Nikel Metal Hidrit bataryanın doluluk oranının %100'den %74'e indiği gözlemlenmiştir. Hibrit mod değişikliğine istinaden BYS'nin bataryaların şarjını ve deşarjını düzgün kontrol ettiği görülmüştür. Ayrıca BYS hibrit elektrikli aracın ihtiyaç durumunu kontrol edip yeniden bataryaların deşarj olmasına olanak sağlamıştır. Test sonunda BYS'nin sağlıklı bir biçimde çalıştığı görülmüştür.

- **Test 7;** Bu testte Kurşun Asit bataryanın SOC değeri %100 olarak belirlenip 2.sürüş senaryosu ile birlikte şarj ve deşarj olma durumu incelenmiştir. Batarya grubunun özgül parametreleri önceki testlerdeki gibi ayarlanmıştır.

Kurşun Asit batarya sürüş modunun aynı olmasından dolayı gaz pedalı sinyalleri ve hibrit mod değişimleri Nikel Metal Hidrit batarya ile aynıdır. SOC grafiği incelendiğinde ilk olarak Kurşun Asit batarya grubu deşarja başlamıştır. Hibrit elektrikli aracın içten yanmalı motorunun gerekli gücü hareket için sağlayamamasından dolayı bataryalar ile birlikte elektrik motoru çalıştırılmıştır. Batarya grubu %100 SOC'den %60 SOC değerine kadar deşarj olmuş daha sonra şarj işlemi başlamıştır. Kurşun Asit bataryanın şarj-deşarj karakteristiği şekil 5.112'de gösterilmiştir.

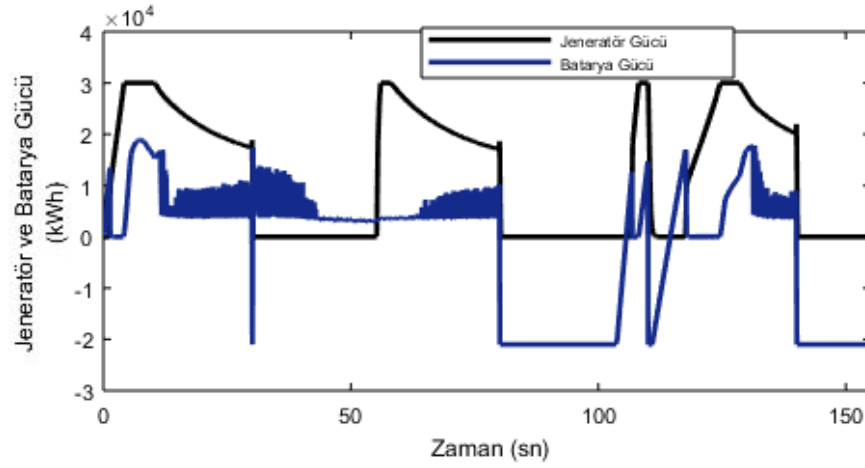


Şekil 5.112. Kurşun Asit 2. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi

Kurşun asit batarya kimyasından dolayı hızlı bir sürede deşarj olmuş ve yüksek akım gerektiren durumlarda bataryanın aktif olarak hibrit elektrikli aracın hareket gücünün sağlanmasında kullanılmıştır.

Batarya doluluk oranının $T=80$ anında %60 değerine gelmesi bataryanın hareket gücünde daha fazla kullanıldığının bir kanıtı olmuştur. %60 doluluk oranına sahip olan Kurşun Asit batarya $T=80$ 'den sonra şarj işlemine başlamıştır. $T=115$ noktasına kadar şarj olan batarya $T=115$ ile $T=140$ arasında yeniden deşarj olmuştur.

Test sonuna doğru batarya paketi yeniden şarj olmuş ve doluluk oranı %63 iken şarj işlemi tamamlanmıştır. Test süresince bataryanın şarj ve deşarj gücü 20 kW ile -20 kW arasında değişmiştir. Negatif noktalarda bataryanın şarj gücünü, pozitif noktalar ise bataryanın deşarj gücünü ifade etmektedir. Test süresi boyunca her hibrit mod değişikliğinde bataryalar jeneratör tarafından şarj edilmiş veya elektrik motoru tarafından deşarj edilmiştir. Bu durum şekil 5.113'te gösterilmiştir.



Şekil 5.113. Kurşun Asit 2. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi

Grafikler incelendiğinde Kurşun Asit bataryanın düzenli ve sağlıklı bir şekilde şarj ve deşarj olması BYS tarafından sağlanmıştır. Hibrit mod değişikliklerinde BYS, bataryaların şarj ve deşarjının kontrolünde önemli rol oynamıştır. Bu batarya paketi diğer iki bataryaya göre daha verimsiz olarak analiz edilmiştir. Test süresi sonunda şarj doluluk oranının diğer iki batarya grubundan daha da az olarak ölçülmüştür.

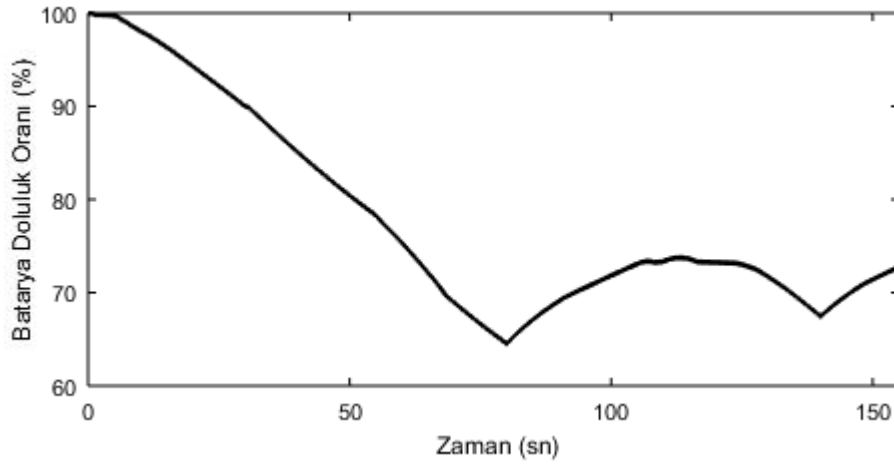
- **Test 8;** Son test Nikel Kadmiyum batarya paketi üzerinde yapılmıştır. Batarya paketinin kendine özgü parametreleri diğer testler ile aynı tutulmuş ve başlangıç doluluk oranı %100 olarak ayarlanmıştır.

Nikel Kadmiyum batarya ikinci sürüş modunda ilk olarak deşarj olmaya başlamıştır. İçten yanmalı motorun gerekli gücü sağlayamamasına istinaden elektrik motoru devreye alınmış ve batarya gücü kullanılmaya başlamıştır.

T=70 anına kadar bataryaların deşarj işlemi devam etmiş ve batarya doluluk oranı %64'e kadar inmiştir. T=70 anından T=115 noktasına kadar bataryalar yeniden şarj olmuş ve daha sonra kısa bir süreliğine deşarj olmuştur.

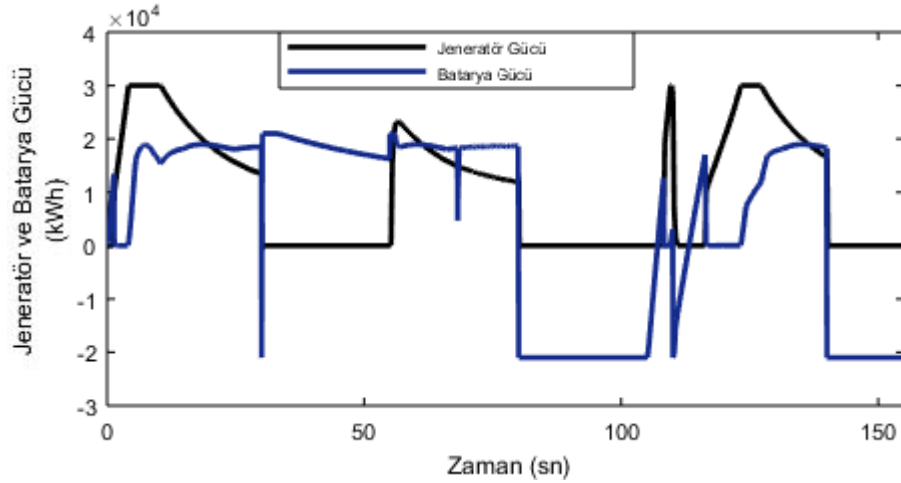
T=140 anından sonra bataryalar yeniden şarj olmaya başlamış ve simülasyon 1 saatin sonunda tamamlanmıştır. Nikel Kadmiyum bataryanın başlangıçtaki doluluk oranı %100 iken test sonunda doluluk oranı %72'ye kadar tüketilmiştir. Diğer batarya grupları ile kıyaslandığı zaman Nikel Kadmiyum bataryanın sadece Kurşun Asit

bataryadan verimli olduğu ve diğer iki batarya paketinden verimsiz olduğu analiz edilmiştir. Kullanılan bataryanın şarjdeşarj grafiği şekil 5.114’te gösterilmiştir.



Şekil 5.114. Nikel Kadmiyum 2. sürüş senaryosu Durumunda SOC değişimi

Test süresi boyunca bataryaların jeneratör tarafından şarj edildiği veya elektrik motoru tarafındandeşarj edildiği gözlemlenmiştir. Başlangıç anından T= 70 anına kadar elektrik motoru bataryalarıdeşarj etmiş, T=70 ile t=115 arasında jeneratör bataryaları şarj etmiştir. T=115 ile T=140 arasında bataryalar yenidendeşarj olmuş ve T=140’dan test süresi sonuna kadar bataryalar şarj olmuştur. Jeneratör ve bataryaların sürüş modu içerisindeki güç analiz grafiği şekil 5.115’te sunulmuştur.



Şekil 5.115. Nikel Kadmiyum 2. sürüş senaryosu durumunda Jeneratör ve Batarya gücü değişimi

Test sonunda Nikel Kadmiyum pilin batarya doluluk oranının %100’den %72’ye kadar indiği ölçülmüştür. Test sırasında BYS bataryaların şarj vedeşarjını kontrol ederek hibrit mod değişikliğine göre jeneratörü devreye almış veya motorun

devreye girmesini sağlamıştır. Test sonunda bataryaların sağlıklı şarj ve deşarj edildiği gözlemlenmiştir.

5.5. Sonuç

Hibrit elektrikli araç modeli üzerinde tasarlanan BYS'nin şarj deşarj karakteristiklerindeki davranışı 8 farklı test ile incelenmiştir. İki farklı sürüş senaryosu ve %20 SOC başlangıç değeri ile simule edilen testte ilk sürüş modu Motaş A.Ş tarafından işletilen Trambüs araçlarının olay kaydedicilerinden alınmış ve saat 02.00 ile 04.00 arasındaki kayıtlar içerisinden oluşturulan 1 saatlik örneklem, hibrit elektrikli araç simülasyonuna uyarlanmıştır. Daha sonra hibrit elektrikli araç 1 saat süre boyunca çalıştırılmış ve BYS'nin bu süredeki sistem koruma davranışı analiz edilmiştir. Batarya doluluk oranı ile ilgili seçilen minimum eşik değeri %10 noktasına gelen bataryaların tekrar şarj olması BYS tarafından sağlanmıştır.

İkinci sürüş modu ise yolcu yoğunluğunun daha fazla olduğu ve bu sayede gaz pedalı sinyallerinin daha çok kullanıldığı 11.00 ile 13.00 arasında gerçekleştirilmiştir. Yine bu saatler arasında 1 saatlik bir örneklem alınıp hibrit elektrikli araca uyarlanmış olup BYS tarafından sistem kontrolü denetlenmiştir. %100 doluluk oranı ile başlatılan simülasyonda bataryaların şarj ve deşarj analizleri yapılmıştır. Hibrit mod değişimine göre BYS'nin jeneratör yardımı ile bataryaların şarj olması veya elektrik motoru kontrolü ile bataryaların deşarj olması incelenmiştir. Yapılan bu testlerde BYS'nin hem sistem kontrolü yaptığı hem de hibrit elektrikli aracın mod değişimini sağlayarak bataryaların korunmasını sağladığı gözlemlenmiştir.

6. GENEL SONUÇLAR

6.1. Birincil Sonuçlar

Elektrikli araç teknolojilerinde yaygın olarak kullanılan batarya yönetim sistemi, batarya paketlerinin akım, gerilim, sıcaklık ve ömürleri ile ilgili gerekli ölçümleri yaparak bataryaların sistem içerisinde sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Literatürde batarya yönetim sistemi her batarya için ayrı olarak yapılmakta ve bir batarya yönetim sistemi başka bir batarya üzerinde çalışmamaktadır. Tez önerimizde ise batarya yönetim sisteminin 4 farklı kimyaya sahip olan bataryalar üzerinde ortak çalışabileceği bir sistemin modelleme tekniği ile yapılabileceği belirtilmiştir. Çalışmalarımız sırasında modellenecek olan batarya yönetim sisteminin bir hibrit elektrikli araç sistemine entegre edilmesi ve araç üzerinde de test edilmesi sağlanmıştır.

BYS simülasyonunda Lityum demir fosfat, Nikel Metal Hidrit, Kurşun Asit ve Nikel Kadmiyum gibi dört farklı kimyaya sahip bataryalar, batarya yönetim sisteminin çalıştırılacağı batarya paketleri olarak belirlenmiştir. İlk olarak bu batarya paketleri harici besleme ile şarj edilmiştir. Başlangıç SOC değerleri %10, %50 ve %90 ile şarja başlayan bataryalar başarılı şekilde şarjını tamamlamıştır. Simüle edilen batarya yönetim sistemi bataryalar şarj olurken hem sıcaklık kontrolü hem de SOC kontrolü yapmıştır. %100 SOC değerine ulaşan bataryaların şarj işlemi otomatik olarak kapatılmıştır. Sıcaklık testlerinde ise eşik değeri belirlenen noktaya batarya sıcaklığı ulaştığı anda BYS tarafından şarj işlemi otomatik olarak kapatılmış ve sistem güvenliği sağlanmıştır. Şarj esnasında batarya paketlerinin ne kadar ömrünün kaldığı hesabı da yapılmış ve batarya SOC değerleri %100 noktasına geldiğinde batarya kalan şarj olma değeri azaltılarak kullanıcıya sunulmuştur.

İkinci testte ise BYS simüle edilen bir hibrit elektrikli araç modeli üzerinde test edilmiştir. Farklı iki sürüş senaryoları ile BYS'nin sistem üzerinde çalışma durumu incelenmiştir. Batarya paketleri %20 SOC başlangıç değerleri ile simülasyona başlatılmıştır. Daha sonra batarya paketleri hibrit modun aktif olması ile birlikte deşarja başlamış ve belirlenen minimum eşik değerine (%10 noktasına) geldiğinde batarya deşarjı BYS tarafından otomatik olarak kapatılmış, hibrit mod pasif edilmiş ve bataryalar şarj olmaya başlamıştır. BYS bu noktada hem batarya şarjını kontrol etmiştir

hem de hibrit elektrikli araç parametrelerini gözlemleyerek hibrit modu pasif duruma getirip içten yanmalı motorun çalışmasını sağlayarak jeneratörün bataryaları şarj durumuna geçirmesine öncü olmuştur. Birbirinden farklı 2 sürüş senaryosu seçilerek bataryaların farklı şarj ve deşarj karakteristiklerine sahip olması sağlanmıştır. Her iki sürüş senaryosunda da BYS başarılı olarak sistem korumasını sağlamıştır. Bu tezde elektrikli araçlar için elde edilen bazı birincil sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- 1- Dört farklı kimyaya sahip olan bataryaların sağlıklı bir yönetimi sağlanmıştır.
- 2- BYS, Dört farklı bataryanın şarj işlemi sırasında aktif olarak görev almış ve belirlenen kritik parametreler çerçevesinde şarj işlemini sağlıklı olarak tamamlamıştır.
- 3- BYS, belirlenen eşik sıcaklık değerine ulaştığında sistemin aşırı sıcaklıktan dolayı hasar almaması için sistem şarjını sağlıklı olarak kesip sistemi güvenlik altına almıştır.
- 4- BYS, batarya doluluk oranı her şarj sonunda %100 noktasına geldiğinde bataryanın ömrünü azaltarak ömür süresini hesaplamıştır.
- 5- BYS, hibrit bir elektrikli araç üzerindeki tüm parametrelerin kontrolünü sağlamış ve dört farklı kimyaya sahip bataryanın şarj ve deşarj anında kontrolünü başarılı bir şekilde sağlamıştır.

6.2. İkincil Sonuçlar

BYS simülasyonu sırasında batarya çeşitleri üzerinde yapılan testlerde elde edilen veriler ikincil sonuçlar olarak sunulmuştur. **İkincil sonuçlar** şu şekilde özetlenebilir:

- 1- Yapılan testler analiz edildiğinde en hızlı şarj olan batarya Çizelge 6.1’de gözlemlendiği gibi Lityum demir fosfat olmuştur.

Çizelge 6.1. Bataryaların şarj olma süreleri

ŞARJ OLMA ZAMANI (T)			
	%10 - %100 ARASI	%50 - %100 ARASI	%90 - %100 ARASI
Lityum Demir Fosfat	1 saat 5 dk	1 saat 3 dk	21 dk
Nikel Metal Hidrit	1 saat 55 dk	1 saat 51 dk	33 dk
Kurşun Asit	4 saat	3 saat 53 dk	1 saat 30 dk
Nikel Kadmiyum	2 saat	1 saat 57 dk	36 dk

2- Başlangıç akımı en yüksek olan batarya tipi Çizelge 5.10’da görüldüğü üzere Kurşun Asit, en düşük ise Lityum demir fosfat olmuştur. Bu nedenle kurşun asit batarya için tasarlanacak olan şarj cihazının ilk şarj akımının yüksek olması gerekir.

Çizelge 6.2. Bataryaların başlangıç akımları

BAŞLANGIÇ AKIM DEĞERLERİ (Amper)			
	%10 - %100 ARASI	%50 - %100 ARASI	%90 - %100 ARASI
Lityum Demir Fosfat	79,3	35,08	34,49
Nikel Metal Hidrit	124,8	35,1	32,49
Kurşun Asit	200,8	43,54	50,94
Nikel Kadmiyum	135,3	36,76	33,12

3- Birinci ve ikinci sürüş senaryosu sonucunda en verimli batarya tipinin Lityum demir fosfat olduğu ve en verimsiz batarya tipinin Kurşun Asit olduğu Çizelge 6.3 ve 6.4’de gözlemlenmiştir.

Çizelge 6.3. 1.sürüş senaryosu sonunda bataryaların SOC değerleri

1. SÜRÜŞ SENARYOSU İÇİN BATARYA DOLULUK ORANI (%)			
	BAŞLANGIÇ SOC	EN DÜŞÜK SOC	TEST SONU
Lityum Demir Fosfat	%20	%10	%67,5
Nikel Metal Hidrit	%20	%10	%58,5
Kurşun Asit	%20	%10	%33,7
Nikel Kadmiyum	%20	%10	%55,3

Çizelge 6.4. 2. Sürüş senaryosu sonunda bataryaların SOC değerleri

2. SÜRÜŞ SENARYOSU İÇİN BATARYA DOLULUK ORANI (%)			
	BAŞLANGIÇ SOC	EN DÜŞÜK SOC	TEST SONU
Lityum Demir Fosfat	%100	82,8	%100
Nikel Metal Hidrit	%100	74	%100
Kurşun Asit	%100	63	%100
Nikel Kadmiyum	%100	72	%100

- 4- Sıcaklık testleri sonucunda batarya sıcaklıklarının 25 santigrat dereceden 55 santigrat dereceye kadar sıcaklığın zamana bağlı artışı incelenmiş ve en hızlı ısınan bataryanın Lityum demir fosfat olduğu, en yavaş ısınan bataryanın Kurşun Asit olduğu analiz edilmiş olup Çizelge 6.5’de sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Dört farklı kimyaya sahip bataryaların ısınma süreleri

25 - 55 °C ARASI ISINMA SÜRESİ			
	BAŞLANGIÇ (°C)	TEST SONU (°C)	SÜRE (saniye)
Lityum Demir Fosfat	25	55	644,8
Nikel Metal Hidrit	25	55	780,3
Kurşun Asit	25	55	957
Nikel Kadmiyum	25	55	758,2

İleriki çalışmalarda bu konu ile ilgili aşağıdaki konular çalışılabilir;

- 1- Farklı batarya kimyalarını çalıştırabilen BYS’nin tüm elektrikli araçlara entegre edilebilir
- 2- Sistemin fiziki entegrasyonu yapılarak ürün elde edilebilir ve pazara sunulabilir.
- 3- Matlab ortamında BYS adı altında yeni bir paket program geliştirilip elektrikli araç modellemesi yapılabilir.
- 4- Batarya kimyasının araç üzerinde analiz edilip SOH parametresinin gerçeğe yakın hesabının yapıldığı sistem geliştirilebilir.
- 5- Batarya paketlerinin bir switch yardımı ile devreye alınma prosedürü, otonom devreye alınma prosedürüne dönüştürülebilir. Bu sayede bataryaların korunması otonom olarak takip edilebilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] G. Barchi, G. Miori, D. Moser, and S. Papantoniou, A Small-Scale Prototype for the Optimization of PV Generation and Battery Storage through the Use of a Building Energy Management System, Proceedings of IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, Palermo, Italy, June 12-15, (2018), pp.1–5.
- [2] A. Khaligh and Z. Li, *Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art*, **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 59:6 (2010) 2806–2814.
- [3] J. Samir, C. Adnen, B. S. Sami, and V. E. Balas, An efficient design of Fuel Cell Electric Vehicle with Ultra-Battery separated by an energy management system, International Conference on Sciences of Electronics, Hammamet, Tunisia, Dec. 18-20, (2016), pp.29–33.
- [4] M. A. Hannan, M. M. Hoque, A. Hussain, Y. Yusof, and P. J. Ker, *State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations*, **IEEE Access**, 6:2 (2018) 19362–19378.
- [5] B. Divakar, K. Cheng, and H. Wu, Battery management system and control strategy for hybrid and electric vehicle, 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA), Hong Kong, China, May 20-22, (2009), pp.1–6.
- [6] K. S. Lee, C. J. Moon, T. G. Kim, M. S. Jeong, S. M. Kim, and B. J. Park, A development of battery monitoring and management system, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Seoul, South Korea, Oct. 9-12, (2012), pp.428–430.
- [7] N. A. Chaturvedi, R. Klein, J. Christensen, J. Ahmed, and A. Kojic, *Algorithms for Advanced Battery-Management Systems: Modeling, estimation, and control challenges for lithium-ion batteries*, **IEEE Control System**, 30:3 (2010) 49–68.
- [8] M. A. Hannan, M. S. H. Lipu, A. Hussain, and A. Mohamed, *A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations*, **Renew. Sustain. Energy Rev.**, 78:10 (2017) 834–854.
- [9] B. A. Aderemi, A. T. Puati Zau, S. Daniel Chowdhury, T. O. Olwal, and A. M. Abu-Mahfouz, Hybrid Battery Technologies with Battery Management System in Power and Energy Sectors, IEEE PES/IAS PowerAfrica, Cape Town, South Africa, June 28-29, (2018), pp. 716–721.
- [10] Ching Chuen Chan, *THE RISE & FALL OF ELECTRIC*, **Proc. IEEE**, 101:1 (2013) 206–212.

- [11] Anonymous. (2012). <http://www.edisontechcenter.org/ElectricCars.html>. (on-line access on 2012).
- [12] Anonymous. <http://www.rigb.org/our-history/iconic-objects/iconic-objects-list/faradays-motor> (on-line access).
- [13] Anonymous. <https://aehistory.wordpress.com/1821/10/05/1821-first-electric-motor> (on-line access).
- [14] Anonim. (2016). <https://www.ilkkimbuldu.com/dinamoyu-kim-buldu> (on-line access on 13 Nov, 2016).
- [15] C. Johan and B. Svard, *Impact on global metal flows arising from the use of portable rechargeable batteries*, **The Science of the Total Environment**, 302:3 (2003) 167–184.
- [16] E. Renault, F. Araci, and U. Üniversitesi, *Renault Fluence Ze Li-Ion Battery Modelling And Battery Management*, **Mühendis ve Makine**, (2011) 75-82.
- [17] Anonymous. (2015). <https://cleantechnica.com/2015/04/26/electric-car-history> (on-line access on 26 April, 2016) .
- [18] S. F. Tie and C. Wei, *A review of energy sources and energy management system in electric vehicles*, **Renew. Sustain. Energy Rev.**, 20:4 (2013) 82-102.
- [19] Yusuf Muratoğlu. *PİLLERİN ŞARJ DURUMLARININ KOKUSUZ KALMAN FİLTRESİ ile KESTİRİLMESİ*, MSc Thesis, Mersin University Turkey, 2017.
- [20] Anonim. (2016). <https://www.garajyeri.com/blog/genel/icten-yanmali-turbo-motor-nedir-nasil-calisir> (on-line access on 23 Nov, 2016).
- [21] V. Agarwal and M. Dev, *Introduction to Hybrid Electric Vehicles : State of Art*, **Students Conf. Eng. Syst.**, 2013.
- [22] X. Li, S. Member, and S. S. Williamson, *Assessment of Efficiency Improvement Techniques for Future Power Electronics Intensive Hybrid Electric Vehicle Drive Trains*, IEEE Canada Electrical Power Conference, Montreal, Canada, Oct. 25-26, (2007), pp.268-273.
- [23] Anonim.(2015). <https://motorluaraclar.teknolojileri.wordpress.com/2015/05/05/hibrit-motorlar-ve-hibrit-teknolojisi> (on-line access on 5 May, 2015).
- [24] Anonim. <https://www.ototeknikveri.com/teknik-bilgi/97/seri-hibrid-elektrikli-araclar> (on-line access).
- [25] A. Sciarretta, M. Back, and L. Guzzella, *Optimal Control of Parallel Hybrid Electric Vehicles*, **IEEE Trans. Control Syst. Technology**, 12:3 (2004) 352–363.
- [26] Anonim. <https://www.ototeknikveri.com/teknik-bilgi/103/paralel-hibrid-elektrikli-araclar> (on-line access).
- [27] S. Grammatico, A. Balluchi, and E. Cosoli, *A series-parallel hybrid electric powertrain for industrial vehicles*, IEEE Veh. Power Propuls. Conference, Lille, France, Sept. 1-3, (2010) pp.1-13.

- [28] S. Leitman and B. Branth, *Build Your Own Electric Vehicle*, 2013, 400-418.
- [29] C. C. Chan, *The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles*, **Proc. IEEE**, 95:4 (2007) pp.704–718.
- [30] C. Gibson, *Fuel Cell Manual*, Morgantown, 1998, 150-268.
- [31] S. M. A. S. Bukhari, J. Maqsood, M. Q. Baig, S. Ashraf, and T. A. Khan, Comparison of Characteristics-Lead Acid, Nickel Based, Lead Crystal and Lithium Based Batteries, International Conference on Computer Modelling and Simulation, Cambridge, UK, March 25-27, (2016), pp. 444–45.
- [32] Anonim. <http://elektrikmen.com/elektrolit-ve-elektroliz> “Elektrolit ve elektroliz (on-line access).
- [33] M. H. Miles, Recent advances in lithium battery technology, Symposium. IEEE Gallium Arsenide Integrated Circuit Symposium. 23rd Annual Technical Digest, Baltimore, USA, Oct. 21-24, (2001), pp.219–222.
- [34] Anonim. http://atelim.com/piller-sarj-edilip-yeniden-kullanlabilme-ozelliklerine-gore-ik/3943_html_m3518a208.jpg (on-line access).
- [35] C. Ashton, Battery types being investigated for use to provide backup power for communications sites, IEEE Power Engineering Society General Meeting, San Francisco, USA, June 16, (2005), pp. 266–270.
- [36] K. Li and K. J. Tseng, Energy efficiency of lithium-ion battery used as energy storage devices in micro-grid, 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Yokohama, Japan, Nov. 9-12, (2005), pp. 5235–5240.
- [37] Anonim. <http://w3.gazi.edu.tr/~eozcelik/%DDkincilPiller.doc> (on-line access).
- [38] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan, and N. Mithulananthan, *A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects*, **Renew. Sustain. Energy Rev.**, 49:4 (2015) 365–385.
- [39] L. Çetin. (2011). <https://docplayer.biz.tr/1720540-Elektrik-yakit-hucreleri-ve-piller.html> (on-line access on 21 Nov, 2011).
- [40] E. Chemali, M. Peindl, P. Malysz, and A. Emadi, *Electrochemical and Electrostatic Energy Storage and Management Systems for Electric Drive Vehicles: State-of-the-Art Review and Future Trends*, **IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electronics**, 4:3 (2016) 1117-1134.
- [41] A. Al-Haj Hussein and I. Batarseh, *A review of charging algorithms for nickel and lithium battery chargers*, **IEEE Trans. Veh. Technology**, 60:3 (2011) pp.830–838.
- [42] A.-I. Stan, M. Swierczynski, D.-I. Stroe, R. Teodorescu, and S. J. Andreasen, Lithium ion battery chemistries from renewable energy storage to automotive and back-up power applications , International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, Bran, Romania, May 20-22, (2014), pp.713–720.

- [43] Anonim. (1998) <https://www.osti.gov/biblio/14997> (on-line access on 11 Jan, 1998)
- [44] Anonim. (2018). <https://www.webtekno.com/lityum-polimer-ile-lityum-iyon-piller-arasindaki-temel-farklar-h39292.html> (on-line access on 11 June, 2018)
- [45] Anonim. (2018). <https://www.tech-worm.com/lityum-polimer-ile-lityum-iyon-arasindaki-fark-nedir> (on-line access on 20 June, 2018)
- [46] L. F. Nazar, M. Cuisinier, and Q. Pang, *Lithium-sulfur batteries*, **MRS Bulletin**, 39:5 (2014) 436–442.
- [47] J. B. G. A. K. Padhi, K. S. Nanjundaswamy, *Phospho- olivines as Positive-Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries*, **Electrochem. Sci. Technology**, 144:4 (1997) 2–8.
- [48] A. W. Jones, J. A. Dvorak, and R. L. Kisner, *Decreased Variability in the Cestode Hymenolepis diminuta Following Irradiation of Successive Generations*, **J. Electrochem. Soc**, 17:2 (2015) 163–169.
- [49] Anonim. (2016). http://www.emo.org.tr/ekler/929157f3f9ab67a_ek.pdf?dergi=1051 (on-line access on 10 Sept, 2016)
- [50] P. Shen, M. Ouyang, L. Lu, J. Li, and X. Feng, *The co-estimation of state of charge, state of health, and state of function for lithium-ion batteries in electric vehicles*, **IEEE Trans. Veh. Technology**, 67:1 (2018) 92–103.
- [51] Anonymous. (2016). <http://www.lithiumbatterysystems.com.au/lithium-battery-history> (on-line access on 20 Nov, 2016)
- [52] E. Leksono, I. N. Haq, M. Iqbal, F. X. N. Soelami, and I. G. N. Merthayasa, State of charge (SoC) estimation on LiFePO₄ battery module using Coulomb counting methods with modified Peukert, Joint International Conference on Rural Information & Communication Technology and Electric-Vehicle Technology, Bandung, Indonesia, Nov. 26-28, (2013), pp.4–7.
- [53] Y. Xing, E. W. M. Ma, K. L. Tsui, and M. Pecht, *Battery Management Systems in Electric and Hybrid Vehicles*, **Energies**, 4:12 (2011) 1840–1857.
- [54] T. Zahid, F. Qin, W. Li, K. Xu, and Y. Zhou, Sequential Monte Carlo based technique for SOC estimation of LiFePO₄ battery pack for electric vehicles, IEEE International Conference on Information and Automation, Ningbo, China, Aug. 1-3, (2017), pp.1308–1312.
- [55] R. Xiong, J. Cao, Q. Yu, H. He, and F. Sun, *Critical Review on the Battery State of Charge Estimation Methods for Electric Vehicles*, **IEEE Access**, 6:3 (2017) 1832–1843.
- [56] S. Park, G. W. You, and D. J. Oh, Data-driven state-of-health estimation of EV batteries using fatigue features, IEEE International Conference on Consumer Electronics, Las Vegas, USA, Jan. 7-11, (2016), pp.101–102.

- [57] H. J. Lee, J. H. Park, and J. Kim, Comparative analysis of the SOH estimation based on various resistance parameters for LiCoO₂ cells, IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Busan, South Korea, June 1-4, (2016), pp.788–792.
- [58] P. Rong and M. Pedram, *An analytical model for predicting the remaining battery capacity of lithium-ion batteries*, **Design, Automation and Test in Europe**, 14:5 (2003) 1148–1149.
- [59] K. S. Ng, C. S. Moo, Y. P. Chen, and Y. C. Hsieh, *Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries*, **Appl. Energy**, 86:9 (2009) 1506–1511.
- [60] B. Jenkins and A. M. Annaswamy, Experimental validation of adaptive observers for battery management systems, IEEE Conference on Control Technology and Applications, Mauna Lani, USA, Aug. 27-30, (2017) pp.1954–1960.
- [61] C. Schlasza, P. Ostertag, D. Chrenko, R. Kriesten, and D. Bouquain, Review on the aging mechanisms in Li-ion batteries for electric vehicles based on the FMEA method, IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Dearborn, USA, June 15-18, (2014), pp.1–6.
- [62] N. Omar, *Standardization work for BEV and HEV applications: Critical appraisal of recent traction battery documents*, **Energies**, 5:1, (2012) 138–156.
- [63] R. Spotnitz, *Simulation of capacity fade in lithium-ion batteries*, **J. Power Sources**, 113:1, (2003) 72–80.
- [64] B. Markovsky, *The study of capacity fading processes of Li-ion batteries: Major factors that play a role*, **J. Power Sources**, 119:121 (2003) 504–510.
- [65] M. Berecibar, SOH Estimation and Prediction for NMC Cells Based on Degradation Mechanism Detection, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Montreal, Canada, Oct. 19-22, (2015).
- [66] W. G. H. M. Coleman, C. B. Zhu, C. K. Lee, SOC Estimation Method Under Varied Ambient Temperature for a Lead-Acid Battery, Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Austin, ABD, March 6-10, (2005), pp.991–997.
- [67] A. Jossen, V. Spath, and H. Doring, *Reliable battery operation — a challenge for the battery management system*, **J. Power Sources**, 4:12 (1999) 283–286.
- [68] R. Kaiser, *Optimized battery-management system to improve storage lifetime in renewable energy systems*, **J. Power Sources**, 168:1 (2007) 58–65.
- [69] C. H. Lin, H. Y. Chao, C. M. Wang, and M. H. Hung, Battery management system with dual-balancing mechanism for LiFePO₄ battery module, IEEE Region 10 Conference, Bali, Indonesia, Nov. 21-24, (2011), pp.863–867.
- [70] K. L. Man, Towards a hybrid approach to SoC estimation for a smart Battery Management System (BMS) and battery supported Cyber-Physical Systems (CPS), 2nd Baltic Congress on Future Internet Communications, Vilnius, Lithuania, April 25-27, (2012), pp.113–116.

- [71] A. Jossen, V. Späth, H. Döring, and J. Garche, Battery management systems (BMS) for increasing battery life time, Third International Telecommunications Energy Special Conference, Dresden, Germany, May 10, (2000), pp.81-84.
- [72] Anonim. (2014). <http://blog.inciaku.com/akulerin-hizmet-omrunu-arttiran-sarj-dengeleme-teknolojileri> (on-line access on 15 August, 2016)
- [73] S. Al Hallaj, H. Maleki, J. S. Hong, and J. R. Selman, *Thermal modeling and design considerations of lithium-ion batteries*, **J. Power Sources**, 83:1-2 (1999) 1–8.
- [74] C. Forgez, D. Vinh Do, G. Friedrich, M. Morcrette, and C. Delacourt, *Thermal modeling of a cylindrical LiFePO₄/graphite lithium-ion battery*, **J. Power Sources**, 195:9 (2010) 2961–2968.
- [75] W. B. Gu and C. Y. Wang, *Thermal-Electrochemical Modeling of Battery Systems*, **J. Electrochem. Soc.**, 147:8 (2000) 2910-2922.
- [76] V. Srinivasan and C. Y. Wang, *Analysis of Electrochemical and Thermal Behavior of Li-Ion Cells*, **J. Electrochem. Soc.**, 150:1 (2003) 98-106.
- [77] W. B. Gu, *Micro-Macroscopic Coupled Modeling of Batteries and Fuel Cells*, **J. Electrochem. Soc.**, 145:10 (1998) 3407-3417.
- [78] K. Smith and C. Y. Wang, *Power and thermal characterization of a lithium-ion battery pack for hybrid-electric vehicles*, **J. Power Sources**, 160:1 (2006) 662–673.
- [79] C. Y. Wang and V. Srinivasan, *Computational battery dynamics (CBD) - Electrochemical/thermal coupled modeling and multi-scale modeling*, **J. Power Sources**, 110:2 (2002) 364–376.
- [80] M. Doyle, *Modeling of Galvanostatic Charge and Discharge of the Lithium/Polymer/Insertion Cell*, **J. Electrochem. Soc.**, 140:6 (1993) 1526-1533.
- [81] T. Wang, K. J. Tseng, S. Yin, and X. Hu, Development of a one-dimensional thermal-electrochemical model of lithium ion battery, 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vienna, Austria, Nov. 10-23, (2013), pp.6709-6741.
- [82] Y. Drori and C. Martinez, *The benefits of cell balancing*, **Appl. Note**, (2005) 1–9.
- [83] M. Karadeniz, C. Sezenoğlu, and A. Balıkcı, Elektrikli Araç Batarya Sistemleri İçin Aktif Hücre Dengeleme Sistemi, Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Turkey, Dec 1, (2012), pp.450–454.
- [84] S. W. Moore and P. J. Schneider, A review of cell equalization methods for lithium ion and lithium polymer battery systems, Proc. SAE World Congress, California, USA, July 27, (2001), pp.1-7.
- [85] A. C. Baughman and M. Ferdowsi, *Double-tiered switched-capacitor battery charge equalization technique*, **Transactions on Industrial Electronics**, 55:6 (2008) 2277–2285.

- [86] A. Baughman and M. Ferdowsi, Double-tiered capacitive shuttling method for balancing series-connected batteries, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Chicaho, USA, Sept. 7, (2005), pp.50–54.
- [87] J. D. Welsh, *A Comparison of Active and Passive Cell Balancing Techniques for Series / Parallel Battery Packs*, MSc Thesis, The Ohio State University, 2009.
- [88] M. M. Özyetkin, *Dayanıklı LAG/LEAD Kontrolör Tasarımı*, MSc Thesis, Inonu University Turkey, 2006.
- [89] D. Hanselman and B. Littlefield, *Mastering MATLAB 6: a comprehensive tutorial and reference*, England, 2005, 640-864.
- [90] İ. Yüksel, *Matlab ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü*, Turkey, 2004, 1-418.
- [91] Anonymous. (2019) <http://www.figes.com.tr/matlab/index.php> (on-line access on 2019)
- [92] Anonymous. (2019) <http://www.figes.com.tr/matlab/yetenekler> (on-line access on 2019)
- [93] Abdullah DEMİR. (2016). <https://docplayer.biz.tr/11983928-Marmara-universitesi - teknoloji-fakultesi-otomatik-vites-disli-kutusu-sanziman-transmisyon.html> (on-line access on 2016)
- [94] Anonim.(2016) <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Planet%20mekanizmalari.pdf> (on-line access on 2016)
- [95] S. Derici, *DC-DC-Konvertörler*, MSc Thesis, Gazi University Turkey, 2000.
- [96] Anonim. (2015). <https://unluteknik.com/urun-katalog/Asenkron-motorlar.pdf> (on-line access on 2015)
- [97] Anonim. <http://www.alfareduktor.com/elektrik-motoru-nedir-ve-cesitleri-nelerdir> (on-line access)
- [98] Anonim. <http://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/3ElektrikBilgisi/unite23.pdf> (on-line access)
- [99] Anonymous. <https://www.turkcebilgi.com/jeneratör> (on-line access)
- [100] Anonim. (2012). <http://www.otoguncel.com/teknik-bilgiler/hiz-kontrol-sistemi-cruise-control-system-ccs-nedir> (on-line access on 28 September, 2012)
- [101] Anonymous. (2009). <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html;jsessionid=63e5d447a7016d51b3cfd04cc1ef> (on-line access on 2009)
- [102] Anonymous. (2009). <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html> (on-line access on 2009)

ÖZGEÇMİŞ

01.05.1991 tarihinde Malatya’da doğdum. İlkokulu Hayrettin Sönmezay ilkokulu’nda, ortaokulu ise Sadiye Ünsalan İlköğretim Okul’unda ve lise öğrenimimi Akçadağ Anadolu Öğretmen Lisesi’nde tamamladım. İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden 2013 yılında mezun oldum. 2016 yılında İnönü Üniversitesi yüksek lisans öğrenimime başladım. Bozankaya Otomotiv A.Ş Elektrikli araçlar firmasında yazılım ve kontrol sistemi ağırlıklı çalıştığım için yüksek lisans öğrenimim için kontrol sistemleri ağırlıklı dersler seçtim. Yüksek lisans öğrenimim süresince uluslararası sempozyumlarda ve uluslararası dergilerde yayınlanan akademik çalışmalarım;

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

- 1- Y. E. Ekici and N. Tan, “Farklı Batarya Tiplerinin Şarj ve Deşarj Karakteristiklerinin Hibrit Araç Modeli Üzerinde İncelenmesi,” International Conference on Innovative Engineering Application, pp. 1–8, 2018.
- 2- E. EKİCİ and N. TAN, “INVESTIGATION OF CHARGING AND DISCHARGING CHARACTERISTICS OF DIFFERENT TYPE BATTERIES ON HYBRID ELECTRIC VEHICLE MODEL.” 3rd International Energy and Engineering Conference, pp. 735-748, 2018

Uluslararası dergilerde yayınlanan makaleler;

- 1- E. EKİCİ and N. TAN, “Investigation of Charging and Discharging Characteristics of Different Type Batteries on Hybrid Electric Vehicle Model,” The International Journal of Energy & Engineering Sciences, vol. 3, no. 3, pp. 55–67, 2018.

Uluslararası dergilere gönderilen ve inceleme aşamasında olan makaleler;

- 1- Y.E Ekici and N.Tan, “Investigation of charging and discharging characteristic of different type batteries on hybrid electric vehicle model with different driving scenarios,” Journal of Electrical Systems and Information Technology,
- 2- Yunus Emre Ekici and Nusret Tan, “Charge and discharge characteristics of different types of batteries on a hybrid electric vehicle model and selection of suitable battery type for electric vehicles,” International Journal of Automotive Science and Technology,